

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/315660670>

Study of the Notching HSS Rolls by CBN Tool using RSM Method

Article · August 2016

CITATIONS

0

READS

132

3 authors, including:



[Amin Kolahdooz](#)

Islamic Azad University, Khomeinishahr Branch

30 PUBLICATIONS 181 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



[S. Ali Eftekhari](#)

Islamic Azad University Khomeini Shahr

39 PUBLICATIONS 192 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

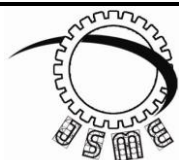
Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Robust control of autonomous underwater vehicles in uncertain operating conditions [View project](#)



Vibration analysis and control of cantilever micro-beam base on strain gradient theory [View project](#)



بررسی تاثیر آج زنی غلتک‌های تندبر با ابزار نیتريد بور مکعبی با استفاده از روش RSM

محسن جعفری دینانی^۱، امین کلاه‌دوز^{۲*}، سید علی افتخاری^۳

* نویسنده مسئول: aminkolahdooz@iaukhsh.ac.ir

چکیده

یکی از مشکلات عظیم صنعتگران در زمینه غلتک‌های میلگرد از جنس فولاد تندبر، آج‌زدن این غلتک‌ها است که به علت عدم توانایی لازم در این کار، غلتک‌های تندبر تبدیل به غلتک‌های یکبار مصرف شده‌اند. هنگامی که بر روی این غلتک‌ها نورد انجام می‌شود، به دلیل آستنتیت باقیمانده، کار سختی بالایی پیدا می‌کند و آج-زنی بسیار مشکل می‌شود. در این تحقیق غلتک‌های تندبر با سختی بالای ۷۰ شورسی مورد بررسی قرار گرفتند. هدف ما به دست آوردن پارامترهای بهینه ماشینکاری است که به منظور دستیابی به این هدف با انجام کمترین آزمایش، روش RSM در نرم افزار مینی‌تب مورد استفاده قرار گرفت. ابزار CBN در همه تست‌ها عملکرد خوبی داشته و در بهترین حالت با سرعت برشی ۲۵m/min، پیشروی ۰/۰۵ mm/rev و عمق بار ۰/۰۵ mm در زمان ۱۰۸۰ ثانیه یک کالیبر آج‌زده شد.

واژه‌های کلیدی

نورد گرم، غلتک تندبر، میلگرد، آج زنی، CBN، RSM.

تاریخ ارسال: ۹۵/۰۴/۰۳

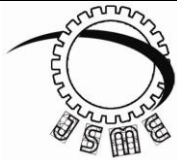
تاریخ بازنگری: ۹۵/۰۸/۱۸

تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۰/۰۸

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر، اصفهان، ایران.

۲- استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، واحد خمینی شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران.

۳- استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، واحد خمینی شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران.



Journal of
Solid Mechanics
in Engineering

Journal of Solid Mechanics in Engineering

<http://jsme.iaukhsh.ac.ir>



Study of the Notching HSS Rolls by CBN Tool using RSM Method

Mohsen Jafari Dinani¹, Amin Kollahdooz^{2,*}, Seyyed Ali Eftekhari³

* Corresponding Author: Aminkolahdooz@iaukhsh.ac.ir

Abstract:

One of the biggest problems of artisans , is notching the high speed steel roller is due to the inability to do this work, become high speed steel roller bearings are disposable. When the roller is placed on the production line, because of the retained austenite make it very hard. High speed roller used in this study is barely above 70 Shc. Our goal is to obtain the optimum machining parameters that it requires a high number of tests that are practically impossible. So in order to achieve optimal machining parameters with the lowest test, RSM method in Minitab software was used. CBN tools performed well in all tests and succeeded with the best cutting speed 25 m/min, 0.05 mm feed and 0.05 mm depth of cut at the time of 1080 seconds, in notching one caliber.

Key words:

Hot rolling
HSS roler
Bar
Notching
CBN
RSM.

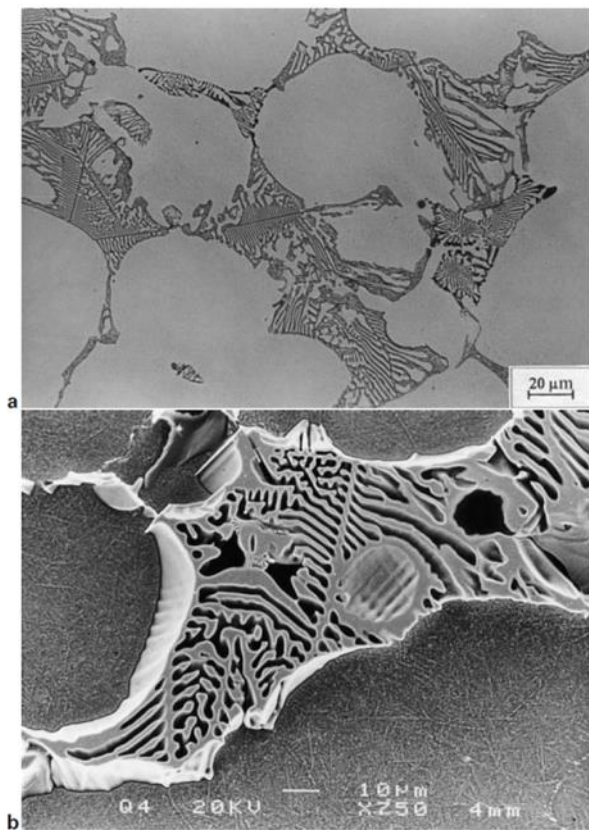
1-MSc Student, Departmet of Mechanical Engineering, Islamic Azad University, Khomeinishahr Branch, Isfahan, Iran.

2-Assistant Professor, Departmet of Mechanical Engineering, Islamic Azad University, Khomeinishahr Branch, Isfahan, Iran

3-Assistant Professor, Departmet of Mechanical Engineering, Islamic Azad University, Khomeinishahr Branch, Isfahan, Iran.

۱- مقدمه

آنجا که ضریب اصطکاک بالاتری نسبت به غلتک‌های کرم بالا دارند ریسک تشکیل اکسیدها در دمای بالا در آنها بیشتر می‌شود بنابراین نیاز به خنک کاری کنترل شده و مناسب تری نسبت به غلتک‌های کروم بالا و به‌خصوص غلتک‌های معمول چدنی و فولادی دارند. ساختار ریختگی فولاد تندبر شامل دندریتهایی است که توسط شبکه کاربیدهای بین سلولی نسبتاً پیوسته احاطه شده است شکل [۵].



a optical: etching KOH + $K_3Fe(CN)_6$; b SEM

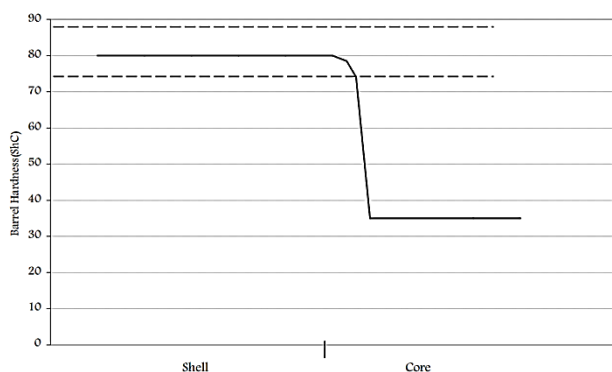
شکل (۱) a تصویر میکروسکوپ نوری. B تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از کاربید یوکتیک M_6C در ریزساختار فولادبازار تندبر M2 [۱] از آن جایی که سختی کاربیدهای مختلف تفاوت زیادی می‌کند، همچنین سختی زمینه بر اساس بالانس کربن اولیه و کربن باقیمانده در زمینه ممکن است متغیر باشد لذا برای این که بتوان غلتک با خواص مناسب به‌دست آورد متناسب با شرایط نورد و نوع آن، نسبت‌های متفاوتی از این عناصر و عملیات حرارتی متفاوتی به کار می‌رود. به‌جهت مشخص شدن تفاوت‌های موجود بین سختی کاربیدهای مختلف

فولادهای تندبر به‌طور خاصی برای استفاده در غلتک‌های کاری و در قفسه‌های اولیه نورد گرم ورق (F1-F4) و جایگزین غلتک‌های کرم بالا در این خطوط نورد توسعه یافتند. این فولادها برای اولین بار در سال ۱۹۸۸ در ژاپن و در سال ۱۹۹۰ در اروپا برای تولید غلتک استفاده شد. اما در قفسه‌های نهایی نورد مقاطع کوچک و رینگ‌های یونیورسال نیز کاربرد دارند. این غلتک‌ها عمدتاً به‌صورت دولایه گریز از مرکز تولید می‌شوند. از نظر آلیاژی درصد کربن آلیاژهای تندبری که برای تولید غلتک‌ها به کار می‌روند بالاتر از فولادهای تندبر متداول است و این موضوع به جهت بالا بردن درصد کاربید و سختی آنها می‌باشد. ساختار ریز و با سختی پذیری بالا باعث شده که افت سختی کمی در عمق این غلتک‌ها به وجود آید. در لایه دوم این غلتک‌ها به‌دلیل بالا بردن تانس از چدن گرافیت کروی استفاده می‌شود [۳-۱]. به طور کلی فولادهای تندبر را در دو خانواده مولیبدن‌دار و تنگستن‌دار تقسیم بندی کرده‌اند که به ترتیب با دو مشخصه M و T نشان می‌دهند که در استاندارد آمریکایی AISI تعریف و طبقه بندی شده‌اند. استانداردهای رایج دیگر از جمله استاندارد BSI انگلیس نیز تقریباً آلیاژهای مشابهی دارند. از دیگر استانداردهای تعریف شده برای فولاد تندبر، استاندارد ایتالیا UNI2955 و آلمان TGL75H است.

خواص فولادهای تندبر گروه M شبیه فولادهای تندبر گروه T است با این تفاوت که چقرمگی این فولادها در سختی یکسان، کمی بیشتر است [۴].

۲- ساختار متولوگرافی و خواص مکانیکی

وجود عناصر آلیاژی Cr، Mo، W، Co و V ساختار زمینه ای شامل کاربیدهای کمپلکس و مارتنزیت تمپر شده را به وجود آورده که باعث بالا رفتن مقاومت به سایش، خستگی حرارتی و همچنین مقاومت به تشکیل فیلم اکسیدی در این آلیاژها شده است. از طرفی این فولادها باعث افزایش نیروی نوردی از ۳ تا ۳۰ درصد می‌شوند. و از



شکل (۲) شماتیک نحوه کاهش سختی در عمق غلتک در یک آلیاژ فولاد تندبر [۱]

۳- ابزار نیتريد بور مکعبی^۱

یکی از ابزارهای بسیار سخت در ابزارهای برشی، ابزارهای نیتريد بور مکعبی یا CBN ها می‌باشند. این ماده‌ی عالی پس از الماس در رده‌ی دوم قرار دارد. ترکیب خواصی از قبیل سختی بسیار بالا، گرم‌سختی بالا تا حدود 2000°C ، مقاومت به سایش عالی و پایداری شیمیایی خوب در طول عملیات ماشین‌کاری، کاربرد این نوع ابزارها را منحصر به فرد ساخته است. این ماده نسبتاً شکننده است ولی از سرامیک‌ها چقرمه‌تر است. این‌گونه ابزارها هرچند گران‌قیمت‌تر از سرامیک‌ها می‌باشند ولی برای ماشین‌کاری بسیاری از فلزات که قبلاً سنگ‌زنی می‌شدند مناسب بوده و کاربرد وسیعی در ماشین‌کاری فولادهای فورج شده، چدن، فولادهای سخت‌کاری شده (فولادهایی که سختی آنها بالاتر از ۴۸ HRC)، قطعاتی که سطوح خارجی آنها سخت‌کاری شده، آلیاژهای بر پایه کبالت و آهن که به وسیله‌ی متالورژی پودر تهیه می‌شوند، چدن‌های پرلیتی و آلیاژهای مقاوم در برابر گرما، دارند.

سرعت‌های برشی نسبتاً بالا با سرعت پیشروی نسبتاً پایین برای این‌گونه ابزارها پیشنهاد شده است و اگر از مواد خنک‌کننده استفاده می‌شود، باید به وفور در لبه ابزار اعمال گردد تا از ایجاد ترک‌های حرارتی در لبه‌ی ابزار در حین

موجود در فولادهای تندبر، همچنین به جهت شناساندن نوع آنها در جدول ۱ عمده این نوع کاربیدها و سختی آنها آورده شده است [۶-۷].

جدول (۱) محدوده سختی کاربیدهای مختلف آلیاژهای فولادهای تندبر

Carbide	Hardness range (HV)	Composition
M_6C	1650 (1200-1800)	W (Mo, Fe, Cr)
M_2C	2200 (1600-2200)	Mo (W, V, Cr, Fe)
M_7C_3	1600 (1400-1800)	Cr (Fe, Mo)
M_3C	1100 (1100-1350)	Fe, Cr, Mo
TiC	3000-3400	Ti
VC	2800-3000	V
NbC	2200-2500	Nb
TaC	1800-2000	Ta
Mo_2C	1500	Mo

همانطور که در شکل مشاهده می‌شود، شکل و مورفولوژی این نوع کاربیدها با هم متفاوت است. کاربیدهای MC با توزیع یکنواخت در زمینه اغلب V یا Nb است و بر خلاف M_6C ، به صورت تکه ای و گلوله ای می‌باشند. کاربیدهای M_7C_3 عمدتاً در مرز دانه‌ها تشکیل شده و حالتی شبیه برش مغز انسان دارد. کاربیدهای M_6C به صورت استخوان ماهی در مرز دانه‌ها تشکیل می‌شود و عمدتاً کاربرد دو تایی است که ترکیب آن، $\text{Fe}_3\text{W}_3\text{C}$ یا $\text{Fe}_3\text{Mo}_3\text{C}$ می‌باشد [۸].

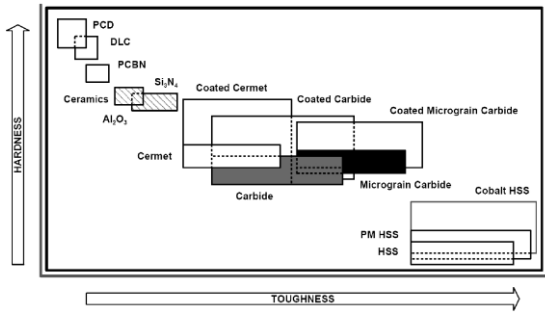
کاربیدهای M_2C بر عکس M_6C دو تایی نبوده و M عمدتاً می‌تواند Mo یا W باشد. شکل این کاربیدها شبیه پره‌های بادبزنی است. کاربیدهای M_2C فیبری شکل بوده و در حالت سه بعدی لایه ای است [۹].

از آنجا که گریدهای آلیاژی مورد استفاده در تولید غلتک‌های نوردد به دلیل پروسه‌های مختلف تولید و شرایط کاری ویژه، با فولادهای تندبر استاندارد تفاوت‌هایی دارند. جدول ۲ خواص مکانیکی یک آلیاژ فولاد تندبر با سختی مشخص شده را نشان می‌دهد. همچنین شکل ۲ گرادیان سختی را در آلیاژهای دولایه این غلتک‌ها نشان داده است.

جدول (۲) خواص مکانیکی و فیزیکی آلیاژ فولاد تندبر

سختی (ShC)	استحکام کششی (MPa)	استحکام خمشی (MPa)	ضریب انبساط حرارتی ($10^{-6} \cdot 1/^{\circ}\text{C}$)	ضریب انتقال حرارت در 500°C ($\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{C}$)
۷۸-۸۶	۹۰۰	۲۵۰۰	۲/۲۷	۱۳

^۱- CBN



شکل (۴) سختی و چقرمگی انواع ابزارهای برشی [۱۲]

۴- بررسی عملی روتراشی غلتک تندبر

غلتک‌های تندبر به دلیل سختی و مقاومت به سایش بالا، از لحاظ براده‌برداری، کالیبرتراشی و آج‌زنی با غلتک‌های معمول تفاوت زیادی دارند. ماشینکاری دقیق یکی از عوامل موثر در مرغوبیت غلتک بوده و این فرایند جزو یکی از فرایندهای بسیار پیچیده می‌باشد. زیرا ابزار برش باید ماده‌ای به سختی ۸۴-۷۰ شورسی را ماشینکاری نماید. در این فرایند اگر ماشینکاری به صورت دقیق انجام نشود و شکل مورد نظر بر روی کالیبر ایجاد نشود، مجدداً باید عملیات کالیبرتراشی و آج‌زنی انجام شود و یا حتی در بعضی موارد ممکن است به اسقاط غلتک منجر شود که همه این عوامل برای شرکت تولیدی، ضررهای زیادی ایجاد می‌کند. شکل ۵ یک غلتک مورد استفاده در نورد میلگرد را نشان می‌دهد.

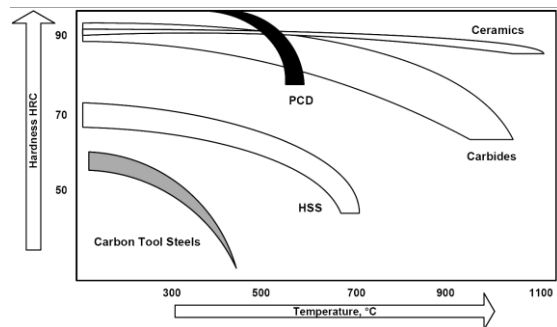


شکل (۵) غلتک نورد میلگرد

۵- آج‌زنی غلتک تندبر

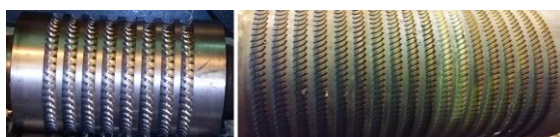
یکی از مهم‌ترین دلایل کاهش استقبال از غلتک‌های فولاد تندبر بالا بودن سختی و مقاومت به سایش آنهاست که باعث شده ماشینکاری و آج‌زنی دشوارتری نسبت به غلتک‌های معمول داشته باشند. به علت همین دشواری در ماشینکاری، مصرف‌کننده‌ها تمایل کمتری به استفاده از این جنس غلتک دارند. این گونه غلتک‌ها نیاز به کالیبراسیون و در میلگردهای آج‌دار علاوه بر کالیبر اصلی بایستی شیارهای مناسبی در آن ایجاد گردد.

ماشین کاری پیش‌گیری شود. اتصال بلورهای Cubic boron که به وسیله فلز یا سرامیک صورت می‌گیرد، تحت شرایط فشار و دمای بالا صورت گرفته و ساختاری شبیه به الماس مصنوعی ایجاد می‌کنند. خواص CBN با تغییر در اندازه بلورها و مقدار و نوع نگهدارنده تغییر کرده و گریدهای مختلفی را به وجود می‌آورند. گریدهایی که دارای مقدار کمتری CBN است، با داشتن نگهدارنده‌ای از جنس سرامیک دارای مقاومت سایشی و پایداری شیمیایی بیشتری است و برای ماشین کاری قطعاتی که از فولاد سخت ساخته شده‌اند مناسب است. ابزارهایی که دارای CBNهای بیشتری هستند، چقرمه‌تر بوده و بیشتر برای چدن‌های سخت و فولادها مناسب می‌باشند. سه خاصیت اصلی در جنس ابزار برشی باید مدنظر باشد، سختی، چقرمگی و مقاومت به سایش، در حین ماشین کاری [۱۲-۱۰]. شکل ۳ قابلیت سختی داغ ابزارهای برشی مختلف را به عنوان تابعی از دما، نشان می‌دهد و شکل ۴ چگونگی کاهش سختی را به ازاء افزایش چقرمگی به نمایش گذاشته است. هرچه چقرمگی شکست ابزار بیشتر باشد، مقاومت آن در برابر نیروهای ناگهانی، شکست، لرزش و عیوب دیگری که در سیستم ماشین کاری ممکن است ایجاد شود، نیز بیشتر است. به همین دلیل از اهداف اصلی تولید کنندگان ابزار برشی، ایجاد سختی بالا و در همان حال چقرمگی خوب و مناسب است.



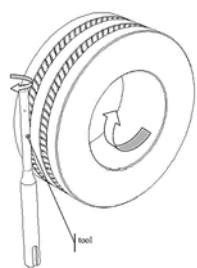
شکل (۳) سختی جنس ابزارهای برشی به عنوان تابعی از دمای ماشینکاری

آج زدن غلتك تندبر خام اوليه به مراتب راحت تر از آج زدن غلتك تندبري است كه در خط توليد قرار گرفته است، زيرا وقتي غلتك تندبر در خط توليد قرار مي گيرد به دليل كار سختي كه روي غلتك ايجاد مي شود و آستينيت باقيمانده در آن، غلتك تبديل به يك جنس بسيار سخت مي شود و مقاومت به سايش بسيار بالايي پيدا مي كند. شكل ۶ شماتيك آج زني تحت دو استاندارد Gost و Din را نشان مي دهد.



شكل (۶) شماتيك براده برداري ابزار در فرآيند آج زني

شكل ۱۰ نحوه درگيري ابزار با سطح قطعه كار را نشان مي دهد. رينگ يا غلتك، به صورت افقي بر روي دستگاه بسته مي شود. ابزار با زاويه مناسب بر روي نگهدارنده آن محكم بسته مي شود. نگهدارنده ابزار به حالت عمودي بر روي ماشين تراش بسته مي شود و حركتي چرخشي حول محور خود دارد و براده برداري انجام مي دهد. نازك بودك قسمت مياني نگهدارنده ابزار به اين علت است كه هنگام ورود ابزار گير به داخل كالبر، درگيري بين سطح كالبر و ابزار گير به وجود نيايد. بديهي است كه براي قطرهای مختلف ميلگرد، ابعاد قسمت های مختلف ابزار گير عدد متفاوتی است.



شكل (۷) شماتيك درگيري ابزار با قطعه كار در فرآيند آج زني [۱۳]

نحوه براده برداري در ماشين های آج زني معمولي بدین صورت است كه در هر پاس، يك مقدار ثابت، كه در ابتدا برای آن تعريف شده است را بار برداري مي نمايد. عمق مقدار بار، بستگی به قابلیت براده برداري ابزار دارد. بديهي است كه هرچه عمق براده برداري بيشتتر باشد، تعداد پاس لازم برای تراش آج يك كالبر كاهش يافته و در نتيجه زمان آج زني كاهش مي يابد. مثلا اگر بخوايم عمق ۱/۲

این تحقیق به منظور دست یافتن به روشی جهت آج زنی غلتك های فولاد تندبر تيپ M و انتخاب ابزار مناسب جهت این كار و بهينه سازی پارامترهای ماشینكاری انجام خواهد شد. در صورتی كه این نیاز صنعت رفع شود و غلتك های تندبر وارد خطوط توليد شوند توققات نورد كاهش یافته، زمان های تعویض غلتك كاهش مي يابد و در مجموع نرخ سايش كم شده و راندمان افزایش مي يابد و تحولي عظيم در صنعت نورد گرم ميلگرد در داخل كشور رخ خواهد داد.

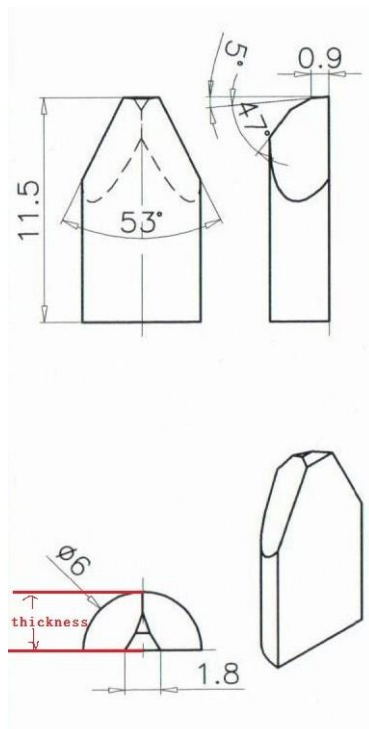
در حال حاضر پس از توليد يك غلتك از جنس فولاد تندبر، بسته به قفسه مربوطه كالبر تراشي و آج زني اوليه به راحتی بر روي غلتك انجام مي گيرد. وقتي این غلتك در خط توليد قرار مي گيرد و بر روي آن نورد انجام مي شود به دليل آستينيت باقی مانده در آن كارسختي بالايي پيدا مي كند. همچنين به واسطه نورد انجام شده بر روي غلتك عيوبي در سطح غلتك به وجود مي آيد كه لازم است غلتك از خط توليد خارج شده و بر روي آن كالبر تراشي و آج زني جديد انجام شود. اما به دليل سختي بالايي كه این غلتك پيدا کرده است آج زني آن غير ممكن مي شود.

طبق تحقیقات انجام شده تكنولوژی توليد غلتك های تندبر در ايران در شركت هایی مانند چدن سازان، فولاد آلياژی وجود دارد اما تا كنون هيچ شركتي در داخل كشور موفق به آج زني این جنس غلتك نشده است و علی رغم مزایای بسیار بالای غلتك های تندبر نسبت به سایر غلتك ها، به علت این مشكل هنوز غلتك های تندبر وارد خطوط نورد ميلگرد آجدار نشده اند. به علت عدم دست يابی به تكنولوژی آج زني غلتك های تندبر، این غلتك ها تبديل به غلتك های يكبار مصرف شده اند زيرا پس از اينكه غلتك در مرحله اول در خط توليد قرار گرفت و نورد بر روي آن انجام شد و به حداكثر تناژ نورد خود رسيد، در مرحله دوم قادر به كالبر تراشي و آج زني آن نيستيم. به همین دليل غلتك های تندبر تبديل به غلتك های يكبار مصرف شده اند و شركت های توليدكننده ميلگرد تمايلي به استفاده از غلتك های تندبر ندارند.

زمان ثبت گردید. شکل ۱۲ ابزار مورد استفاده جهت این عملیات را نشان می‌دهد.

جدول (۴) مشخصات طراحی مرکب مرکزی

Central Composite Design	
Factors:	۳
Replicates:	۱
Total runs:	۱۷
Two-level factorial:	Full factorial
Cube point:	۸
Center point in cube:	۳
Axial point:	۶
Center points in axial:	۰
Alpha:	۲

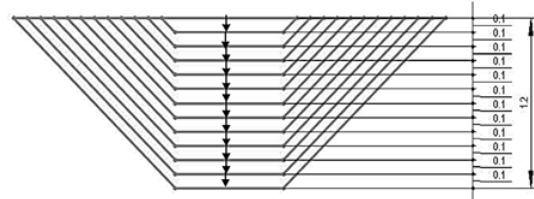


شکل (۹) اینسرت CBN آج

۸- بررسی و تحلیل دوتایی پارامترها و تاثیر آن بر زمان پس از اینکه آزمایش‌های طراحی شده انجام شد و مقادیر کمی برای پارامتر زمان به دست آمد، این مقادیر در نرم افزار مینی تب ثبت شد. در ابتدا با توجه به مدل‌های ریاضی پیشنهادی نرم افزار، جهت انتخاب بهترین مدل، نتایج در تمام مدل‌ها جایگزین شده و با توجه به میزان دو پارامتر P Value و Sq-R بهترین مدل انتخاب می‌شود. جدول ANOVA عوامل موثر را از غیرموثرها تفکیک می‌نماید. در

میلیمتر را براده‌برداری نمایم، و ابزار ما قابلیت باربرداری حداکثر ۰/۱ میلیمتر در هر پاس را داشته باشد، بنابراین ۱۲ پاس براده‌برداری انجام شود تا به عمق مورد نظر برسیم.

شکل ۸



شکل (۸) شماتیک آج‌زنی با عمق ثابت در هر پاس [۱۴]

۶- آج‌زنی غلتک تندبر با ابزار CBN

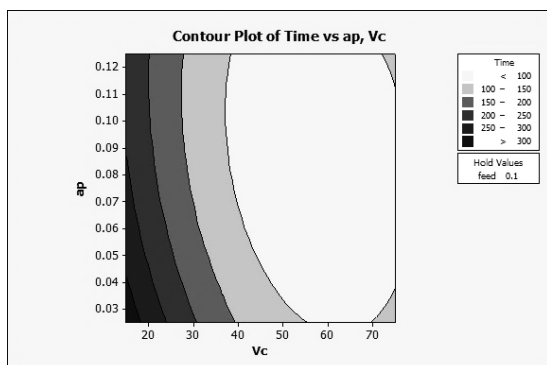
پس از انجام بررسی‌های اولیه، مشخص شد که امکان آج‌زنی غلتک تندبر با ابزار CBN وجود دارد. به منظور به دست آوردن بازه کمی پارامترهای مورد نظر، آزمایش را تا جایی ادامه دادیم که کیفیت سطح از حد مورد نظر تجاوز ننماید. جدول ۳ مقدار کمی حداکثری و حداقلی پارامترهای ذکر شده را نشان می‌دهد.

جدول (۳) بازه کمی پارامترها

پارامتر	حداقل	حداکثر
سرعت برشی	۳۰ m/min	۶۰ m/min
پیشروی	۰/۰۵ mm/rev	۰/۱ mm/rev
عمق برش	۰/۰۵ mm	۰/۱ mm

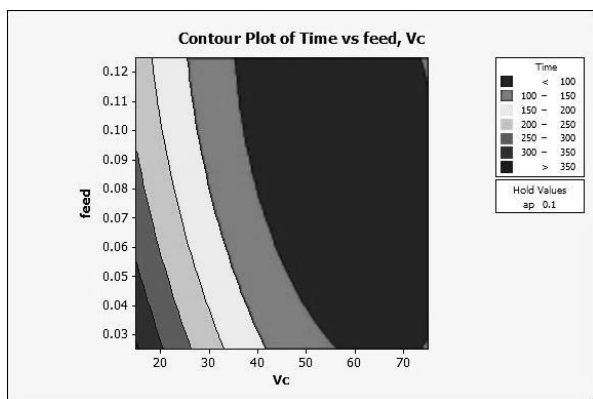
۷- طراحی آزمایش به روش RSM در نرم افزار مینی تب در این تحقیق جهت طراحی و تحلیل آزمون‌ها که تمام حالت‌های لازم در این فرایند را در بر داشته باشد از روش CCD استفاده شد. با توجه به سه پارامتر موثر در فرایند، اقدام به طراحی آزمایش از روش رویه پاسخ به وسیله نرم افزار مینی تب گردید. هدف طراحی آزمایش کاهش زمان و تعداد آزمایشات و در نتیجه کاهش هزینه می‌باشد. با توجه به داده‌ها، نرم افزار تعداد ۱۷ آزمایش طراحی نمود. مشخصات طراحی مرکب مرکزی در جدول ۴ آورده شده است. با توجه به نقاط به دست آمده از نرم افزار، عملیات آج‌زنی با اینسرت CBN انجام شد و پارامتر خروجی، یعنی

به‌دست آمده از تغییرات سرعت برشی و عمق بار و تاثیر آن بر روی زمان را نشان می‌دهد. زمان مطلوب در این تصویر ناحیه ۱۲۰ ثانیه می‌باشد.



شکل (۱۰) تغییرات سرعت برشی و عمق بار و تاثیر آن بر روی زمان

در شکل ۱۱ تصویر رویه به‌دست آمده از تغییرات سرعت برشی و پیشروی و تاثیر آن بر روی زمان مشاهده می‌شود. زمان ایده آل در این تصویر، ناحیه ای است که زمان در آن تغییرات بین ۱۰۰ تا ۱۵۰ ثانیه دارد. سرعت‌های برشی و پیشروی‌های موجود در این ناحیه، مطلوب است.



شکل (۱۱) تغییرات سرعت برشی و پیشروی و تاثیر آن بر روی زمان

در شکل ۱۲ تصویر رویه به‌دست آمده از تغییرات پیشروی و عمق بار و تاثیر آن بر روی زمان نشان داده شده است. زمان مطلوب در این تصویر ناحیه ای است که زمان آن در محدوده ۱۲۰ ثانیه است. متغیرهای موجود در این بازه زمانی، مطلوب هستند.

صورتی که $P < 0.05$ باشد آن فاکتور موثر می‌باشد ولی اگر P-Value برای Lack of Fit بزرگ‌تر از ۰/۰۵ باشد آن فاکتور غیر موثر است، یعنی میزان عدم انطباق مدل آزمایش با مدل واقعی معنی‌دار نمی‌باشد و مدل آزمایش به خوبی بیانگر مدل واقعی نیست. در اصلاح مدل، فاکتورهای موثر از غیر موثر جدا می‌شود و گراف‌ها و نمودارها بررسی می‌شوند. فاکتورهایی مانند ۰/۰۵۷ که خیلی به ۰/۰۵ نزدیک باشند را حذف نمی‌کنیم. همچنین اگر $A \times B$ موثر بوده و B غیر موثر باشد، فاکتور B را که فاکتور نصب نامیده می‌شود را نگه می‌داریم و حذف نمی‌کنیم.

R-Sq میزان صحیح بودن آزمایش را نشان می‌دهد.

Lack of Fit دقت آزمایش و بهینه بودن مقدار پیش‌بینی شده را نشان می‌دهد. هرچه این عدد بیشتر باشد مدل انتخاب شده مناسب‌تر است. [۱۷-۱۵].

جدول ۵ نتیجه تحلیل آزمایش با مدل Full quadratic را نشان می‌دهد.

جدول (۵) نتیجه تحلیل آزمایش با مدل Full quadratic

	Vc	ap	feed	Lack-of-Fit	R - Sq
P Value	0.000	0.023	0.021	0.011	93.99%

بعد از اینکه آزمایش توسط نرم افزار مدل شده و انجام شد، وارد مرحله تحلیل آزمایش می‌شویم. با بررسی جدول‌های فوق می‌توان دریافت که بالاترین عدد برای R-Sq در روش Full quadratic به‌دست آمده است. همچنین مقدار P Value برای Lack-of-Fit در این روش نسبت به سایر روش‌ها عدد بالاتری را نشان می‌دهد. و نیز در این روش، P Value برای متغیرهای سرعت برشی و عمق برش نسبت به سایر روش‌ها کمتر است. بنابراین برای این آزمایش، مدل Full quadratic نسبت به سایر مدل‌ها مناسب‌تر می‌باشد.

۹- بررسی گراف‌ها

در این قسمت کلیه نتایج مربوط به تغییر پارامترها به‌صورت دوتایی بر روی پارامتر خروجی که زمان می‌باشد ارائه گردیده است. با توجه به تصاویر رویه‌های به‌دست آمده در این قسمت، پارامتر زمان با توجه به متغیرها به صورت دوتایی مورد بررسی قرار گرفت. در شکل ۱۰ تصویر رویه

جدول (۶) داده‌های مقادیر بهینه شده سرعت برشی، پیشروی و عمق بار

متغیرها	سرعت برشی	پیشروی	عمق بار
مقدار بهینه	30 m/min	0.12 mm/rev	0.09 mm

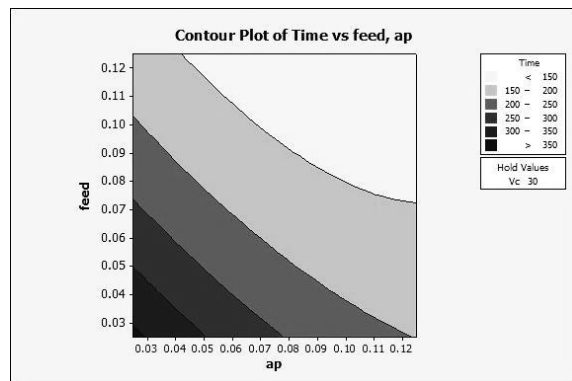
شیب خطوط به دست آمده، میزان تاثیر گذاری آن پارامتر را نسبت به پارامترهای دیگر مشخص می‌نماید. هرچه قدر شیب بیشتر باشد میزان تاثیر گذاری بیشتر است. به عنوان مثال، عمق بار نسبت به پارامترهای دیگر تاثیر بیشتری دارد. محدوده سفید رنگ، محدوده تoleransi تعیین شده را نشان می‌دهد و محدوده ای است که قابلیت انجام فرایند با خواسته‌های مورد نظر وجود دارد. نقاط بهینه فرایند با تنظیمات انجام شده در Minitab در Cur با رنگ قرمز نشان داده شده است.

در آزمایشی دیگر بر روی همین غلتک، جهت صحت سنجی نتیجه به دست آمده توسط روش RSM، آج زنی بر روی همان غلتک با پارامترهای سرعت برشی ۳۰ m/min، پیشروی ۰/۱۲ mm/rev و عمق بار ۰/۰۹ میلی‌متر انجام شد. زمان این فرایند، ۱۲۵ ثانیه بود که مطابقت خوبی با مدل بهینه سازی شده داشت.

۱۱- نتیجه گیری

یکی از مشکلات بزرگ تولید کنندگان میلگرد، آج زدن غلتک‌های تندبر است. همان گونه که در این تحقیق اشاره شد، آج زدن این غلتک‌ها با ابزارهای معمول امکان پذیر نیست.

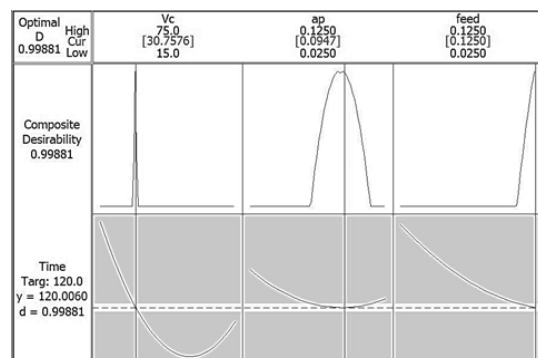
اینسرت CBN قابلیت نفوذ خوبی در داخل غلتک تندبر داشته و طول عمر مناسبی دارد. به منظور ارائه پارامترهای بهینه برای این فرایند، نیاز به روشی داشتیم که تعداد آزمایشات را کاهش دهد. لذا روش RSM در نرم افزار مینی-تب مورد استفاده قرار گرفت. به کمک این روش، تعداد آزمایشات به ۱۷ عدد کاهش یافت. پس از مشخص شدن نتایج آزمایش‌ها، بهینه سازی فرایند انجام شد. زمان آج زدن یک کالیبر با اینسرت CBN بین ۱۰۰ تا ۲۱۰ ثانیه بود که زمان مناسبی بود. ضمن اینکه صافی سطح آج زده شده با این ابزار مناسب بود. همچنین نتایج به دست آمده از



شکل (۱۲) تصویر رویه به دست آمده از تغییرات پیشروی و عمق بار و تاثیر آن بر روی زمان

۱۰- بررسی بهینه سازی فرایند

از آنجا که هر سه پارامتر مورد بررسی بر روی زمان خروجی تاثیر گذار هستند لذا لازم همه این پارامترها بهینه شوند. برای بهینه سازی می‌توان از روش‌های مختلفی استفاده نمود، که در این تحقیق از امکانات بهینه سازی نرم افزار مینی تب استفاده شده است. در این قسمت جهت بهینه سازی فرایند از نمودارهایی که تاثیر همزمان کلیه پارامترهای تاثیر گذار بر روی زمان را نشان می‌دهد، استفاده شده است. بدین صورت که در ابتدا بازه زمانی مشخص می‌گردد و سپس هدف نهایی در تنظیمات نرم افزار مینی-تب اعمال میگردد. شکل ۱۳، Cur نقاط بهینه پارامترهای تاثیر گذار بر فرایند را نشان می‌دهد. با توجه به درجه تحقق که عدد یک می‌باشد، قابلیت رسیدن به هدف مورد نظر ۹۹ درصد می‌باشد. جواب بهینه استخراج شده از نمودار، در جدول ۶ آورده شده است.



شکل (۱۳) نمودار نتایج بهینه سازی شده با استفاده از روش RSM در مینی تب

- rolls, *Metallurgical and materials Transactions A*, Vol. 36A, Janury 2005 PP87-97.
- [8] Hwang K.C., Lee S., Lee H.C., Effect of alloying elements on microstructure and fracture propertices of cast high speed steel rolls, Part I: Microstructure analysis, *Materials Science and Engineering A*, 2009, P282-295.
- [9] Westerholt W, Dichtl H.J., Practical Experience with Work Roll of High Chromium Alloyed Cast Iron and their Core Materials in Hot Strip Mills, *Jamshdpur*, 27th and 28th November 1992.
- [10] Comand P., Martecchini F., Zorzi L., Roll Stock database and CNC Machine Programming: A INTEGRATED APPROACH, *MPT International*, 2013.
- [11] *ISCAR Cutting Tools*" catalog.
- [12] Ruppi S., Hogrelius B., Huhtiranta M., "Wear characteristic of TiC, Ti(C,N), TiN, and Al₂O₃ coatings in the turning of conventional and Ca-treated steels", *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials*, Volume 16, 2014, p353-368.
- [13] *ATOMAT GROUP, Tools and Tool Supports " catalog*.
- [14] Comand P., Martecchini F., Fernando Marucco L., Roll indentation for RE-BAR production: a strategy for the new global market demands, *Atomat Co*, 2009.
- [15] Oehlert G.W., A First Course in Design and Analysis of Experiments, *University of Minnesota*, 2010.
- [16] Taavitsainen V.M., Experimental Optimization and Response Surfaces, *Helsinki Metropolia University of Applied Sciences Finland*, 2003.
- [17] Myers R.H., Montgomery D.C., Anderson C.M., Response Surface Methodology, *Third Edition*, Wiley, 2009.
- بهینه‌سازی می‌بایست صحت سنجی می‌شد که در انجام آزمایش نهایی، مشخص شد که پارامترهای معرفی شده از طرف نرم افزار، تطابق خوبی در عمل دارند. لذا جهت آج-زدن غلتک‌های تندبر می‌توان از اینسرت CBN با پارامترهای سرعت برشی ۳۰ m/min، پیشروی ۰/۱۲ و عمق بار ۰/۰۹ میلی‌متر استفاده نمود که زمان این فرایند، در حدود ۱۲۵ ثانیه خواهد بود.
- ۱۲- تقدیر و تشکر
- تشکر و قدردانی از استاد راهنما دکتر کلاهدوز، استاد مشاور دکتر افتخاری و مهندس مشایخی. همچنین از همراهی و مساعدت خوب شرکت چدن سازان، ذوب آهن اصفهان، فولاد الگودرز و فولاد کویر کاشان صمیمانه تشکر می‌کنم.
- مراجع:**
- [1] F HG., Zhao AM., Z., Xing JP., Development of Centrifugal Casting High Speed Steel Rolls, *Journal of science and technology Beijing*, Volume 10, Issue 6, p61-66, 2009.
- [2] Mauk P., Overhagen Ch., Current state of the art and developments for hot and cold rolling of flat and long products, *proceeding of the 10th international conference on steel rolling*, pp.30-39, china, 2010.
- [3] Hwang K.C., Lee S., Effect of alloying elements on microstructure and fracture propertices of cast high speed steel rolls, Part II: Fracture behavior, *Materials Science and Engineering A.*, Volume 254A, 2009, P296-304.
- [4] S. W. Kim, U.J. Lee, K.D.Woo, and D.K.Kim, Solidification microstructures and mechanical propertice of vertical centrifugal Cast High Speed Steel, *materials science and technology* December 2008, Vol.19, P1727-1732.
- [5] J. B. Mees, E. M. Lowe and D. Wragg, Development of complex carbide reinforced metal work rolls, *MWSP Conf.Proc.*, Iss, Vol.XXXIII, 1996, PP 253-257.
- [6] F HG, Zhao Am, Xing Jp, Development of centrifugal casting high speed steel rolls, *journal of science and technology Beijing*, Vol.10, Issue 6, December 2013, pp61-66.
- [7] Chang Kyu Kim, Jong II Park, Sunghak Lee, Yong Chang Chan Kim, Nack J Kim and Jung Seung Yang, Effect of alloying elements on microstructure, hardness and fracture toughness of centrifugally cast high speed steel

