Archive of SID

مجله مهندسی مکانیک مدرس، آبان ۱۳۹٤، دوره ۱۵، شماره ۱۳، ویژه‌نامه مجموعه مقالات کنفرانس، ص‌ص ۲۹۱-۲۹۵

مجموعه مقالات کنفرانس ماشین‌کاری و ماشین‌های ابزار پیشرفته، تهران، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳ و ۱٤ آبان ۱۳۹٤

مهندسی مکانیک مدرس

mme.modares.ac.ir

انجمن مهندسی ساخت و تولید ایران
Society of Manufacturing Engineering of Iran

دانشگاه تربیت مدرس

مطالعه تجربی و تحلیلی پارامترهای مؤثر بر زبری سطح در فرایند سوراخ‌کاری فولاد به کمک ارتعاشات فراصوتی

مهدی ظهور[۱*]، اسعد شاه‌ویسی[۲]، بهمن قربانی[۲]، توحید سلطان‌زاده[۳]

۱- دانشیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران
۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران
۳- دانشجوی دکتری، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
* تهران، صندوق پستی ۱۹۹۹-۱۹۳۹۵، MZohoor@kntu.ac.ir

چکیده

دقت و کیفیت سطح نهایی از عوامل قابل توجه در محصولات، به ویژه در فرایندهای سوراخ‌کاری است. یکی از راه‌های کاهش یا حذف پلیسه و بهبود زبری سطح در سوراخ‌کاری به کار بردن ارتعاشات فراصوتی در فرایند سوراخ‌کاری می‌باشد. سوراخ‌کاری به کمک ارتعاشات فراصوتی یکی از روش‌های نوین ماشین‌کاری است که برای سوراخ‌کاری مواد سخت و غالبا غیر هادی الکتریکی به کار می‌رود. لذا در این پژوهش تاثیر برخی پارامترهایی موثر از قبیل، سرعت دورانی (۵۰۰-۷۱۰ دور بر دقیقه)، نرخ پیشروی (۰/۰۸-۰/۱۶ میلی‌متر بر دور)، دامنه ارتعاشات مته (۵-۱۰ میکرومتر) بر روی زبری سطح دیواره سوراخ در فرایند سوراخ‌کاری به‌کمک ارتعاشات فراصوتی بر روی دو نوع فولاد St37 (فولاد نرم) و VCN-150 (فولاد سردکار) به صورت تجربی بررسی شده است. سپس، نتایج به‌دست آمده با استفاده از روش طراحی آزمایش‌ها آنالیز گردید و اثر هر یک از پارامترها مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج حاصله نشان داد که در سوراخ‌کاری فولاد سخت‌تر (VCN-150) با افزایش دامنه ارتعاشات مته و افزایش سرعت دورانی سطح صاف‌تری به دست می‌آید اما در سوراخ‌کاری فولاد نرم‌تر (St37) با افزایش دامنه ارتعاشات و سرعت دورانی، سطح سوراخ زبرتر می‌شود. در نهایت می‌توان بیان کرد که رفتار برخی پارامترها بر روی دو نوع فولاد مشابه ولی رفتار بعضی پارامترها بر روی دو نوع فولاد متفاوت و متضاد می‌باشد.

کلید واژگان: سوراخ‌کاری به کمک ارتعاشات فراصوتی، زبری سطح، سرعت دورانی، دامنه ارتعاشات، نرخ پیشروی

Experimental and Analytical Study on Effective Parameters on Surface Roughness of Steel in Ultrasonic Assisted Drilling

Mehdi Zohoor[1*], Asaad Shahveisi[1], Bahman Ghorbani[1], Tohid Soltan zadeh[2]

1- Faculty of Mechanical Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran.
2- Faculty of Mechanical Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
* P.O.B. 19395-1999, Tehran, Iran, MZohoor@kntu.ac.ir

ABSTRACT

The accuracy and quality of the final products are of desired properties especially in the drilling processes. One way to reduce or eliminate the burr and surface roughness improvement is the utilization of ultrasonic vibrations in the drilling process. Ultrasonic Assisted Drilling is one of the advanced machining processes that is being used for hard and non-conductive materials. In this study, the effect of the spindle speed (500-710 RPM), feed rate (0.08-0.16 mm/rev), vibration amplitude (5-10 μm) (ultrasonic power) have been studied on surface roughness of the machined steels ST37 (soft steel) and VCN-150 (cold worked) in ultrasonic assisted drilling, experimentally. Then, the results were analyzed by using design of experiment and the effects of each parameter were studied. Results showed that the surface quality can be improved with increasing the vibration amplitude and spindle speed in hard metal (VCN-150). On the other hand, the surface quality decreased with increasing the vibration amplitude and spindle speed in mild steel (St37). Finally, it can be stated that the behavior of some of the parameters is similar on two steels but the behavior of others may be different on the same workpieces.

Keywords: Ultrasonic vibration assisted drilling, surface roughness, spindle speed, vibration amplitude, feed rate

۱- مقدمه

تقریبا بیش از ۲۰٪ از فرایندهای ماشین‌کاری مربوط به عملیات سوراخ‌کاری می‌باشد. دقت و کیفیت سطح نهایی از عوامل قابل توجه در محصولات، به ویژه در فرایندهای سوراخ‌کاری است. پلیسه معمولا به عنوان یک خروجی منفی در مراحل مونتاژ در نظر گرفته می‌شود. یکی از راه‌های کاهش یا حذف پلیسه و بهبود زبری سطح در سوراخ‌کاری به کار بردن ارتعاشات فراصوتی در فرایند سوراخ‌کاری می‌باشد. سوراخ‌کاری به کمک ارتعاشات فراصوتی یکی از روش‌های نوین ماشین‌کاری است که برای سوراخ‌کاری مواد سخت و غالبا غیر هادی الکتریکی به کار می‌رود. این روش ترکیبی از ماشین‌کاری سنتی و ارتعاشات فراصوتی می‌باشد که در آن علاوه بر حرکت چرخشی متداول خود با فرکانس در حدود ۱۶ تا ۴۰ کیلوهرتز و دامنه ۲ تا ۳۰ میکرومتر در جهت طولی در راستای محور دوران ارتعاش می‌کند [۱-۴].

ارتعاشات فراصوتی سبب صلبیت ابزار، کاهش سرخوردن ابزار در ابتدای سوراخ‌کاری، افزایش عمر مته می‌گردد [۲]. مزیت‌های مستند فراوانی برای سوراخ‌کاری به کمک ارتعاشات فراصوتی وجود دارد. این مزیت‌ها شامل این موارد می‌شوند [۳-۶]: کاهش نیرو و گشتاور (که این مزیت علاوه بر ذخیره انرژی، احتمال تغییر شکل قطعات نازک در حین سوراخ‌کاری را کاهش می-

Please cite this article using:
برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:
M. Zohoor, A. Shahveisi, B. Ghorbani, T. Soltan zadeh, Experimental and Analytical Study on Effective Parameters on Surface Roughness of Steel in Ultrasonic Assisted Drilling, *Modares Mechanical Engineering*, *Proceedings of the Advanced Machining and Machine Tools Conference*, Vol. 15, No. 13, pp. 291-295, 2015 (in Persian فارسی)

www.SID.ir

Archive of SID

دهد)، افزایش دقت مکانی[1] (به ویژه در مواردی که سوراخ روی سطح شیب-دار ایجاد می‌شود)، کاهش یا حذف پلیسه، بهبود قابل ملاحظه در خروج براده از سوراخ (که این مزیت به ایجاد سوراخ‌های عمیق‌تر کمک می‌کند)، بهبود گردی[2] و اندازه سوراخ، افزایش عمر مته، افزایش نرخ براده‌برداری. مزیت‌های ذکر شده باعث کاهش مراحل ایجاد سوراخ می‌شود، برای مثال کیفیت بالای سطح سوراخ و عدم ایجاد پلیسه، قطعه‌کار را از فرایندهای برقوزنی و پلیسه-گیری بی‌نیاز می‌کند. این روش برای ماشین‌کاری مواد خاص نیز مفید است که می‌توان به مواد چند لایه اشاره کرد که با استفاده از این روش در هنگام سوراخ‌کاری لایه‌لایه[3] نمی‌شود و مواد الیافی که در هنگام ماشین‌کاری کمتر الیاف آن جدا می‌شود و همچنین مواد سخت و ترد با استفاده از این تکنیک کمتر دچار ترک خوردگی می‌شود [۶].

اولین کارهای تجربی در زمینه سوراخ‌کاری به کمک ارتعاشات فراصوتی به اوایل سال‌های ۱۹۵۰ برمی‌گردد [۷]. مزایای این روش باعث شده است تا امروزه تحقیقات متعددی در این زمینه صورت پذیرد که برخی از آن‌ها به شرح ذیل است:

خادمی و همکارانش [۸] در سال ۲۰۰۸ از این روش برای سوراخ‌کاری استخوان که کاربرد فراوان در جراحی ارتوپدی دارد استفاده نمودند و اثر نرخ پیشروی و سرعت دورانی را بر روی نیروی سوراخ‌کاری و دما بررسی کردند.

پوجانا و همکارانش [۹] در سال ۲۰۰۹ پارامترهای نیروی پیشروی، تغییر فرم براده و دما را بررسی کردند.

فادنیس و همکارانش [۱۰] در سال ۲۰۱۲ اثر سرعت برشی را در سوراخ‌کاری سنتی و سوراخ‌کاری التراسونیک بر روی نیروی براده برداری بررسی نمودند.

مخدوم و همکارانش [۱۱] در سال ۲۰۱۲ اثر نرخ پیشروی را در نیروی سوراخ‌کاری بررسی نمودند.

مهبودی و همکارانش [۱۲] در سال ۲۰۱۳ اثر نرخ پیشروی، سرعت اسپیندل و دامنه ارتعاش را بر روی نیروی سوراخ‌کاری توسط روش تاگوچی بررسی کردند.

ماندگاری و بهبهانی [۱۳] در سال ۲۰۱۳ اثر نرخ پیشروی، سرعت اسپیندل و دامنه ارتعاش را بر روی دایروی و استوانه‌ای بودن و صافی سطح سوراخ بررسی کردند.

شکوری و همکارانش [۱۴] در سال ۲۰۱۴ از این روش برای سوراخ‌کاری استخوان ران گاو جهت بررسی نیروی محوری استفاده نمودند.

لذا در این نوشتار با توجه به تحقیقات پیشین اثر برخی پارامترهای مهم فرایند مانند سرعت دورانی، نرخ پیشروی، توان فراصوتی (که باعث تغییر دامنه ارتعاشات می‌شود) و جنس قطعه‌کار بر روی زبری سطح مورد بررسی قرار گرفته است.

عامل زبری سطح به عنوان متغیر خروجی و عوامل (سرعت دورانی، نرخ پیشروی، توان فراصوتی و جنس قطعه کار) به عنوان متغیرهای ورودی در نظر گرفته شده‌اند. پس از طراحی آزمایش‌ها، آزمایش‌های تجربی مطابق این طراحی انجام شده و متغیر خروجی اندازه‌گیری و سپس با استفاده از روش آماری آنالیز واریانس[4]، تاثیر متغیرهای ورودی بر خروجی بررسی می‌گردد. به دلیل حجم نسبتا بالا در تحلیل داده‌ها، از نرم افزار مینی‌تب[5] استفاده شد.

۲- روش انجام آزمایش

در این پژوهش برای سوراخ‌کاری علاوه بر حرکت متداول ابزار، از ارتعاشات التراسونیک استفاده شد. ترانسدیوسر بکار رفته در مجموعه التراسونیک از نوع پیزوالکتریک بود که امواج الکتریکی تولید شده ژنراتور را به ارتعاشات مکانیکی تبدیل می‌کند. جنس هرن از آلومینیم ۷۰۷۵ بوده و برای ایجاد حرکت دورانی از دستگاه تراش مدل TN40A ساخت کارخانه ماشین‌سازی تبریز استفاده شد.

برخی تجهیزات دیگر به شرح زیر است:

۱- ژنراتور[6] برای تبدیل برق ۵۰ هرتز شهری به فرکانس بیشتر از ۱۷۵۰۰ هرتز. ژنراتور مورد استفاده دارای فرکانس متغیر و محدوده آن از ۱۷/۵ تا ۲۸/۵ کیلوهرتز و رزولوشن ۱ هرتز می‌باشد.

۲- کامپیوتر برای کنترل توان و فرکانس که از نرم‌افزار لب‌ویو[7] توسعه داده شده توسط شرکت مسترسونیک[8] بهره می‌گیرد.

۳- مته از جنس فولاد تندبر به قطر ۵ میلی‌متر

۴- زبری‌سنج دستی

فرکانس تشدید برای ابزارگیر در آزمایش‌ها ۲۳۴۶۰ هرتز بود.

در شکل ۱ کله‌گی التراسونیک و فیکسچر مشاهده می‌شود.

در جدول ۱ پارامترها و سطح‌های مورد بررسی در آن درج شده است. لازم به ذکر است که مته در سرعت دورانی کمتر از ۵۰۰ دور بر دقیقه شکسته شده و همچنین دامنه ارتعاشات نوک مته در توان ۲۵٪ حدود ۵ میکرون و در توان ۵۰٪ در حدود ۱۰ میکرون می‌باشد.

با استفاده از طرح عاملی کامل [۱۵] تعداد ۱۶=2^4 آزمایش ممکن برای طرح مورد بررسی وجود دارد. با توجه به طراحی آزمایش صورت گرفته از هر نوع فولاد ۸ نمونه آماده گردید. نحوه آماده سازی نمونه‌ها بدین صورت بود که از شفت‌هایی به قطر ۳۰mm میلی‌متر، نمونه‌هایی به طول ۲۰mm بریده شد.

شکل ۱ مجموعه ابزارگیر و فیکسچر و قطعه‌کار

جدول ۱ پارامترهای مورد بررسی به همراه سطوح آن‌ها

	پارامتر	سطح۱	سطح۲
A	سرعت دورانی (دور بر دقیقه)	۵۰۰	۷۱۰
B	نرخ پیشروی (میلی‌متر بر دور)	۰/۰۸	۰/۱۶
C	توان فراصوتی (درصد)	۲۵	۵۰
D	جنس قطعه‌کار	St37	VCN-150

1. Positional Accuracy
2. Roundness
3. Delamination
4. ANOVA
5. Minitab
6. Generator MSG.1200.IX
7. Labview
8. Mastersonic

www.SID.ir

Archive of SID

در این آزمایش از ۸ مته از جنس فولاد تندبر با روکش کبالت استفاده شد، یعنی هر مته برای سوراخ‌کاری دو نمونه استفاده گردید. همچنین از مایع خنک کننده نیز استفاده نشده است.

زبری سطح دیواره سوراخ توسط دستگاه زبری سنج دستی مدل TR200 که قابلیت اندازه‌گیری زبری سطح با دقت یک هزارم میکرون را دارا می‌باشد.

۳- نتایج و بحث

بعد از انجام آزمایش‌ها، زبری سطح دیواره سوراخ از طرف ورود مته سه مرتبه و از طرف خروج مته نیز سه مرتبه اندازه‌گیری و میانگین نتایج آن‌ها برحسب میکرومتر در جدول ۲ ثبت گردید.

با توجه به این‌که آزمایش‌ها فقط یک‌بار انجام شدند، اگر همه اثرهای اصلی و اثر تعامل در نظر گرفته شوند، به دلیل صفر شدن خطای میانگین مربع[1] نمی‌توان تحلیل را انجام داد. بنابراین، با توجه با این‌که اثر تعامل هر چهار عامل به احتمال قوی ناچیز خواهد بود لذا از این اثر صرف نظر گردید و سپس تحلیل انجام شد.

با انجام تحلیل توسط نرم‌افزار، و با فرض خطای نوع اول به اندازه $\alpha = 0.05$ و با توجه به مقادیر P به دست آمده فاکتور C (توان) و تعامل‌اثرهای AC (تعامل‌اثر سرعت دورانی اسپیندل و توان)، AD (تعامل‌اثر سرعت دورانی اسپیندل و جنس قطعه‌کار) و CD (تعامل‌اثر توان و جنس قطعه‌کار) مؤثرند و مقدار P برای BD (تعامل‌اثر نرخ پیشروی و جنس قطعه‌کار)، ۰/۰۶۸ می‌باشد.

۳-۱- اثر توان فراصوتی

در حین دوران مته، ارتعاشات محوری در جهت پیشروی مته اعمال می‌شود. تاثیر ارتعاش بر عملکرد مته بدین صورت است که حرکت نوسانی آن به دو مرحله رفت و برگشت قابل تقسیم است.

در مرحله رفت، ارتعاش مثبت است و مطابق رابطه (۱)، به حرکت پیشروی افزوده شده و آن منجر به افزایش زاویه براده در حین کار به میزان μ و در مقایسه زاویه آزاد مته کوچکتر می‌شود (روابط ۲-۴). افزایش زاویه براده سبب کاهش اندازه براده، کاهش نیروی شکل‌گیری براده و کاهش نیرو-های ماشین‌کاری می‌شود.

$$Z(t)=A\sin(2\pi ft)+Fnt \quad (۱)$$

$$\alpha_w = \alpha - \mu \quad (۲)$$

$$\gamma_w = \gamma + \mu \quad (۳)$$

$$\tan\mu = \frac{a_f}{\pi \cdot D} \quad (۴)$$

در مرحله برگشت، ارتعاش منفی است و از حرکت پیشروی کسر می‌شود و زاویه براده در حین کار نسبت به زاویه براده مته کاهش می‌یابد. در نتیجه میزان چسبندگی براده به مته و اصطکاک روی ابزار کاهش می‌یابد.

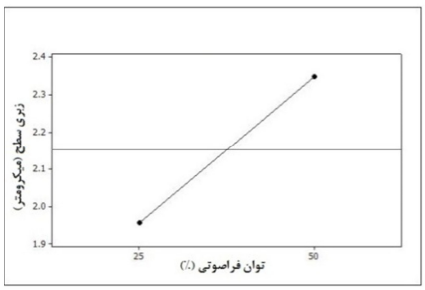
در هر سیکل ارتعاش ابزار، پیشروی کوچک بوده و کمک می‌کند که تولید براده ضخیم‌تر، کوچک‌تر و ناپیوسته شکل بگیرد و همچنین حرکت نوسانی ابزار عمل ضربه فراصوتی[2] را منجر می‌شود. به‌علاوه، هنگامی که براده‌ها کوچک هستند، بخاطر پدیده ضربه فراصوتی، براده‌ها در شیارهای مته براحتی حرکت می‌کنند و ضربه‌های بین براده‌ها و سطح سوراخ کاهش می-یابد. بنابراین، این ممکن است منجر به چسبندگی کمتر براده‌ها بر روی سطوح سوراخ شود.

شکل ۲ تاثیر توان فراصوتی بر زبری سطح را نشان می‌دهد. همان‌گونه که از شکل مشخص است، توان (دامنه ارتعاشات) پایین‌تر موجب تغییر کمتر بر روی زوایای آزاد و براده موثر و در نتیجه زبری سطح کمتر دیواره را نتیجه می‌دهد.

در سوراخ‌کاری قطعه‌کار از جنس فولاد VCN-150، با افزایش توان فراصوتی از ۲۵٪ به ۵۰٪ (که باعث افزایش دو برابری دامنه ارتعاشات می-شود)، میانگین زبری سطح از ۲/۳۷ به ۲/۰۲ میکرومتر کاهش یافت. علت این بهبود ۱۵ درصدی صافی سطح آنست که با افزایش دامنه ارتعاشات، براده‌ها ریزتر و نازک‌تر شده و به آسانی از سوراخ خارج می‌شوند. در نتیجه نیروهای برشی کاهش یافته، تغییر شکل پلاستیک کمتری رخ داده و صافی سطح بهبود می‌یابد.

در سوراخ‌کاری قطعه‌کار از جنس فولاد St37، با افزایش توان فراصوتی از ۲۵٪ به ۵۰٪، میانگین زبری سطح از ۱/۵۵ به ۲/۶۸ میکرومتر افزایش یافت. این نشان دهنده اینست که افزایش دامنه ارتعاشات باعث کاهش کیفیت سطح در فولاد نرم می‌شود. درنتیجه در سوراخ‌کاری فولاد نرم بهتر است از توان فراصوتی پایین (در نتیجه دامنه ارتعاشات پایین) استفاده شود.

در سوراخ‌کاری سنتی بنا به دو دلیل توانایی براده برداری توسط لبه برشی فرعی بسیار ضعیف است: یکی زاویه براده منفی این لبه و دوم سرعت



شکل ۲ اثر توان فراصوتی بر روی میزان زبری سطح

جدول ۲ ماتریس آزمایش به همراه نتایج زبری سطح دیواره سوراخ

شماره آزمایش	سرعت دورانی (RPM)	نرخ پیشروی (mm/r)	توان فراصوتی (%)	جنس قطعه‌کار	زبری سطح (µm)
۱	۵۰۰	۰/۰۸	۲۵	St37	۱/۶۷۲
۲	۷۱۰	۰/۰۸	۲۵	St37	۱/۳۸۸
۳	۵۰۰	۰/۱۶	۲۵	St37	۱/۵۲۳
۴	۷۱۰	۰/۱۶	۲۵	St37	۱/۶۱۴
۵	۵۰۰	۰/۰۸	۵۰	St37	۱/۹۰۸
۶	۷۱۰	۰/۰۸	۵۰	St37	۲/۷۸۵
۷	۵۰۰	۰/۱۶	۵۰	St37	۲/۳۹۵
۸	۷۱۰	۰/۱۶	۵۰	St37	۳/۶۲۱
۹	۵۰۰	۰/۰۸	۲۵	VCN	۲/۹۶۶
۱۰	۷۱۰	۰/۰۸	۲۵	VCN	۱/۸۶۳
۱۱	۵۰۰	۰/۱۶	۲۵	VCN	۳/۰۴۸
۱۲	۷۱۰	۰/۱۶	۲۵	VCN	۱/۵۸۳
۱۳	۵۰۰	۰/۰۸	۵۰	VCN	۲/۰۸۲
۱۴	۷۱۰	۰/۰۸	۵۰	VCN	۲/۰۵۰
۱۵	۵۰۰	۰/۱۶	۵۰	VCN	۲/۰۶۲
۱۶	۷۱۰	۰/۱۶	۵۰	VCN	۱/۸۸۵

1. Mean Square Error (MSE)

2. Ultrasonic Impact Action

www.SID.ir

Archive of SID

برشی پایین. اما در سوراخ‌کاری به کمک ارتعاشات زاویه موثر براده لبه برش فرعی و سرعت برشی بیشتر می‌شود و هر چه دامنه ارتعاشات بیشتر شود، توانایی براده برداری توسط این لبه بیشتر می‌شود.

۳-۲- اثر سرعت دورانی

سُر خوردن مته در حین عملیات سوراخ‌کاری منجر به حرکت نامنظم براده‌ها شده و باعث می‌شود براده‌ها بر روی سطح داخلی سوراخ کوبیده و همچنین بر روی سطح سوراخ خراشیده شوند.

افزایش سرعت دورانی باعث کاهش ضخامت براده و کاهش نیروی برشی شده و پایداری فرایند سوراخ‌کاری افزایش می‌یابد و منجر به کاهش سُر خوردن مته می‌شود. کاهش ضخامت براده باعث بهبود خروج براده از ناحیه ماشین‌کاری می‌شود. به دلیل ارتعاشات محوری ابزار، براده‌های تولید شده کوچکتر می‌باشد.

همان‌گونه که در شکل ۳ تعامل اثر سرعت دورانی اسپیندل و توان نشان می‌دهد، در دامنه ارتعاشات پایین، با افزایش سرعت دورانی به دلیل همپوشانی پستی و بلندی‌های سطح موجب کاهش زبری سطح می‌گردد. ولی با افزایش دامنه ارتعاشات تغییرات بر روی زوایای آزاد و براده موثر بیشتر شده و زبری سطح کاهش خواهد یافت.

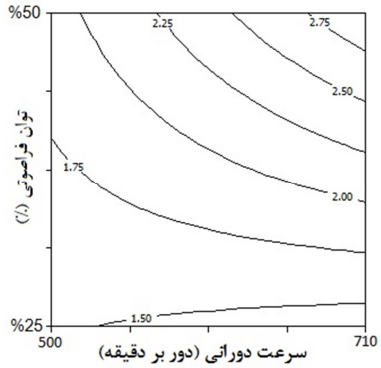
اما در سرعت دورانی پایین، با افزایش در دامنه ارتعاشات، حرکت نوسانی ابزار موجب اصلاح پروفیل سطح ایجاد شده براساس حرکت پیشروی ابزار شده و کیفیت سطح بهبود می‌یابد.

با افزایش سرعت دورانی از ۵۰۰ به ۷۱۰ دور بر دقیقه در سوراخ‌کاری فولاد VCN-150، میانگین زبری سطح از ۲/۵۴ به ۱/۸۵ کاهش یافت. این بهبود ۲۷ درصدی به دلیل افزایش زاویه مؤثر براده و کاهش زاویه مؤثر آزاد می‌باشد. اما در سوراخ‌کاری قطعه‌کار از جنس فولاد St37، با افزایش سرعت دورانی از ۵۰۰ به ۷۱۰ دور بر دقیقه، میانگین زبری سطح از ۱/۸۵ به ۲/۳۵ میکرومتر افزایش یافت. کاهش کیفیت سطح با افزایش سرعت دورانی در این نوع فولاد به دلیل افزایش دما در ناحیه براده‌برداری می‌باشد.

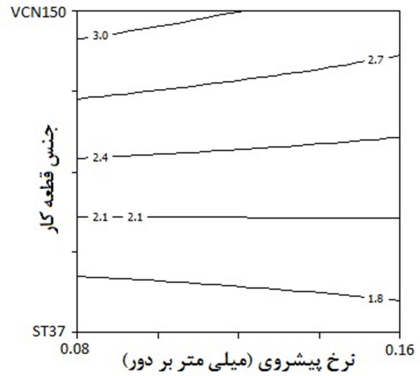
۳-۳- اثر نرخ پیشروی

با افزایش نرخ پیشروی، سُرخوردن مته بیشتر شده و همچنین ناپایداری در فرایند سوراخ‌کاری افزایش یافته و زبری سطح افزایش می‌یابد.

مقدار P تعامل‌اثر نرخ پیشروی و جنس قطعه‌کار)، ۰/۰۶۸ می‌باشد و با فرض خطای نوع اول به میزان ۷ درصد، این تعامل اثر نیز موثر می‌باشد. شکل ۴ نشان می‌دهد که در قطعه‌کار با جنس St37 افزایش نرخ پیشروی، به دلیل ایجاد لبه انباشته بر روی لبه‌های برنده مته، زبری سطح افزایش می‌یابد.



شکل ۳ تعامل‌اثر سرعت دورانی در توان فراصوتی بر روی زبری سطح



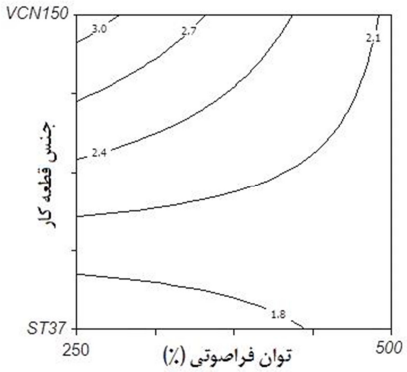
شکل ۴ تعامل‌اثر نرخ پیشروی و جنس قطعه‌کار بر روی زبری‌سطح

۳-۴- اثر جنس قطعه‌کار

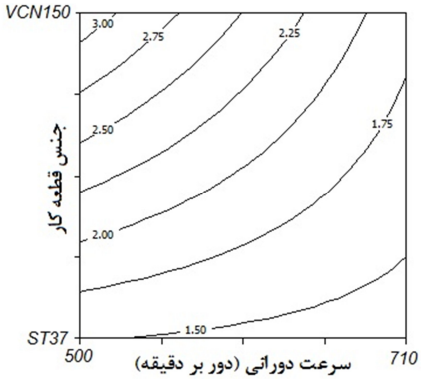
حرکت رفت‌وبرگشتی ارتعاشی مته یک مکانیزم ضربه ارتعاش تولید می‌کند یک میکرو ترک در قطعه‌کار و تغییر شکل پلاستیک مورد نیاز برای فرایند سوراخ‌کاری کاهش می‌یابد.

تعامل اثر توان و جنس قطعه‌کار نشان می‌دهد که در سوراخ‌کاری قطعه-کار از جنس St37 با افزایش توان دیواره سوراخ زبرتر می‌شود ولی در VCN-150 با افزایش توان صافی سطح بهبود می‌یابد. اختلاف زبری سطح در توان-های بالا و پایین برای VCN-150 کم است اما این اختلاف برای St37 زیاد می‌باشد (شکل۵).

تعامل‌اثر سرعت دورانی اسپیندل و جنس قطعه‌کار، دیواره صاف‌تر را در سرعت دورانی پایین برای St37 و سرعت دورانی بالا برای VCN-150 نشان می‌دهد (شکل۶).



شکل ۵ تأثیر تعامل اثر توان در جنس قطعه‌کار بر زبری سطح



شکل ۶ تأثیر تعامل‌اثر سرعت دورانی در جنس قطعه‌کار بر زبری سطح

www.SID.ir

Archive of SID

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله تاثیر هر یک از پارامترهای سرعت دورانی، نرخ پیشروی و توان فراصوتی بر روی زبری سطح دو نوع فولاد VCN-150 و St37 در فرایند سوراخ‌کاری به کمک ارتعاشات فراصوتی مورد بررسی قرار گرفت و ملاحظه گردید، افزایش نرخ پیشروی و سرعت دورانی در فولاد VCN-150 موجب کاهش زبری سطح شده، بنابراین می‌توان برای فولادهای سخت، نرخ پیشروی و سرعت دورانی را بالاتر انتخاب نمود که این به معنی افزایش سرعت ماشین‌کاری و کاهش هزینه‌های تولید می‌باشد.

۵- فهرست علائم

a_f میزان پیشروی

f فرکانس

n تعداد دوران

t زمان

علایم یونانی

α زاویه آزاد

μ زاویه مارپیچ پیشروی

γ زاویه براده

زیرنویس‌ها

W در حال کار

۶- تشکر و قدردانی

بدین وسیله نگارندگان این مقاله از امکاناتی که توسط دانشگاه صنعتی شریف جهت کارهای آزمایشگاهی در اختیار آنان قرار داده شده، تشکر می‌نمایند.

۷- مراجع

[1] B. Azarhoushang, J. Akbari, Ultrasonic-assisted drilling of Inconel 738-LC, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 47, pp. 1027-1033, 2007.

[2] D. Y. Zhang, Study on the drill skidding motion in ultrasonic vibration microdrilling, *International journal of machine tools and manufacture*, Vol. 34, pp. 847-857, 1994.

[3] S.S. Chang, G.M. Bone, Burr height model for vibration assisted drilling of aluminum 6061-T6, *Precision Engineering*, Vol. 34, pp. 369-375, 2010.

[4] Y. Liao, Y. Chen, H. Lin, Feasibility study of the ultrasonic vibration assisted drilling of Inconel superalloy, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 47, pp. 1988-1996, 2007.

[5] S.S. Chang, G.M. Bone, Burr size reduction in drilling by ultrasonic assistance, *Robotics and computer-integrated manufacturing*, Vol. 21, pp. 442-450, 2005.

[6] P. Thomas, V. Babitsky, Experiments and simulations on ultrasonically assisted drilling, *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 308, pp. 815-830, 2007.

[7] J. Kumabe, *Fundamentals and Applications of Vibration Cutting*, Jikkyo publishing, Tokyo, 1979.

[8] V. Khademi, J. Akbari, F. Frahmand, ultrasonic assisted drilling of bone, *Journal of Majlesi Mechanical Engineering*, Vol. 1, No. 4, pp. 69-74, 2009 (In Persian)

[9] J. Pujana, A. Rivero, A. Celaya, L.N. Lopez de Lacalle, Analysis of ultrasonic-assisted drilling of Ti6Al4V, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2009.

[10] V.A. Phadnis, F. Makhdum, A. Roy, V.V. Silberschmidt, Ultrasonically Assisted Drilling In Cfrp Composites, *ECCM15-15th European Conference On Composite Materials*, Venice, Italy, 2012.

[11] F. Makhdum, L.T. Jennings, A. Roy, V.V. Silberschmidt, Cutting forces in ultrasonically assisted drilling of carbon fibre-reinforced plastics, *Journal of Physics*, Vol. 382, pp. 12-19, 2012.

[12] P. Mehbudi, V. Baghlani, J. Akbari, A.R. Bushroa, N.A. Mardi, Applying ultrasonic vibration to decrease drilling-induced delamination in GFRP laminates, *Procedia CIRP*, Vol. 6, pp. 577- 582, 2013.

[13] M. Mandegari, S. Behbahani, Experimental Analysis of a Novel Rotary Ultrasonic Assisted Drilling (RUAD) Machine, *Materials and Manufacturing Processes*, Vol.28, pp. 481–487, 2013.

[14] E. Shakouri, M.H. Sadeghi, M. Maerefat, M.R. Karafi, M. Memarpour, Experimental and analytical investigation of thrust force in ultrasonic assisted drilling of bone, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 14, No. 6, pp. 194-200, 2014. (In Persian)

[15] D.C. Montgomery, *Design and Analysis of Experiments*, 5th Edition, John Wiley & Sons Inc, New York, 2001.

www.SID.ir