



بررسی اثر پارامترهای درسینگ و تروئینگ چرخ سنگ در کیفیت سطح و دقت سنگ زنی غلتک‌های فولادی کروم - مولیبدن در فرایند سنگ زنی استوانه‌ای

محمدعلی حسینیان¹، مصطفی حبیب نیا^{2*}، اصغر شمسی سربند³

1- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساری، ساری

2- مربی، مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد جویبار، جویبار

3- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساری، ساری

*Sاری، صندوق پستی 4813965998، M.habibnia@stu.nit.ac.ir

کلیدواژگان

چکیده

سنگ زنی
درسینگ
زبری سطح
طراحی آزمایش

سنگ زنی یکی از فرایندهای نهایی روی قطعه است که کیفیت سطح را بهبود می‌بخشد. چرخ سنگ باید قبل از آن که کیفیت سطح خراب شود تیز گردد. به منظور دستیابی به بهترین شرایط سطح چرخ سنگ باید پارامترهای درسینگ آن به خوبی تنظیم شوند. در این پژوهش یک مطالعه آزمایشگاهی برای بررسی اثرات پارامترهای فرایند درسینگ چرخ سنگ بر کیفیت سطح قطعه کار غلتک-های نورد فولادی کروم - مولیبدن انجام شد. در ابتدا عملیات درسینگ بر چرخ سنگ انجام و توپوگرافی چرخ سنگ، کیفیت سطح چرخ سنگ و کیفیت سطح قطعه کار در قبل و بعد از عملیات سنگ زنی مورد مقایسه قرار گرفت. در این قسمت تعداد 20 آزمایش با استفاده از روش پاسخ سطح و طراحی مرکب مرکزی انجام شد تا اثرات پارامترها بر زبری سطح نهایی تعیین گردد و پارامترهای بهینه شناسایی شوند. در مطالعه پارامترها نتایج بدست آمده نشان داد در بین پارامترهای فرایند سرعت پیشروی و عمق درسینگ در کمترین مقدار و سرعت چرخ سنگ در بالاترین مقدار، تأثیرگذارترین پارامتر بر زبری سطح نهایی خواهند بود. در پایان جهت بهینه سازی زبری سطح از روش تابع مطلوب استفاده شد.

Investigation the effects of Dressing and Truing of grinding wheel on surface quality and grinding accuracy of chrome-molybdenum steel rolls in cylindrical grinding process

Mohammad Ali Hosseini¹, Mostafa Habibnia^{2*}, Asghar Shamsi Sarband¹

1- Department of Mechanical Engineering, Sari branch, Islamic Azad University, Sari, Iran.

2- Department of Mechanical Engineering, Islamic Azad University, Jouybar, Iran

*P.O.B. 4813965998 sari, Iran, m.habibnia@stu.nit.ac.ir

Keywords

Grinding
Dressing
surface roughness
design of experiment

Abstract

Grinding is one of the final processes on the ground part that improves surface quality. Grinding wheel must be sharpened before surface quality damaged. Dressing parameters must be well adjusted in order to achieve the best conditions of grinding wheel surface. In the present research an experimental study has been performed to analyze effect of dressing parameters on surface quality of chrome-molybdenum rolls. Firstly, dressing was performed on grinding wheel and topography of wheel, wheel surface quality and surface quality of ground part were compared before and after grinding process. Further, a parameters study was carried out to determine the effects of dressing speed, feed rate and dressing depth on the surface roughness of the ground part. Here, 20 experiments were designed by use of central composite design and response surface methodology to determine effects of parameters on the final surface roughness and also identify optimal parameters. In the parameters study obtained results indicated that in minimum dressing feed rate and in minimum dressing depth and in maximum dressing speed are the most effective parameters among process parameters. Finally, the desirability approach function has been used to optimize surface roughness simultaneously.

1- مقدمه

سطح چرخ سنگ در اثر سنگ زنی و پرداخت قطعات پس از مدتی ساییده شده و در اثر این سایش میزان تیزی آن از بین رفته و یک خطای ابعادی در آن به وجود می‌آید. بنابراین جهت تصحیح خطای ابعادی ناشی از سایش چرخ سنگ نیاز به تیز

فرایند سنگ زنی به گونه‌ای است که دانه‌های ساییده به عنوان میکروبله‌های برنده عمل کرده که در حین براده برداری با سطح قطعه کار درگیر می‌شود [1]

Please cite this article using:

M. A. Hosseini, M. Habibnia, A. Shamsi Sarband, Investigation the effects of Dressing and Truing of grinding wheel on surface quality and grinding accuracy of chrome-molybdenum steel rolls in Cylindrical grinding process, *Iranian Journal of Manufacturing Engineering*, Vol. 3, No. 2, pp. 26-33, 2016 (in Persian)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

خواهد شد تا با استفاده از آن اثرات پارامترهایی مانند عمق درسینگ، سرعت چرخش چرخ سنگ و سرعت پیشروی بر قابلیت تروئینگ و درسینگ و سنگ‌زنی قطعه کار مورد مطالعه قرار گیرد.

2- روش انجام آزمایش

برای انجام آزمایش از غلتک فولادی کروم-مولیبدن با قطر 425 میلی‌متر که به عنوان غلتک نورد در شکل‌دهی ورق‌های ST37 می‌باشد، استفاده شده است. در جدول 1 خواص مکانیکی این غلتک آمده است.

چرخ سنگ استفاده شده در این آزمایش با ذرات ساینده سیلیکون کارباید با باند ویتریفاید می‌باشد. همچنین به منظور انجام فرایند درسینگ از ابزار درسر الماسه تک لبه استفاده شده است، نوع سیال جهت خنک‌کاری در فرایند درسینگ روغن سنتتیک می‌باشد.

در این پژوهش از دستگاه ماشین سنگ محور ساخت شرکت METEX آلمان استفاده شده که قابلیت پرداخت کاری محورها و غلتک‌های با طول و قطرهای بزرگ را دارد. شکل 1 فرایند درسینگ توسط این دستگاه را نشان می‌دهد.

شکل 2 دستگاه زبری سنج RT2200 با دقت 0/01 میکرون می‌باشد که به منظور بررسی کیفیت سطح و اندازه‌گیری میزان زبری سطح، از آن استفاده شده است. برای مشاهده توپوگرافی چرخ سنگ و همچنین بررسی سطح قطعه کار از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی² با مقیاس 200 میکرومتر مربع در این پژوهش استفاده شده است. با توجه به فرایند سنگ‌زنی و درسینگ، ابتدا آزمایش‌های اولیه برای انتخاب دقیق سطوح پارامترها انجام شد تا محدوده عملکردی پارامترها برای آزمایش‌ها مشخص شود، که این پارامترها براساس میزان تغییرات کیفیت چرخ سنگ، محدودیت‌های ماشین سنگ‌زنی و کاتلוג سازنده چرخ سنگ صورت پذیرفت.

جدول 1 خواص مکانیکی غلتک فولاد کروم-مولیبدن

خواص	4Crmo
مدول الاستیته (GPa)	205
استحکام تسلیم (Mpa)	710
استحکام کششی (Mpa)	1110
ازدیاد طول (5)	13/2
سختی (v)	82

کردن آن می‌باشد. عمل تیز کردن سطح سنگ را درسینگ و تصحیح خطای ابعادی را تروئینگ می‌باشند، که توسط یک مکانیزم در دستگاه سنگ‌زنی انجام می‌گردد [2].

مقاله‌های فراوانی وجود دارد که در آن تأثیر فرایند درسینگ و تروئینگ چرخ سنگ درسنگ‌زنی را مورد مطالعه قرار داده‌اند. شی و همکاران [3] با استفاده از چرخ سنگ سیلیکون کارباید به بررسی اثر پارامترهای عمق درسینگ و سرعت پیشروی نسبت به میزان سایش چرخ سنگ پرداختند. نتایج نشان داد با افزایش عمق و سرعت پیشروی میزان سایش چرخ سنگ افزایش پیدا خواهد کرد. باصری و همکاران [4] با استفاده از چرخ سنگ اکسید آلومینیوم به بررسی مدل‌سازی تحلیلی با استفاده از فرایند درسینگ دیسکی و بررسی کیفیت سطح پرداختند. نتایج به دست آمده نشان داد که نسبت سرعت چرخ سنگ به درسر بیشترین تأثیر را بر نیرو و کیفیت سطح دارد. عزیز و همکاران [5] با استفاده از چرخ سنگ CBN¹ به بررسی نیرو و انرژی مخصوص سنگ‌زنی در ابزار درسر فنجانی شکل پرداختند. آن‌ها نشان دادند که افزایش نسبت سرعت درسینگ سبب کاهش نیروی مماسی و سبب افزایش انرژی مخصوص سنگ‌زنی می‌گردد.

لئو و همکاران [6] با استفاده از چرخ سنگ الماس به شبیه‌سازی هندسه ذرات ساینده در فرایند درسینگ پرداختند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که با افزایش سرعت پیشروی و عمق درسینگ، زبری سطح کار افزایش پیدا می‌کند. در این راستا گو و ژائو [7] به تروئینگ و درسینگ چرخ سنگ V شکل سیلیکون کاربایدی به صورت آنالین پرداختند. آن‌ها اثرات پارامترهایی مانند سرعت چرخش ابزار غلطکی تروئینگ، سرعت چرخش چرخ سنگ، عمق درسینگ، سرعت پیشروی و اندازه ذرات ساییده را بر میزان زاویه نوک پروفایل V شکل مورد بررسی قرار دادند و نتایج نشان داد که با افزایش سرعت چرخش غلطک تروئینگ، کاهش سرعت چرخش چرخ سنگ، کاهش عمق تروئینگ، کاهش پیشروی و کاهش اندازه ذرات ساینده میزان شعاع نوک پروفایل V شکل چرخ سنگ را کاهش خواهد داد.

با توجه به پژوهش‌های انجام شده ملاحظه شد که تاکنون اثرات پارامترهای درسینگ با استفاده از یک روش سیستماتیک در سنگ‌زنی مورد مطالعه قرار نگرفته است. همچنین بهینه‌سازی پارامترهای فرایند برای رسیدن به بیشترین قابلیت سنگ‌زنی و درسینگ صورت نگرفته است. لذا در این پژوهش یک مطالعه سیستماتیک بر اساس روش‌های طراحی آزمایش انجام

² SEM

¹ Cubic Boron Nitride

به طور کلی برای یک آزمایش با K متغیر و n سطح برای هر متغیر، تعداد کل آزمایشات برابر با nk خواهد شد. بنابراین با افزایش تعداد متغیرها، تعداد آزمایشات به صورت نمایی افزایش می‌یابد که انجام این تعداد آزمایش منطقی نیست. بنابراین هدف اصلی طراحی آزمایشات، گسسته‌سازی مناسب فضای جواب‌ها و انتخاب مهمترین حالات آزمایشی است تا بتوان با استفاده از آن، فرایند را به بهترین وجه بررسی کرد.

کلیدهای فرایندها دارای ورودی، خروجی و تعدادی عوامل قابل کنترل یا غیر قابل کنترل می‌باشند، بنابراین اگر میزان و شیوه اثر گذاری هر عامل در جریان تبدیل ورودی به خروجی مشخص باشد، می‌توان فرایند را کنترل کرد [9]. در این پژوهش به منظور بررسی صحیح اثر هر یک از پارامترها و به دست آوردن یک مدل تجربی از خروجی‌ها با توجه به روش پاسخ سطح¹ از طراحی مرکب مرکزی² سه متغیره استفاده شده است که تعداد 20 آزمایش مورد مطالعه قرار گرفت جدول 3 ماتریس طراحی آزمایشات و مقادیر بدست آمده از زبری سطح را نشان می‌دهد.

جدول 3 ماتریس طراحی آزمایش و مقادیر بدست آمده

Table 3 Experiment design matrix and obtained values

شماره	سرعت چرخ سنگ	سرعت پیشروی	عمق درسینگ	زبری سطح
	N (RPM)	f (mm/min)	dod (μ m)	Ra (μ m)
1	20	10	25	1/598
2	40	10	25	1/51
3	20	20	25	1/71
4	40	20	25	1/574
5	20	10	35	1/64
6	40	10	35	1/736
7	20	20	35	1/82
8	40	20	35	1/793
9	20	30	30	1/704
10	40	30	30	1/668
11	30	10	30	1/562
12	30	20	30	1/78
13	30	30	25	1/615
14	30	30	35	1/69
15	30	30	30	1/645
16	30	30	30	1/645
17	30	30	30	1/645
18	30	30	30	1/645
19	30	30	30	1/645
20	30	30	30	1/645

¹ Response Surface

² Central Composite Design (CCD)

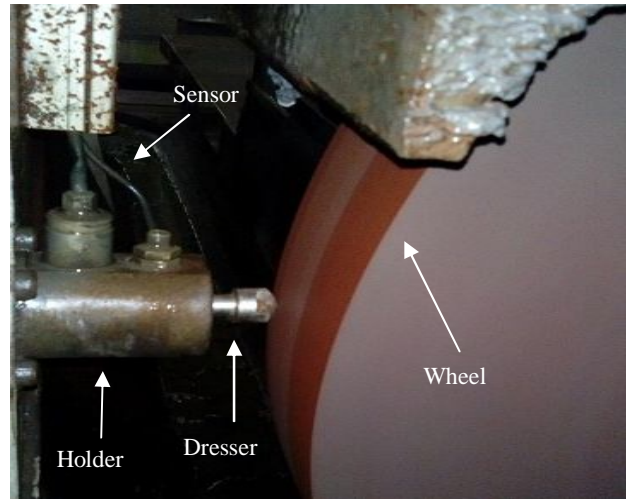


Fig. 1 Conffliction of dressers tool with wheel in dressing process

شکل 1 درگیری ابزار درسر با چرخ سنگ در فرایند درسینگ



Fig. 2 Roughness measuring device

شکل 2 دستگاه زبری سنج

جدول 2 پارامترهای فرایند و سطوح آنها

Table 2 Process factors and their levels

پارامترهای فرایند	نماد/واحد	سطح 1	سطح 2	سطح 3
سرعت چرخ سنگ	N (RPM)	20	30	40
سرعت پیشروی	f (mm/min)	10	20	30
عمق درسینگ	dod (μ m)	25	30	35

پارامترهای انتخابی برای انجام آزمایش شامل سرعت چرخش چرخ سنگ، سرعت پیشروی و عمق درسینگ می‌باشد، که جدول 2 پارامترهای فرایند و سطوحشان را ارائه می‌کند.

3- نتایج و بحث

3-1- طراحی آزمایش‌ها

در تمام زمینه‌های علمی و پژوهشی، به منظور شناسایی یک فرایند با سیستم معین و استخراج مطالب جدید معمولاً بایستی آزمایش انجام شود. برای این منظور به پایگاه داده تجربی از فرایند نیاز است [8].

3-3- راستی آزمایی مدل‌های پیشنهادی

عدم تناسب 0/00185 نشان دهنده‌ی این می‌باشد که احتمال این که داده‌ها به صورت اتفاقی جمع‌آوری شده باشند کم می‌باشد. بنابراین مدل مربوطه هم صحت و هم دقت کافی را در پیش‌بینی زبری سطح خواهد داشت. بنابراین می‌توان از این مدل تجربی جهت تحلیل اثرات پارامترهای فرایند بر زبری سطح استفاده نمود.

برای بررسی صحت مدل‌های پیشنهاد شده، مقادیر تجربی زبری سطح با مقادیر پیش‌بینی توسط مدل ریاضی مورد مقایسه قرار گرفتند. در شکل 3 مقایسه داده‌های بدست آمده از آزمایش با مدل تجربی بیانگر پراکندگی داده‌ها پیرامون خط $Y=X$ می‌باشد که نشان دهنده دقت مدل در پیش‌بینی می‌باشد به عبارت دیگر مقادیر پیش‌بینی شده که در محور Y قرار دارند با مقادیر واقعی که در محور X قرار دارند به هم نزدیک بوده و به همین دلیل حول خط $Y=X$ پراکنده شده‌اند [10].

3-4- بررسی اثر پارامترها

3-4-1- اثر سرعت چرخ سنگ

در شکل 4 اثر سرعت چرخش چرخ سنگ را در عملیات درسینگ بر میزان کیفیت سطح سنگ‌زنی شده نشان می‌دهد. در این شکل سرعت چرخ سنگ از 20 تا 40 دور بر دقیقه تغییر می‌کند در حالی که سرعت پیشروی و عمق درسینگ به ترتیب در مقادیر 20 میلی‌متر بر دقیقه و 30 میکرون ثابت نگه داشته می‌شود که در این شکل ملاحظه می‌گردد که با افزایش سرعت چرخ سنگ از 20 تا 40 دور بر دقیقه میزان زبری سطح قطعه کار پس از عملیات سنگ‌زنی کاهش می‌یابد.

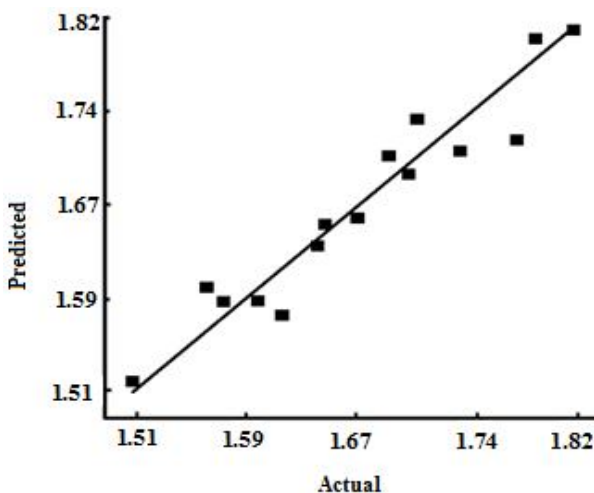


Fig. 3 Diagram of comparing predicted values with experimental values

شکل 3 نمودار مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده با مقادیر تجربی

معادله (1) چند جمله‌ای به دست آمده از یک مدل تجربی جهت ارایه رابطه بین متغیرهای فرایند و زبری سطح می‌باشد که با تحلیل در نرم‌افزار دیزاین اکسپرت¹ بدست آمد:

$$Ra = 1.71 - 0.034 \times N + 4.9E - 3 \times f + 0.01 \times dod + 2.41 E - 4 \times N^2 + 9.1E - 5 \times f^2 - 3.74E - 4 \times dod^2 - 2.18 E - 4 \times N \times f + 7.4E - 4 \times N \times dod + 1.4E - 4 \times f \times dod \quad (1)$$

Ra زبری سطح (میکرومتر) است.

3-2- آنالیز واریانس² مدل تجربی زبری سطح

نتایج آنالیز واریانس مدل تجربی زبری سطح که در جدول 4 ارائه شده است. در مدل به دست آمده دیده می‌شود که مقدار P برای این مدل برابر با 0/002 می‌باشد که نشان دهنده این است که مدل مورد نظر دقت بالایی را جهت پیش‌بینی زبری سطح دارد. به علاوه هر فاکتوری که در آن مقادیر P کمتر از 0/05 باشد تأثیر بسزایی در مدل‌سازی خواهد داشت.

جدول 4 آنالیز واریانس برای مدل‌سازی زبری سطح

Table 4 Variance analysis for modeling surface roughness

ردیف	جمع مربعات ³	درجه آزادی	میانگین مربعات ⁵	مقادیر F	مقادیر P
مدل	11	9	0/012	12/72	0/0002
A	$3/94 \times 10^{-3}$	1	$3/94 \times 10^3$	23/74	0/0418
B	0/039	1	0/039	42/07	0/0001
C	0/046	1	0/046	48/91	0/0001
A ²	$1/64 \times 10^{-3}$	1	$1/64 \times 10^3$	1/71	0/1197
B ²	$2/29 \times 10^{-4}$	1	$2/29 \times 10^4$	0/25	0/2305
C ²	$2/49 \times 10^{-4}$	1	$2/49 \times 10^4$	0/26	0/2107
AB	$3/38 \times 10^{-3}$	1	$3/38 \times 10^3$	3/90	0/0405
AC	0/011	1	0/011	11/80	0/0065
BC	$1/84 \times 10^{-3}$	1	$1/84 \times 10^3$	2/70	0/0546
باقیمانده ⁶	$9/34 \times 10^{-3}$	10	$9/34 \times 10^3$		
عدد تناسب ⁷	$9/34 \times 10^{-3}$	5	$1/85 \times 10^3$		

ضریب تعیین⁸ = 0/91، ضریب تعدیل⁹ = 0/89، ضریب پیش‌بینی¹⁰ = 0/83.

¹ Design Expert

² Variance analysis

³ Sum of squares (ss)

⁴ Degree of freedom (Df)

⁵ Mean squares (Ms)

⁶ Residual

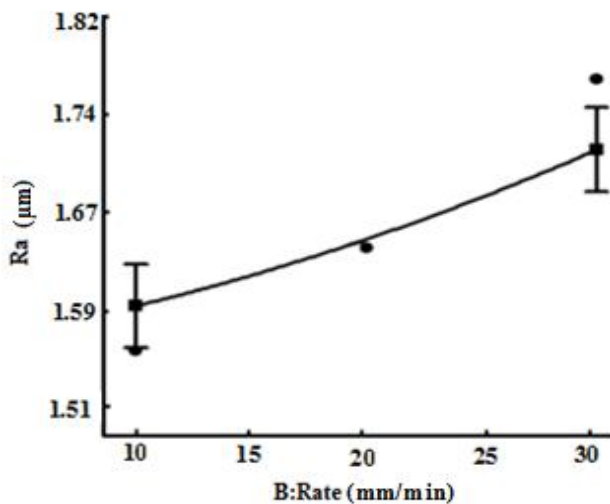
⁷ Lack of fit

⁸ Coefficient of determination (R2)

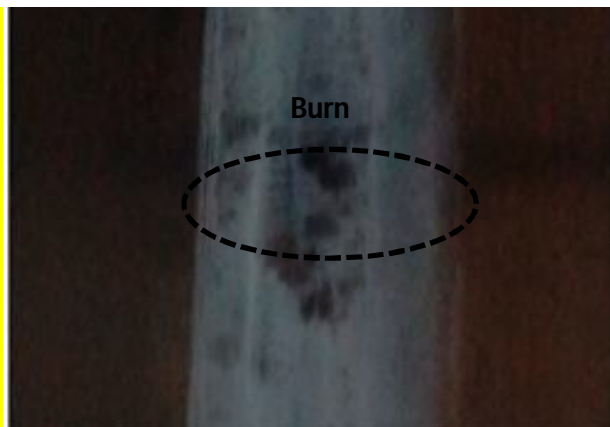
⁹ Adjusted-R2

¹⁰ Predicted-R2

در عملیات درسینگ بر میزان کیفیت سطح سنگ‌زنی شده نشان می‌دهد. در این شکل عمق درسینگ از 25 تا 35 میکرومتر تغییر می‌کند در حالی که سرعت چرخش چرخ سنگ و سرعت پیشروی به ترتیب در مقادیر 30 دور بر دقیقه و 20 میلی‌متر بر دقیقه ثابت نگه داشته می‌شود. در این شکل ملاحظه می‌گردد که با افزایش عمق درسینگ از 25 تا 35 میکرومتر زبری سطح قطعه کار پس از عملیات سنگ‌زنی افزایش می‌یابد. با افزایش عمق درسینگ میزان غوطه‌وری ابزار در چرخ سنگ بیشتر شده و سبب افزایش طول تماس و درگیری بیشتر ابزار و چرخ سنگ می‌گردد که ماده نگه‌دارنده بیشتری از چرخ سنگ کنده شده و به دلیل نیروهای زیاد تماس، ممان‌های خمشی به سطح ذرات ساینده وارد و باعث کند شدن و شکستن لبه‌های چرخ سنگ می‌شود که در نتیجه باعث افزایش زبری سطح می‌شود [13].

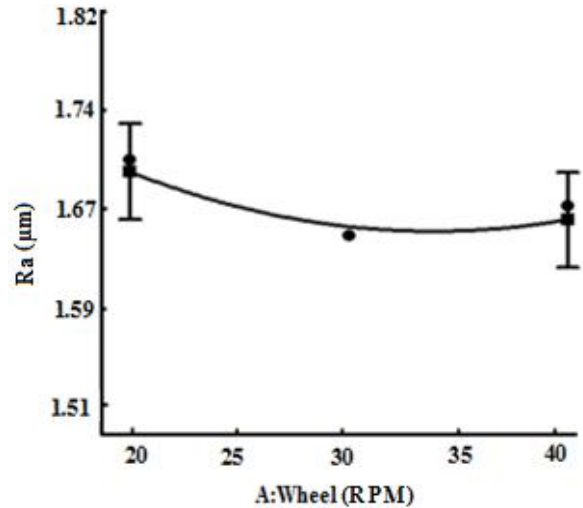


شکل 5 اثر سرعت پیشروی در فرایند درسینگ بر میزان زبری سطح



شکل 6 Cret burns on workpiece due to high rate speed

شکل 6 ایجاد سوختگی قطعه کار در اثر سرعت پیشروی بالا



شکل 4 اثر سرعت چرخ سنگ در فرایند درسینگ بر میزان زبری سطح

شکل 4 اثر سرعت چرخ سنگ در فرایند درسینگ بر میزان زبری سطح

هنگامی که سرعت چرخش چرخ سنگ بالا می‌رود میزان سرعت برشی افزایش یافته و سبب توسعه حرارت در سطح تقابل بین ابزار دربر و سطح چرخ سنگ می‌شود. در چنین حالتی در اثر توسعه حرارت باند نگه‌دارنده نرم‌تر و با سهولت بیشتری از چرخ سنگ جدا می‌شود [11].

3-4-2- اثر سرعت پیشروی

شکل 5 اثر سرعت پیشروی چرخ سنگ را در عملیات درسینگ بر میزان کیفیت سطح سنگ‌زنی شده نشان می‌دهد. در این شکل سرعت پیشروی از 10 تا 30 میلی‌متر بر دقیقه تغییر می‌کند در حالی که سرعت چرخش چرخ سنگ و عمق درسینگ به ترتیب در مقادیر 30 دور بر دقیقه و 30 میکرون ثابت نگه داشته می‌شود. در این شکل ملاحظه می‌گردد که با افزایش سرعت پیشروی از 10 تا 30 میلی‌متر بر دقیقه میزان زبری سطح قطعه کار پس از عملیات سنگ‌زنی افزایش می‌یابد. هنگامی که میزان پیشروی افزایش پیدا می‌کند، این افزایش سبب افزایش ضخامت ماده جدا نشده از چرخ سنگ شده و به تبع آن نیروی ماشین کاری در جهات مماسی افزایش پیدا کرده و سبب ارتعاش و تنش‌های زیاد به سطح چرخ سنگ شده و این عامل باعث دندان‌دار شدن ذرات ساینده و خشن شدن سطح چرخ سنگ می‌شود، در چنین حالتی سنگ کند شده و باعث افزایش اصطکاک بین چرخ سنگ و سطح قطعه کار می‌شود و در نتیجه سبب سوختن سطح قطعه کار (شکل 6) و افزایش زبری سطح می‌باشد [12].

3-4-3- اثر عمق درسینگ

همان‌طور که در شکل 7 مشاهده می‌شود اثر عمق درسینگ را

10- A مشاهده می‌گردد که هنگامی که سطح کار با یک چرخ-سنگ کند (غیر تیز) سنگ‌زنی می‌شود، به دلیل اصطکاک زیاد بین چرخ‌سنگ و قطعه‌کار میزان حرارت ایجاد شده در سطح چرخ‌سنگ بالا رفته و این پدیده سبب سوختن قطعه‌کار می‌شود [14]. بنابراین سطح قطعه‌کار به صورت پوسته‌ای و خشن تولید می‌گردد. همچنین توپوگرافی سطح بسیار خشن شده و فاصله بین دره‌ها و قله‌های سطحی زیاد می‌شود که نشان دهنده زبری بالای سطح است.

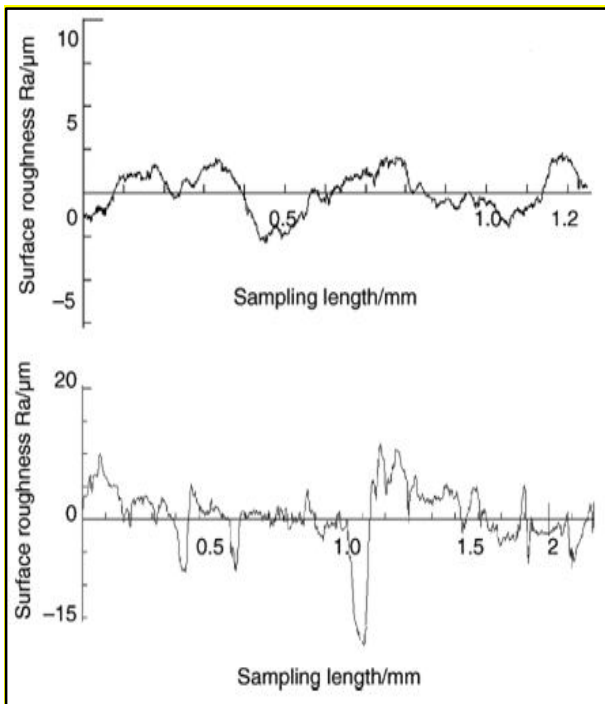


Fig. 8 Wheel surface profile image, A) before dressing

شکل 8 پروفایل سطح چرخ‌سنگ، (A) قبل از درسینگ (B) بعد از درسینگ

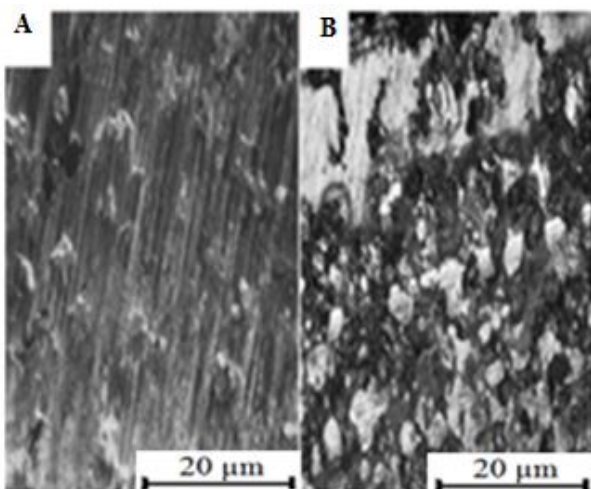


Fig. 9 Electron microscopic observations of wheel surface image, A) before dressing, B) after dressing

شکل 9 تصویر میکروسکوپی الکترونی روشی از سطح چرخ‌سنگ، (A) قبل از درسینگ، (B) بعد از درسینگ

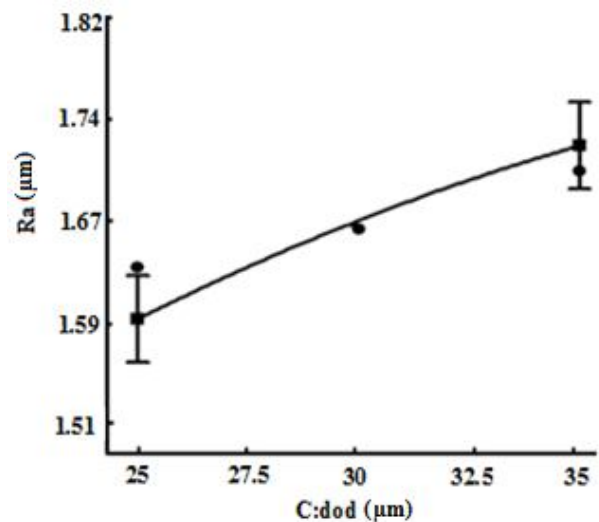


Fig. 7 Effect of rate speed on surface roughness in dressing process

شکل 7 اثر عمق درسینگ در فرایند درسینگ بر میزان زبری سطح

3-5- بررسی اثر درسینگ بر پروفایل چرخ‌سنگ و توپوگرافی

سطح چرخ‌سنگ و سطح قطعه‌کار

شکل 8 پروفایل سطح چرخ‌سنگ را قبل و بعد از عملیات درسینگ نشان می‌دهد. در شکل 8-A مشاهده می‌شود که قبل از انجام درسینگ پروفایل سطح چرخ‌سنگ به گونه‌ای می‌باشد که در آن فاصله بین قله‌ها و دره‌های سطح کم بوده و تقریباً یک پروفایل مسطحی از چرخ سنگ مشاهده می‌گردد. به عبارت دیگر در اثر کند شدن لبه‌های تیز چرخ‌سنگ میزان ارتفاع آن کاهش می‌یابد که این عامل سبب مسطح شدن پروفایل سطح چرخ-سنگ می‌گردد. اما هنگامی که عملیات درسینگ انجام می‌شود، به دلیل تولید یک سطح با ذرات ساییده تیز میزان ارتفاع ذرات ساییده افزایش پیدا کرده و این عامل سبب یک پروفایل غیر مسطح و با فاصله زیاد بین دره و قله می‌گردد که نشان دهنده‌ی یک چرخ‌سنگ تیز می‌باشد.

شکل 9 یک تصویر میکروسکوپی از سطح چرخ‌سنگ را نشان می‌دهد. در این شکل ملاحظه می‌گردد که پیش از انجام درسینگ دانه‌های ساییده در سطح چرخ‌سنگ ساییده شده و به صورت کند می‌باشد (شکل 9-A).

اما هنگامی که عملیات درسینگ انجام می‌شود، باند نگهدارنده و دانه‌های ساییده، برش داده شده و دانه‌های جدید در سطح چرخ‌سنگ ظاهر می‌گردد. در چنین حالتی سطح چرخ سنگ تیز شده و این عملیات سبب بهبود سنگ‌زنی می‌گردد.

به منظور بررسی تأثیر فرایند درسینگ بر میزان کیفیت سطح سنگ‌زنی شده تصاویر میکروسکوپی الکترونی روشی از سطح قطعه‌کار تهیه گردید.

شکل 10 تصویر سطح چرخ‌سنگ را نشان می‌دهد. در شکل

جدول 5 محدوده و وزن‌های اختصاص داده شده به پارامترها جهت انجام بهینه‌سازی

Table 5 Exclusive range and weights assigned to parameters for optimization

پارامترها	هدف	حد پایین	حد بالا	درصد اهمیت
سرعت چرخ‌سنگ (RPM)	در محدوده	20	40	-
سرعت پیشروی (mm/min)	در محدوده	10	30	-
عمق درسینگ (μm)	در محدوده	25	35	-
زبری سطح (Ra)	مقدار حداکثر	1/51	1/82	5

جدول 6 نتایج بهینه به دست آمده جهت کمینه‌سازی زبری سطح

Table 6 Optimal Results to minimize surface roughness

سرعت چرخ سنگ (RPM)	سرعت پیشروی (mm/min)	عمق درسینگ (μm)	زبری سطح (Ra)	درصد مطلوبیت (%)
40	10	25	1/52	98/01

اما جدول 3 نشان می‌دهد که این رشته جواب در آزمایش شماره 2 موجود می‌باشد که مقادیر بدست آمده زبری تحت این آزمایش 1/51 میکرومتر است. این مقدار به مقدار پیش‌بینی شده توسط روش پاسخ سطح که 1/52 میکرومتر می‌باشد بسیار نزدیک بوده که یک تأیید برای جواب بهینه می‌باشد.

4- نتیجه‌گیری

در این پژوهش یک مطالعه آزمایشگاهی برای بررسی اثرات پارامترهای فرایند درسینگ چرخ‌سنگ بر کیفیت سطح قطعه‌کار غلتک نورد فولادی کروم-مولیبدن انجام شد. در ابتدا عملیات درسینگ بر چرخ‌سنگ انجام شده و توپوگرافی چرخ‌سنگ، کیفیت سطح چرخ‌سنگ و کیفیت سطح قطعه‌کار در قبل و بعد از عملیات سنگ‌زنی مورد مقایسه قرار گرفت. همچنین مطالعه پارامترها جهت تعیین اثرات سرعت چرخ‌سنگ، سرعت پیشروی و عمق درسینگ بر میزان زبری سطح قطعه‌کار مورد بررسی قرار گرفت. در این قسمت تعداد 20 آزمایش با استفاده از روش پاسخ سطح و طراحی مرکب مرکزی انجام شد تا اثرات پارامترها بر زبری سطح‌نهایی تعیین گردد و پارامترهای بهینه شناسایی شوند. نتایج بدست آمده به شرح زیر می‌باشد:

- نتایج نشان داد که در اثر انجام فرایند درسینگ دانه‌های ساینده و باند نگه‌دارنده، برش داده شده و دانه‌های جدید در سطح سنگ بیرون آمده که نشان دهنده تیز شدن چرخ سنگ می‌باشد.

- تصویر میکروسکوپ الکترونی از سطح قطعه‌کار نشان داد که در اثر انجام درسینگ سطح قطعه‌کار از حالت پوسته‌ای به

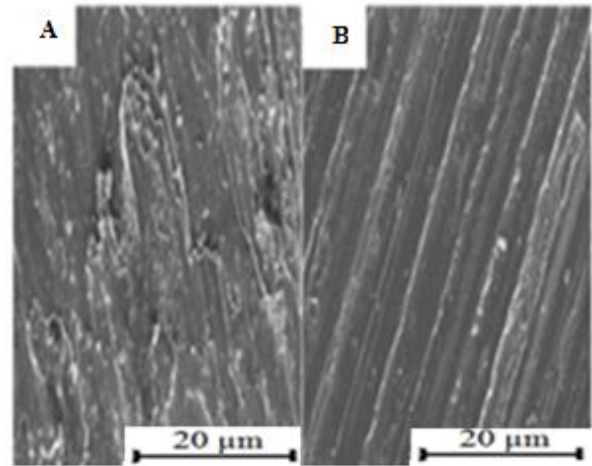


Fig. 10 Electron microscopic observations of workpiece surface image, A) before dressing, B) after dressing

شکل 10 تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح قطعه‌کار، (A) قبل از درسینگ، (B) بعد از درسینگ

اما هنگامی که سنگ‌زنی با یک چرخ‌سنگ تیز انجام می‌شود، به دلیل از بین رفتن لبه‌های ساینده کند و تیز شدن چرخ‌سنگ میزان قابلیت پرداخت سطح بالا می‌رود و زبری سطح کاهش می‌یابد. تصاویر میکروسکوپیک بدست آمده در این حالت نشان می‌دهد که در اثر اعمال درسینگ سطح کار از حالت پوسته‌ای به حالت شیارهای صاف و مستقیم در می‌آید و توپوگرافی سطح مسطح می‌گردد به طوری که فاصله بین قله‌ها و دره‌های سطحی کاهش می‌یابد [15].

3-6- فرایند بهینه‌سازی

در این پژوهش برای مینیمم کردن زبری سطح، از تئوری تابع مطلوب استفاده شده است. در بهینه‌سازی توسط این تئوری نیاز است که به تمامی پارامترها محدوده مجاز بهینه‌سازی به همراه نوع مطلوبیت آن از لحاظ ماکزیمم و مینیمم شدن اختصاص داده که این اطلاعات باید به تمامی پارامترها و پاسخ‌ها داده شود. جدول 5 اطلاعات اختصاص داده شده برای بهینه‌سازی را نشان می‌دهد.

پس از وارد کردن اطلاعات مربوطه به هر پارامترها و پاسخ آن از لحاظ وزن و مطلوبیت در نرم‌افزار Design Expert، تمامی حالت‌های مختلف از پارامترهای فرایند مورد بررسی قرار گرفته آن رشته جواب‌هایی که مطلوبیت بالاتری دارند به عنوان رشته جواب بهینه شناخته می‌شوند. جدول 6 جواب بهینه را به همراه درصد مطلوبیت آنها به مقادیر زبری سطح نشان می‌دهد [16، 17]. برای تأیید این جواب‌ها نیازمند است که آزمایش‌های مجددی با این پارامترها انجام پذیرد.

- [7] B.Guo, Q. Zhao, Mechanical truing of V-shape diamond wheels for micro-structured surface grinding. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, pp. 1067-1073, 2014.
- [8] C. Douglas. Montgomery, Translated by GH. Shahkar, Design and Analysis of experiments, *Institute University Publication*, 2001. (in Persian فارسی)
- [9] P. Ghasemi, M. Habibnia, Investigation of the effects of turning process parameters on the machinability of the age hardened aluminum alloy 2024, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 14, No. 13, pp. 245-250, 2015. (in Persian فارسی)
- [10] S. Ariaee, A. Tutunchi, A. Kianvash, The application of central composite rotatable design to model and optimize the tensile strength of "composite-steel" Connections, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 14, No. 9, pp. 157-164, 2014. (in Persian فارسی)
- [11] R. Suresh, S. Basavarajappa, V. N. Gaitonde, G. L. Samuel, Machinability investigations on hardened AISI 4340 steel using coated, carbide insert, *International Journal of Refractory Metals And Hard Materials*, Vol. 33, pp. 75-86, 2012.
- [12] M.R. Shabgard, M. Jafarian Zenjanab, R. Azarafza, Experimental study on the influence of CuO nanofluid on surface roughness and machining force in turning of AISI 4340 steel, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 14, No. 2, pp. 27-33, 2014. (in Persian فارسی)
- [13] Y. K. Chou, H. Song, Tool nose radius effects on finish hard turning, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 148, No. 2, pp. 259-268, 2004
- [14] S. Malkin, N.H. Cook, The wear of Grinding wheel, part I, Attritious wear, *Trans, ASME, Journal of Engineering for Industry*, Vol 93, p. 1120- 1971.
- [15] T.R. Thomas, Correlation Analysis of the Structure of a Ground Surface, *proceedings of the Thirteenth International Machine Tool Design and Resrarch Conference*, pp. 303, 1972.
- [16] B. Davoodi, B. Eskandari, Investigation of tool life and wear mechanisms in turning of N-155 iron-nickel-base super alloy using response surface methodology, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 14, No. 15, pp. 51-58, 2015 (In Persian فارسی)
- [17] G. Derringer, Simultaneous optimization of several response variables, *Journal of Quality Technology*, Vol. 12, pp. 214-219, 1980.
- حالت سطوح صاف و شیاردار در می‌آید که نشان دهنده کیفیت سطح بالا می‌باشد.
- پروفایل سطح چرخ‌سنگ بعد از درسینگ به گونه‌ای در آمد که در آن فاصله بین دره و قله سطح زیاد بوده و این اثر نشان دهنده تیز شدن چرخ‌سنگ می‌باشد.
- در مدل‌سازی خروجی با استفاده از روش پاسخ‌سطح این نتیجه بدست آمده نشان داد که برای زبری سطح مدل درجه دوم بهترین برآزش را دارد.
- در بهینه‌سازی فرایند توسط تابع مطلوب این نتیجه بدست آمد که انتخاب سرعت چرخ‌سنگ 40 دور بر دقیقه، سرعت پیشروی 10 میلی‌متر بر ثانیه و عمق بار 25 میکرون سبب رسیدن به کمترین میزان زبری سطح خواهد شد.

5- مراجع

- [1] A. Azizi, M. Mohamadyari, Grinding process investigation using creating scratch by an abrasive grit, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 14, No. 13, pp. 245-250, 2015. (In Persian فارسی)
- [2] A. Mostafapur, A. Babaei, H. Baseri, The estimation of surface Roughness in the grinding process on the working conditions emery to sharpen the fuzzy network, *2 ND joint congresses on fuzzy and Intelligent systems*, 2008. (in Persian فارسی)
- [3] A.J. Shih, W.I. Clark, J.L. Akemon, Wear of the blade diamond tools in truing vitreous bond grinding wheels: Part II. Truing and grinding forces and wear mechanism. *Wear* 250, PP. 593-603, 2001.
- [4] H. Baseri, S.M. Rezaei, A. Rahimi, M. Rezaeian, Modelling of disc dressing forces. *Machining Science and Technology* 11, PP. 201-216, 2007
- [5] A. Azizi, S.M. Rezaei, A. Rahimi, Study on the rotary cup dressing of CBN grinding wheel and the grinding performance. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 47, PP. 1053-1063, 2010.
- [6] Y. Liu, A. Warkentin, R. Bauer, Y. Gong, Investigation of different grain shapes and dressing to predict surface roughness in grinding using kinematic simulations. *Precision Engineering* 37, pp. 758-764, 2013.