ISSN: 2476-6909; Modares Mechanical Engineering. Proceedings of 3rd Iranian National Conference on Advanced Machining and Machine Tools (CAMMT). 2023;23(10):195-201.

Experimental and Numerical Investigation of the Optimization of Internal and External Rotary Abrasive Polishing Process of Cylindrical Parts

ARTICLE INFO

Authors
Khoshanjam A.[1*],
Samadi M.R.[2]
Khoshanjam K.[3]

[1] Phd student of mechanical engineering, Arak, Iran.
[2] Faculty of Mechanical Engineering, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran.
[3] Master's student in Mechanical Engineering, Islamic Azad University , Kermanshah.

*** Correspondence**
Address: Karaj, Taleghani St ,Motahari St., Yekta Building
Ali khoshanjam@gmail.com

How to cite this article
Khoshanjam A, Samadi M.R, Khoshanjam K. Experimental and Numerical Investigation of the Optimization of Internal and External Rotary Abrasive Polishing Process of Cylindrical Parts. Proceedings of 3rd Iranian National Conference on Advanced Machining and Machine Tools (CAMMT). 2023;23(10):195-201.

ABSTRACT

One of the new and widely used polishing processes for the surfaces of cylindrical parts is the Magnetic Rotary Abrasive Polishing Process (MRAF). This process is done using magnetic force and rotational speed simultaneously and oppositely. In this process, the forces required for machining and surface polishing are applied to the surface of the workpiece through magnetic and rotational force. One of the capabilities of this process is the ability to finish the internal and external surfaces of various parts with a special geometric shape and axial symmetry. The purpose of this article is to investigate the mathematical model of the chip removal mechanism and surface roughness changes, as well as applied forces in the process, for an abrasive particle. In order to model and optimize process parameters, response surface method and analysis of variance have been used. Based on the presented mathematical model, it was observed that the parameters of rotation speed (S), working distance (w) and the dimensions of the abrasive particle (A) have a significant effect on the quality of the surface (Ra). Based on the surface response method, the lowest surface roughness value was obtained through a rotation speed of 700 rpm, a working distance of 1.5 mm and an abrasive particle with dimensions of 18 micrometers, which is equal to 43.64 nm and with the experimental value obtained from the tests, That is, 43 nm had an acceptable match and had a desirability level of 0.9959. The obtained results were in good agreement with each other in theoretical and experimental modes.

Keywords Abrasion Polishing, Surface Smoothness, Machining, Magnetic Force

ماهنامه علمی مهندسی مکانیک مدرس، ویژه نامه مجموعه مقالات سومین کنفرانس ملی ماشین‌کاری و ماشین‌های ابزار پیشرفته
مهر ۱۴۰۲، دوره ۲۳، شماره ۱۰، صفحه ۱۹۵-۲۰۱

بررسی تجربی و عددی بهینه سازی فرایند پرداختکاری ساینده چرخشی داخلی و خارجی قطعات استوانه ای

مشخصات مقاله | چکیده

نویسنده‌ها
علی خوش انجام[1*]
محمد رضا صمدی[2]
کیوان خوش انجام[3]

[1] دانشجو دکتری، مهندسی مکانیک، دانشگاه اراک
[2] دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه فنی و حرفه ای ، تهران، ایران
[3] دانشجو کارشناسی ارشد ،مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی کرمانشاه

*** نویسنده مسئول**
آدرس:کرج -خیابان طالقانی - خیابان مطهری،ساختمان یکتا
Ali khoshanjam@gmail.com

از فرایندهای نوین و پرکابرد پرداختکاری سطوح قطعات استوانه ای، فرایند پرداختکاری مگنتی ساینده ی چرخشی می باشد(MRAF). این فرایند با استفاده از نیروی مغناطیسی و سرعت چرخشی به صورت همزمان و مخالف هم انجام می گیرد. در این فرایند نیروهای مورد نیاز برای ماشینکاری و پرداختکاری سطوح، از طریق نیروی مغناطیسی و چرخشی به سطح قطعه کار اعمال می شود. یکی از قابلیت های این فرایند توانایی پرداختکاری سطوح داخلی و خارجی قطعات مختلف با فرم هندسی خاص و متقارن محوری هستند. هدف از این مقاله بررسی مدل ریاضی مکانیزم براده برداری و تغییرات زبری سطح و نیز نیروهای اعمالی در فرایند، برای یک ذره ی ساینده می باشد. به منظور مدلسازی و بهینه سازی پارامترهای فرایند از روش سطح پاسخ و آنالیز واریانس استفاده شده است. براساس مدل ریاضی ارائه شده مشاهده گردید پارامترهای سرعت چرخشی (S) فاصله کاری (w) و ابعاد ذره ی ساینده (A) تاثییر به سزائی بر کیفت سطح(Ra) دارند. براساس روش پاسخ سطح، کمترین مقدار زبری سطح از طریق سرعت چرخشی ۷۰۰ دور بر دقیقه، فاصله کاری ۱/۵ میلیمتر و ذره ساینده با ابعاد ۱۸ میکرومتر بدست آمده که برابر با ۴۳/۶۴ نانومتر بوده و با مقدار تجربی بدست آمده از آزمایشها، یعنی ۴۳ نانومتر مطابقت قابل قبولی داشت و از میزان مطلوبیت ۰/۹۹۵۹ برخوردار بود. نتایج بدست آمده نیز در حالتهای تئوری و تجربی مطابقت خوبی با هم داشتند.

کلیدواژه‌ها پرداختکاری سایشی، صافی سطح، ماشینکاری، نیروی مغناطیسی

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-12-21]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1402.23.10.33.3]
[DOI: 10.22034/mme.23.10.195]

۱- مقدمه

در دنیای صنعتی امروز با پیشرفت تکنولوژی در صنایع مختلف، نیاز به قطعاتی با کیفیت سطح فوق دقیق و با هندسه ی پیچیده بیش از پیش احساس می شود. همچنین با توجه به تاثیراتی که کیفیت سطح یک قطعه بر کاربرد و طول عمرآن دارد، تقاضا برای پرداختکاری های فوق دقیق در حال افزایش است[1] . روش های سنتی پرداختکاری به دلیل عدم قابلیت پرداخت بالا خصوصا در قطعات با هندسه و شکل پیچیده، سبب بروز آسیب های سطحی و زیر سطحی بر قطعه کار می گردند. محققان روش های نوینی در جهت رفع معایب ذکر شده ابداع نمودند که نانوپرداختکاری یکی از روش هایی است که به منظور کنترل بهتر و دقیق تر نیروها در حین فرآیند، ازذرات ساینده به همراه مکانیزم های مختلفی استفاده می شود[2]. براساس موارد ذکر شده در خصوص روش های پرداختکاری، فرآیند MRAF یکی از جدیدترین روش های پرداختکاری محسوب می شود که ترکیبی از میدان مغناطیسی و دو سرعت چرخشی مخالف هم بوده که بصورت همزمان و از طریق همزن و قطعه کار فراهم می گردد. نیروی مورد نیاز این فرآیند از دو طریق اعمال می شود شارمغناطیسی و نیروی چرخش بین همزن و قطعه کار[3]. با توجه به قابلیت های ذکر شده ی این فرآیند، می توان سطوح مختلف داخلی و خارجی قطعات مختلف، به ویژه قطعات با هندسه پیچیده که دارای تقارن محوری هستند را بصورت دقیق پرداختکاری نمود[4-5]. در سالهای اخیر، محققان به منظور توسعه سایر فرایندها و همچنین درک مکانیزم براده-برادری و زبری سطح آنها، تحقیقات فراوانی را، از نظر تئوریکی و تجربی، بر روی این فرایندها انجام دادند.

به دلیل اینکه فرایند پرداختکاری ساینده چرخشی (RAF) به عنوان یکی از جدیدترین روشهای میکرو/نانو پرداختکاری شناخته می-شود، بنابراین بررسی بیشتر و دقیقتر جوانب مختلف این فرایند مورد نیاز است. لذا هدف از این مقاله ارائه تحلیل جدیدی برای درک بهتر زبری سطح در فرایند RAF است. در این تحقیق مدل ریاضی جدیدی برای درک بهتر مکانیزم براده‌برداری و زبری سطح و نیز نیروهای اعمالی در فرایند برای یک ذره ساینده ارائه شد. به منظور راستی‌آزمایی مدل تحلیلی ارائه‌شده، برخی پارامترهای موثر بر فرایند و تاثیر آنها بر مقدار زبری سطح به صورت تجربی مورد بررسی قرار گرفت. همچنین از روش سطح پاسخ (RSM) و آنالیز واریانس (ANOVA) به منظور مدل‌سازی و بهینه‌سازی پارامترهای فرایند بهره برده شد. در پایان، نتایج تحلیلی ، مدل‌سازی و تجربی مورد مقایسه قرار گرفتند.

۲-شرح مسئله

۲-۱- تحلیل تئوری

در فرایند RAF، سرعت نسبی بین ابزار (همزن) و قطعه‌کاری که توسط خمیر ساینده احاطه شده است، سبب تامین نیروهای مورد نیاز برای عملیات پرداختکاری می‌شود. حرکت ذرات ساینده موجود در خمیر ساینده بر سطح قطعه‌کار، سبب اعمال نیروهای گریز از مرکز (عمودی) و مماسی بر سطح قطعه‌کار می‌شود [6]. نیروی گریز از مرکز (عمودی) اعمالی بر ذره ساینده، وظیفه نفوذ در سطح قطعه‌کار را برعهده دارد. پس از نفوذ، ذره ساینده به صورت افقی بر روی سطح قطعه‌کار حرکت می‌کند که این امر سبب تشکیل براده در مقیاس میکرو و نانومتر می‌شود. مقدار براده‌برداشته‌شده از سطح برابر است با حجم کلی شیارهایی که توسط هر ذره ساینده موجود در خمیر ساینده، بر سطح قطعه‌کار ایجاد شده است. به منظور محاسبه حجم کل براده‌برداشته‌شده از سطح، نیاز است که تعداد و شکل ذرات فعال در فرایند و نیز عمق شیارهای ایجادشده بر سطح قطعه محاسبه شود.

۲-۲-فرضیات

با توجه به ماهیت تصادفی و پیچیده حرکت دانه ساینده و تعامل آن با قطعه‌کار در فرایند RAF، مدل‌سازی آن بسیار سخت و تا حدودی غیر ممکن است. لذا جهت ساده‌سازی این موضوع، فرضیات زیر در نظر گرفته می‌شود که عبارتند از:

۱-قطر، اندازه و شکل تمامی ذرات ساینده به صورت یکسان و کروی است.

۲-هر دانه ساینده، دارای یک لبه برشی فعال است.

۳-سطح قطعه‌کار دارای پروفیل زبری یک شکل و بدون توزیع آماری است که از زبری سطح برابر برخوردار هستند.

۴-نیروی اعمالی بر هر دانه ساینده، ثابت بوده و عمق نفوذ برای هر ذره ساینده، یکسان است.

۲-۳- نیروها، عمق نفوذ و ناحیه تماس دانه ساینده

شکل ۱، مراحل شروع تا برخورد ذره ساینده با سطح قطعه‌کار را نشان می‌دهد. در فرایند RAF، نیروهای دخیل در عملیات براده-برداری عبارتند از، نیروی گریز از مرکز (F_{cen})، نیروی عمودی (F_n)، نیروی مماسی (F_t)، نیروی پرداختکاری (F_f). ابزار (همزن) که وظیفه به چرخش درآوردن خمیر ساینده به منظور نفوذ و سایش ذرات ساینده بر سطح قطعه‌کار را برعهده دارد. به دلیل اینکه ابزار (همزن) و سطح قطعه‌کار، هیچگونه تماسی با هم ندارند و در خلاف جهت هم، می‌چرخند، لذا نسبت به یکدیگر دارای حرکت نسبی هستند. در ابتدای حرکت، سرعت ذره ساینده (v_a)، برابر است با سرعت ابزار (v_s)، یعنی ($v_a = v_s$). اما به دلیل حرکت نسبی بین ابزار و قطعه‌کار، سرعت ذره ساینده در هنگام برخورد با سطح قطعه، برابر است با سرعت نسبی (v_r) بین ابزار و قطعه‌کار یعنی، ($v_r = v_a = v_s + v_w$). چرخش ابزار (همزن) سبب ایجاد نیروی گریز از مرکز در خمیر ساینده می‌شود. بنابراین، در هنگام برخورد، نیروی

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-12-21]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1402.23.10.33.3]
[DOI: 10.22034/mme.23.10.195]

تورفتگی برابر است با نیروی گریز از مرکز اعمالی بر ذره ساینده. نیروی گریز از مرکز (F_{cen}) به صورت زیر تعریف می‌شود:

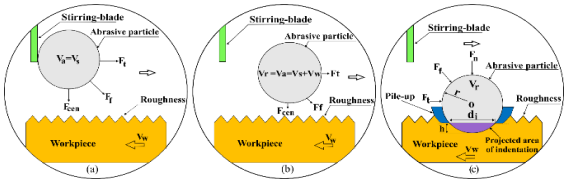
(۱)

$$F_{cen}=m_a\frac{v_a^2}{R}$$

از طرفی جرم ذره ساینده برابر است با:

(۲)

$$m_a=4/3\,\pi r^3\rho_a$$



شکل ۱) مراحل شروع تا برخورد ذره ساینده با سطح قطعه‌کار: شروع (a)،قبل از برخورد (b)، برخورد (c).

بنابراین، با جایگذاری رابطه (۲) در (۱)، و با توجه به اینکه به دلیل حرکت نسبی بین ابزار و قطعه‌کار، سرعت ذره ساینده در هنگام برخورد با سطح قطعه، برابر است با سرعت نسبی (v_r)، لذا نیروی گریز از مرکز (F_{cen}) اعمالی بر ذره ساینده به صورت زیر تعریف می‌شود:

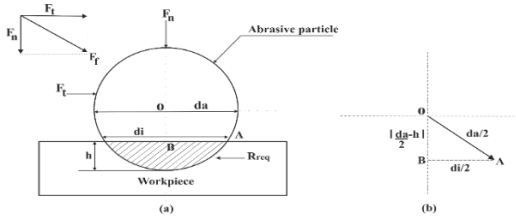
(۳)

$$F_{cen}=4/3\,\pi r^3\rho_a\frac{v_r^2}{R}$$

نیروی عمودی (F_n) اعمالی بر ذره ساینده در هنگام برخورد که وظیفه نفوذ در سطح قطعه را به عهده دارد و به صورت زیر تعریف می‌شود:

(۴)

$$F_n=F_{cen}\frac{\pi d_a^2}{4}$$



شکل ۲) لحظه برخورد ذره ساینده با سطح قطعه (a)، مثلث OAB تشکیل‌شده ناشی از نفوذ ذره ساینده در سطح قطعه (b).

عملیات براده‌برداری زمانی رخ می‌دهد که مجموع برآیند نیروی عمودی (F_n) و نیروی مماسی (F_t)، که به عنوان نیروی پرداختکاری (F_t) شناخته می‌شود، بیشتر از نیروی نیروی مقاومت (R_{req}) جسم شود [7]. نیروی پرداختکاری (F_t) ب

۲-٤-مکانیزم براده‌برداری و زبری سطح

شکل ۳ تماس ذره ساینده با سطح قطعه‌کار در شکاف‌کاری را نشان می‌دهد. زمانیکه ذره ساینده، زبری‌های سطح را برش می‌دهد، رابطه طول تماس واقعی (L_i) ذره ساینده به صورت زیر محاسبه می‌شود:

(۵)

$$L_i=l_s$$

(۶)

$$l_s=4\left(R_a^0-R_a^i\right)tan\,\theta_s$$

طول مسیر طی‌شده (L_w) توسط ذره ساینده به صورت زیر تعریف می‌شود:

(۷)

$$L_w=l_s+l_g$$

(۸)

$$l_s+l_g=4R_a^0\,tan\,\theta_s$$

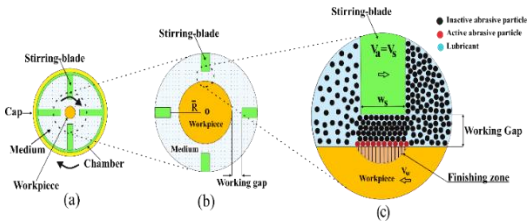
رابطه بین طول تماس واقعی (L_i) بین ذره ساینده و طول مسیر طی‌شده (L_w) توسط ذره ساینده به صورت زیر تعریف می‌شود:

(۹)

$$L_i=\left(\frac{l_s}{l_s+l_g}\right)L_w$$

با جایگذاری داریم:

$$L_i=\left(\frac{4\left(R_a^0-R_a^i\right)tan\,\theta_s}{4R_a^0\,tan\,\theta_s}\right)L_w \quad (۱۰)$$



شکل ۳)نمای بالای محفظه پره‌دار (a)، نمای بزرگ‌شده محفظه پره‌دار (b)، ناحیه تماس ذره ساینده با سطح قطعه در شکاف‌کاری (c).

(۱۱)

$$L_i=\left(1-\frac{R_a^i}{R_a^0}\right)L_w$$

شکل ۴ شماتیکی از زبری سطح را نشان می‌دهد. زمانیکه نیروی پرداختکاری (F_t) بیشتر از نیروی مقاومت (R_{req}) جسم شود، عملیات براده‌برداری از طریق حرکت ذره ساینده بر روی سطح جسم انجام می‌شود. حجم براده‌برداشته‌شده (V_a) از سطح توسط یک ذره ساینده برابر است با مساحت سطح مقطع (A') ناحیه نفوذ ذره ساینده و طول تماس (L_i) آن با سطح قطعه‌کار، که به صورت زیر تعریف می‌شود:

(۱۲)

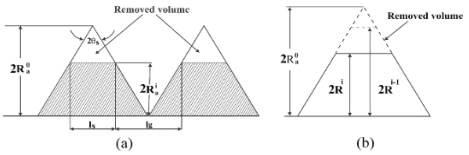
$$V_a=A'L_i$$

با جایگذاری داریم:

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-12-21]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1402.23.10.33.3]
[DOI: 10.22034/mme.23.10.195]

(۱۳)

$$V_a = \left[\frac{d_a^2}{4}\sin^{-1}\left(\frac{2\sqrt{h(d_a-h)}}{d_a}\right) - \sqrt{h(d_a-h)}\left(\frac{d_a}{2}-h\right)\right] \times \left(1-\frac{R_a^i}{R_a^0}\right)L_w$$



شکل ۴) شماتیک زبری سطح (a)، قله برش‌خورده پس از مراحل مختلف پرداختکاری (b).

عملیات براده برداری، ناشی از حرکت تعداد بسیاری از ذرات ساینده بر سطح قطعه‌کار است. ذرات ساینده‌ای که در عملیات براده‌برداری شرکت می‌کنند به عنوان ذرات ساینده فعال (N_a) و ذرات ساینده‌ای که مشارکت نمی‌کنند به عنوان ذرات ساینده غیرفعال شناخته می‌شوند. تعداد کلی ذرات ساینده (N_t) که در هر بار چرخش همزن، در عملیات براده‌برداری مشارکت دارند به صورت زیر محاسبه می‌شود:

(۱۴)

$$N_t = 2\pi R_w N_a N_s W_s L_s \frac{R_s^2}{R_w^2}$$

بنابراین، حجم براده‌ای که در چرخش iام همزن از سطح قطعه‌کار برداشته می‌شود به صورت زیر تعریف می‌شود:

(۱۵)

$$V_i = A' L_i N_t$$

جدول ۱ مقادیر ثابت مورد استفاده در تحلیل تئوری را نشان می‌دهد.

جدول۱)پارامترهای ورودی مورد استفاده در تحلیل تئوری

Parameters	Value
ν_p	0.14
σ_y	170 (Mpa)
ρ_w	8000 (Kg/m^3)
ρ_a	3220 (Kg/m^3)
R_a	5 (mm)
W_s	1 (mm)
L_s	10 (mm)
BHN	217

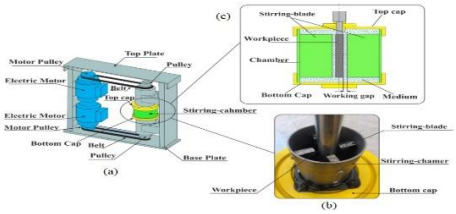
٤-روش حل (راستی‌آزمایی عملی)

۴-۱- دستگاه RAF

شکل ۵ شماتیک دستگاه RAF را نشان می‌دهد. مکانیزم فرایند RAF، براساس چرخش همزمان ابزار و قطعه‌کار در جهت مخالف هم استوار است. به منظور پرداختکاری سطح داخلی قطعه، ابزار (همزن)، در درون قطعه‌کار قرار داده می‌شود. همزن، نقش ابزار را ایفا می‌کند که وظیفه به چرخش در آوردن ذرات ساینده را برعهده دارد. بین پره‌های همزن و سطح قطعه، هیچگونه تماسی وجود ندارد که از آن به عنوان شکاف‌کاری یاد می‌شود و محل قرارگیری خمیر ساینده است. ابتدا قطعه‌کار در درون فیکسچری که در قسمت پایین میز تعبیه شده و به الکتروموتور پایین دستگاه متصل است، قرار داده می‌شود. قبل از قرارگیری قطعه در درون فیکسچر، قسمت پایینی قطعه با استفاده از یک درپوش، آب‌بندی و بسته می‌شود. پس از قرارگیری قطعه‌کار، خمیر ساینده به درون قطعه ریخته می‌شود. سپس، ابزار، از طریق فیکسچری که در قسمت بالای میز تعبیه شده و به الکتروموتور بالایی دستگاه متصل است، در درون قطعه، قرار داده می‌شود. پس از جایگذاری ابزار در درون قطعه، با استفاده از یک درپوش دیگر، سطح بالایی قطعه، آب‌بندی و بسته می‌شود. درپوش‌ها، علاوه بر اینکه مانع از خروج خمیر ساینده از درون قطعه در حین فرایند می‌شوند، بلکه با فراهم آوردن یک محیط بسته ماشینکاری، سبب افزایش نیروی‌های اعمالی بر سطح و در نتیجه افزایش سرعت فرایند و متعاقب آن، کاهش زمان و هزینه‌های فرایند می‌شوند. با شروع فرایند، ابزار (همزن) شروع به چرخش نموده و در نتیجه سبب به چرخش درآوردن خمیر ساینده می‌شود. با چرخش خمیر ساینده و تماس و برخورد آن با سطح قطعه‌کاری که همزمان در جهت مخالف، در حال چرخش است، نیروهای مورد نیاز برای انجام عملیات براده‌برداری و پرداختکاری، بر سطح قطعه اعمال می‌شود. جدول ۲ پارامترها و شرایط آزمایشها را نشان می دهد.

جدول۲)پارامترها و شرایط آزمایشها

Name of Parameters	Value
Velocity of stirring-blades (rpm)	300–450 – 600
Velocity of workpiece (rpm)	100
Working gap (mm)	1–1.5 -2
Workpiece material	Stainless steel 316 L
Abrasive type	Silicon carbide (SiC)
Lubricant type	Naphthenic oil
Weight ratio of medium (SiC : Naphthenic oil)	(70:30)

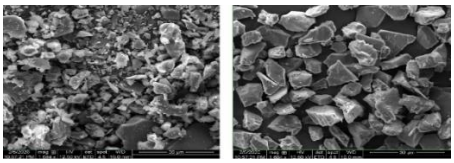


شکل ۵) شماتیک دستگاه RAF (a)، نمای بزرگ‌شده محفظه پره‌دار(b)، نمای مونتاژشده از محفظه پره‌دار و قطعه‌کار(c).

۴-۲- قطعه‌کار و خمیر ساینده

قطعه‌کار مورد استفاده در این پژوهش، فولاد ضد زنگ 316L بوده که دارای شکل استوانه‌ای است. به منظور بدست آوردن زبری سطح اولیه قطعه، چند نقطه از سطح به صورت تصادفی اندازه گیری و میانگین آنها به عنوان زبری اولیه قطعه در نظر گرفته شد که مقدار آن ۳۰۳ نانومتر بود. در این تحقیق، از ساینده سیلیکون کارباید (SiC) با مدول یانگ ۴۱۰ گیگاپاسکال و ضریب پواسون ۰/۱۴ به عنوان ساینده استفاده شد [8].شکل۶ تصاویر SEM این ذرات را نشان می دهد. به دلیل در دسترس بودن، غیر شیمیایی بودن، جریان‌پذیری و انعطاف‌پذیری مناسب و ارزان بودن، از آب به عنوان خنک‌کار استفاده شد. به منظور جلوگیری از تبخیر آب به دلیل تولید حرارت احتمالی در حین فرایند، زمان فرایند به سیکل‌های ۳ دقیقه‌ای تقسیم‌بندی شد.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-12-21]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1402.23.10.33.3]
[DOI: 10.22034/mme.23.10.195]



شکل ۶) تصویرSEMذرات ساینده

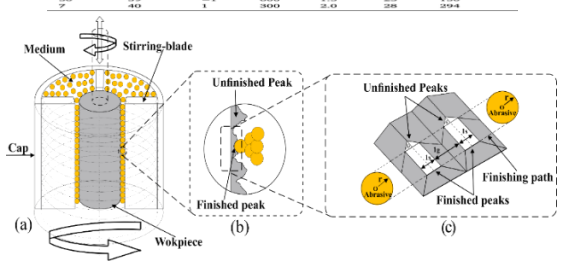
در این تحقیق، سه پارامتر سرعت چرخشی ابزار (همزن)، شکاف-کاری و اندازه دانه ساینده بررسی شد. ابتدا ۱۸ آزمایش به روش فول فاکتوریل، طراحی و پاسخ‌ها بدست آمد (جدول ۳). سپس از نتایج بدست آمده برای مدل‌سازی و بهینه‌سازی پارامترها براساس روش سطح پاسخ (RSM) استفاده شد (جدول ۴). در ابتدا و انتهای هر آزمایش، زبری سطح با استفاده از زبری سنج MarSurf PS1 ثبت شد. زبری سطح هر مرحله، به عنوان زبری سطح اولیه مرحله بعد در نظر گرفته شد. همچنین به منظور بررسی بهتر و مقایسه نتایج قبل و بعد از فرایند، از میکروسکوپ الکترون روبشی (SEM) استفاده شد. شکل۷ تعامل ذره ساینده با زبری سطح را نشان می‌دهد.

جدول۳)آزمایشها به روش فول فاکتوریل

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	S (rpm)	W (mm)	A (μm)
16	1	1	1	600	1.5	28
5	2	1	1	300	2.0	18
3	3	1	1	300	1.5	18
9	4	1	1	450	1.5	18
1	5	1	1	300	1.0	18
13	6	1	1	600	1.0	18
17	7	1	1	600	2.0	18
14	8	1	1	600	1.0	28
12	9	1	1	450	2.0	28
18	10	1	1	600	2.0	28
8	11	1	1	450	1.0	28
6	12	1	1	300	2.0	28
15	13	1	1	600	1.5	18
11	14	1	1	450	2.0	18
7	15	1	1	450	1.0	18
10	16	1	1	450	1.5	28
2	17	1	1	300	1.0	28
4	18	1	1	300	1.5	28

جدول۴)پارامترها بر اساس روش سطح پاسخ

StdOrder	RunOrder	PtType	S (rpm)	W (mm)	A (μm)	Final Ra (nm)
15	1	0	450	1.5	23	178
9	2	1	300	2.0	18	258
3	3	−1	300	1.5	23	217
18	4	0	300	1.0	18	167
16	5	0	450	2.0	28	215
23	7	1	300	2.0	18	219
25	8	0	450	1.5	23	186
25	9	0	300	1.0	28	252
39	10	0	450	1.5	23	180
33	11	−1	450	1.5	18	216
38	12	0	450	1.5	23	172
5	13	1	300	1.0	28	210
34	14	−1	450	1.5	28	244
4	15	1	600	2.0	18	138
6	16	1	600	1.0	28	164
36	17	0	450	1.5	23	175
14	18	−1	450	1.5	28	262
10	19	−1	600	1.5	23	141
13	20	−1	450	1.5	18	180
26	21	1	600	1.0	28	170
39	22	−1	300	1.5	23	204
20	23	0	450	1.5	23	176
19	24	0	450	1.5	23	165
32	25	0	450	1.5	23	175
17	26	0	450	1.5	23	175
2	27	1	600	1.0	18	46
31	28	−1	450	1.0	23	146
21	29	1	300	1.0	18	143
37	30	0	450	1.5	23	175
11	31	−1	450	1.0	23	132
40	32	0	450	1.5	23	172
8	33	1	600	2.0	28	189
27	34	1	300	2.0	28	289
35	35	−1	450	2.0	23	193
24	36	1	600	2.0	18	125
22	37	1	600	1.0	18	59
16	38	0	450	1.5	23	180
30	39	−1	600	1.5	23	130
7	40	1	300	2.0	28	294



شکل ۷) تعامل ذره ساینده با زبری سطح.

۵-تفسیر و تحلیل نتایج

۵-۱-آنالیز واریانس و مدل‌سازی روش سطح پاسخ

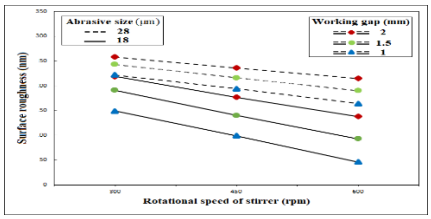
به منظور مدل‌سازی و مقایسه نتایج، سه پارامتر سرعت همزن (S)، شکاف‌کاری (W) و اندازه ذره ساینده (A) مورد بررسی قرار گرفت. آنالیز واریانس (ANOVA) برای زبری سطح (Ra) بدست‌آمده از نتایج تجربی نشان می‌دهد. مقدار P برای اکثر پارامترها کمتر از ۰/۰۵ است که بیانگرمعنادار بودن (Significant)مدل است. همچنین "lack of fit"، Insignificant بوده و مقدار آن 0.982 می-باشد که بیانگر این است که مدل به خوبی معنادار است . از آنالیز ANOVA، مشاهده شد که هر سه پارامتر سرعت همزن (S)، شکاف-کاری (W) و اندازه ذره ساینده (A) تاثیر چشمگیری بر Ra دارند. مدل quadratic برای Ra به صورت معادله زیر تعریف می‌شود. (۱۶)

$$Ra = 457 + 0.221\,S + 404.1\,W - 61.17\,M - 0.000698\,S*S - 77.8\,W*W + 1.472\,M*M - 0.0817\,S*W + 0.01117\,S*M - 2.80\,W*M$$

۵-۲ -نتایج تجربی

۵-۲-۱ -اثر سرعت چرخشی ابزار (همزن) بر زبری سطح

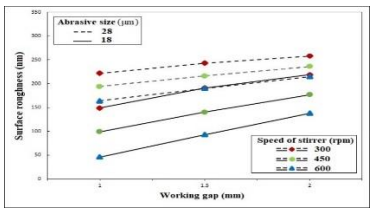
شکل ۸ تاثیر سرعت چرخشی همزن بر زبری سطح (Ra) را نشان می‌دهد. افزایش سرعت چرخشی ابزار، سبب کاهش مقدار تغییر زبری سطح (ΔR) می‌شود. نیروی عمودی (F_n)، وظیفه نفوذ در قطعه را برعهده دارد و نیروی مماسی (F_t) نیز سبب برداشته شدن براده از سطح قطعه می‌شود. با افزایش سرعت چرخشی ابزار (همزن)، مقدار براده‌برداری افزایش می‌یابد. با افزایش سرعت چرخشی ابزار (v_s)، سرعت نسبی (v_r)، بین ابزار (و ذره ساینده) با قطعه‌کار بیشتر می‌شود.



شکل ۸) اثر سرعت چرخشی همزن بر زبری سطح.

۵-۲-۲- اثرات شکاف‌کاری بر زبری سطح

شکل ۹ اثرات شکاف‌کاری بر زبری سطح (Ra) را نشان می‌دهد. افزایش شکاف‌کاری سبب کاهش مقدار تغییر زبری سطح (ΔR) می‌شود. افزایش شکاف‌کاری سبب می‌شود تعداد ذرات ساینده کمتری در فرایند پرداختکاری مشارکت نمایید، چراکه ذرات ساینده برای برخورد با سطح باید مسافت بیشتری را طی کنند (شکل 1b).



شکل۹) اثرات سرعت شکاف‌کاری بر زبری سطح.

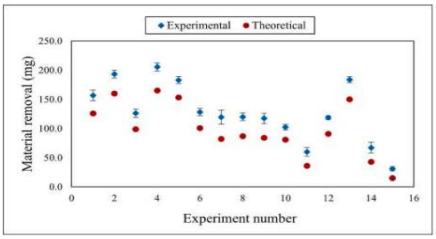
[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-12-21]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1402.23.10.33.3]
[DOI: 10.22034/mme.23.10.195]

۵-۳ -مقایسه بهینه‌سازی روش سطح پاسخ با نتایج تجربی

براساس نتایج بهینه سازی در روش سطح پاسخ، می‌توان نتیجه گرفت که تحت شرایط بهینه‌سازی‌شده سرعت چرخشی همزن ۶۰۰ دور بر دقیقه، شکاف‌کاری ۱ میلی‌متر و اندازه دانه ساینده ۱۸ میکرومتر، زبری سطح (Ra) به کمترین مقدار خود براساس سطوح تعیین‌شده دست پیدا می‌کند. مقدار بهینه Ra برابر ٤٦/٨٧ نانومتر است، که با مقدار تجربی بدست‌آمده از آزمایشات، یعنی ٤٦ نانومتر، مطابقت بسیار خوبی دارد. یعنی میزان مطلوبیت نقطه بدست آمده نزدیک به ۱، یعنی ۰/۹۹۵۹ است، بنابراین این نقطه بهینه را می‌توان به عنوان نقطه مورد قبول انتخاب نمود.

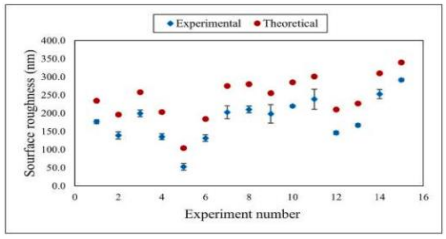
۵-۴-مقایسه نتایج مدل ریاضی با تجربی

شکل ۱۱ مقایسه بین نتایج تئوری و تجربی برای براده برداشته‌شده از سطح را نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود مقدار براده برداشته‌شده از سطح در نتایج تجربی بیشتر از نتایج تئوری است. این موضوع را می‌توان به فرضیاتی که برای آنالیز تحلیلی در نظر گرفته شد و تفاوت آن با حالت واقعی مرتبط دانست.



شکل۱۱)مقایسه نتایج تئوری و تجربی برای براده برداشته شده از سطح

شکل۱۲ مقایسه بین نتایج تئوری و تجربی برای زبری سطح را نشان می‌دهد. در این شکل مشاهده می‌شود کاهش مقدار زبری سطح در نتایج تجربی، بیشتر از نتایج تئوری است.



شکل ۱۲)مقایسه نتایج تئوری و تجربی برای زبری سطح

۶- نتیجه گیری

هدف از این پژوهش ارائه مدل ریاضی جدیدی برای درک بهتر زبری سطح در فرایند RAF بود. آزمایشهایی به منظور راستی‌آزمایی مدل تئوری پیشنهادشده، بر روی برخی پارامترهای موثر بر فرایند انجام شد. همچنین از روش سطح پاسخ (RSM) و آنالیز واریانس (ANOVA) به منظور مدل‌سازی و بهینه‌سازی پارامترهای فرایند استفاده شد. یافته‌های مهم این تحقیق عبارتند از:

۱-براساس آنالیز واریانس و روش سطح پاسخ، هر سه پارامتر سرعت همزن (S)، شکاف‌کاری (W) و اندازه ذره ساینده (A) تاثیر چشمگیری بر Ra دارند. مقدار P برای اکثر پارامترها کمتر از ۰/۰۵ است که بیانگر معنی دار بودن بودن مدل است. همچنین "lack of fit"، Insignificant بوده و مقدار آن 0.982 می‌باشد که بیانگر این است که مدل به طور قابل توجهی معنادار است.

۲-افزایش سرعت چرخشی همزن سبب افزایش تعداد ذرات ساینده فعال (N_a) در فرایند و نیز افزایش نیروهای F_n و F_t می شود که این امر کاهش زبری سطح را به دنبال دارد. بیشترین کاهش زبری سطح از مقدار اولیه ۱۶۴ نانومتر به مقدار نهایی ۴۶ نانومتر کاهش یافت.

۳-افزایش شکاف‌کاری سبب کاهش نیروهای اعمالی بر سطح قطعه می‌شود که این امر کاهش مقدار تغییر زبری سطح را به دنبال دارد. بیشترین مقدار تغییری زبری سطح (ΔR) برابر با ۱۶۲ نانومتر بود و زمانی بدست آمد که سرعت چرخشی ۶۰۰، شکاف‌کاری ۱/۵ میلی‌متر و اندازه دانه ساینده ۲۳ میکرومتر بود.

۴-در مقایسه با ذرات ساینده با اندازه کوچکتر، ذرات ساینده بزرگتر، دارای لبه‌های برشی بیشتری می‌باشند که این امر افزایش قدرت برشی ذره ساینده در برخورد با زبری‌های سطح را به دنبال داشته و افزایش مقدار براده‌برداری و کاهش زبری سطح را سبب می‌شود. بیشترین مقدار براده برداشته‌شده از سطح برابر با ۱۹۸/٦۰ میلی‌متر بود که با استفاده از دانه با اندازه ۲۳ میکرومتر بدست آمد.

۵-براساس روش سطح پاسخ، کمترین مقدار Ra بهینه‌سازی‌شده، از طریق سرعت چرخشی همزن ٦۰۰ دور بر دقیقه، شکاف‌کاری ۱ میلی‌متر و اندازه دانه ساینده ۱۸ میکرومتر بدست آمد که برابر با ٤٦/٨٧ نانومتر بود و با مقدار تجربی بدست‌آمده از آزمایشات، یعنی ٤٦ نانومتر، مطابقت بسیار خوبی داشت و از میزان مطلوبیت نزدیک به ۱ برخوردار بود.

۶-مدل تئوریکی به منظور پیش‌بینی مکانیزم زبری سطح ارائه شد. می‌توان اینگونه تفسیر نمود که تفاوت بین نتایج تئوری و تجربی ناشی از فرضیاتی است که برای ساده‌سازی آنالیز تحلیلی و تفاوت آن با حالت واقعی در نظر گرفته شد.

مراجع

1- Hashimoto F, et al. Abrasive fine-finishing technology, CIRP Ann. - Manuf .

Technol. 65 (2) (Jan. 2016) 597–620.

2- Rezayat M, Yazdi M.S, Zandi M.D, Azami A. Tribological and corrosion performance of electrodeposited Ni–Fe/Al2O3 coating. Results Surf. Interf. 2022.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-12-21]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1402.23.10.33.3]
[DOI: 10.22034/mme.23.10.195]

3- Kumar M, Alok A, Kumar V, and Das M. Advanced Abrasive-Based Nano –Finishing Processes: Challenges, Principles and Recent Applications.2021;372-392.
4- Azami A, Salahshournejad Z, Shakouri E, Sharifi AR, Saraeian P. Influence of nano-minimum quantity lubrication with MoS2 and CuO nanoparticles on cutting forces and surface roughness during grinding of AISI D2 steel. Feb. 2023. 209–220.
5- Jain RK, Jain VK, Dixit PM. Modeling of material removal and surface roughness in abrasive flow machining process, Int. 1999 ;1903-1923.
6- Miao Q, et al. Creep feed grinding induced gradient microstructures in the superficial layer of turbine blade root of single crystal nickel-based superalloy. 2021.
7- Cao Y, Zhu Z, Ding W, Qiu Y, Wang L, Xu J. Vibration coupling effects and
machining behavior of ultrasonic vibration plate device for creep-feed grinding of Inconel 718 nickel-based superalloy. 2022;332-345.
8- Cao Y, Ding W, Zhao B, Wen X, Li S, Wang J. Effect of intermittent cutting behavior on the ultrasonic vibration-assisted grinding performance of Inconel718 nickel-based superalloy. 2022; 248–260.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-12-21]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1402.23.10.33.3]
[DOI: 10.22034/mme.23.10.195]