مجله مهندسی مکانیک مدرس، فروردین 1394، دوره 15، شماره 1، ص‌ص 317-322

ماهنامه علمی پژوهشی

مهندسی مکانیک مدرس

mme.modares.ac.ir

بهبود روانکاری در فرآیند کشش عمیق با استفاده از افزودنی نانوذرات

بهروز زارع دثاری[1]، محمد عباس زاده یخفروزانی[2]، بهنام داودی[3*]

1- دانشجوی دکترا، مهندسی مکانیک، دانشگاه تبریز، تبریز

2- دانشجوی کارشناسی، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه

3- دانشیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه تبریز، تبریز

* تبریز، صندوق پستی 315-51665، bdavoodi@tabrizu.ac.ir

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل
دریافت: 09 شهریور 1393
پذیرش: 17 آبان 1393
ارائه در سایت: 23 آذر 1393

کلید واژگان:
نانو روانکار
نانو ذرات آلومینا
کشش عمیق
زبری سطح
توزیع ضخامت

چکیده

روانکاری در فرآیندهای شکل‌دهی ورق از جمله کشش عمیق به‌منظور کاهش اصطکاک در سطوح تماسی، کاهش سایش قالب، کاهش نیروی شکل‌دهی و افزایش شکل‌پذیری ورق امری ضروری می‌باشد. نانوذرات اکسید فلزات مختلف به‌دلیل خواص منحصر به فردی همچون مساحت سطح ویژه می‌توانند به‌عنوان افزودنی به روانکار پایه اضافه شده و خواص تریبولوژیکی مطلوبی را در آن ایجاد نمایند. در پژوهش حاضر، به‌منظور بهبود شرایط اصطکاکی در فرآیند کشش عمیق استفاده از روانکار معمولی غنی شده با نانو ذرات آلومینا (Al_2O_3) مورد مطالعه قرار گرفته است. برای بررسی عملکرد نانو روانکار در مقایسه با روانکار معمولی، نیروی شکل‌دهی، مقادیر زبری سطح و توزیع ضخامت قطعات شکل داده شده مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج به‌دست آمده از آزمایشات تجربی نشان می‌دهند که افزودن 0/5 درصد وزنی نانو ذرات آلومینا به روانکار معمولی سبب بهبود قابل ملاحظه خاصیت روانکاری می‌شود به‌طوری‌که در مقایسه با روانکار معمولی نیروی شکل‌دهی و زبری سطح به‌ترتیب به میزان 16/39% و 19/33% کاهش می‌یابد. همچنین مشاهده شد که استفاده از روانکار حاوی افزودنی نانوذرات سبب 23/94% بهبود در ماکزیمم کاهش ضخامت در نقطه بحرانی می‌شود.

Lubrication enhancement in deep drawing process by utilizing nanoparticle additives

Behrooz Zareh-Desari[1], Mohammad Abbaszadeh-Yakhforvazani[2], Behnam Davoodi[3*]

1- Department of Mechanical Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
2- Department of Mechanical Engineering, Urmia University of Technology, Urmia, Iran.
3- Department of Mechanical Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
* P.O.B. 51665-315 Tabriz, Iran, bdavoodi@tabrizu.ac.ir

ARTICLE INFORMATION

Original Research Paper
Received 31 August 2014
Accepted 08 November 2014
Available Online 14 December 2014

Keywords:
Nano-lubricant
Alumina Nanoparticles
Deep Drawing
Surface Roughness
Thickness Distribution

ABSTRACT

Lubrication is an essential factor in sheet metal forming processes such as deep drawing in order to reduce friction at contact surfaces, forming load, tool wear rate and increasing sheet formability. Various metal oxide nanoparticles can be used as additives to create desirable tribological properties in base lubricants because of their unique properties such as specific surface area. In the present study, the conventional lubricant enhanced by alumina nanoparticles (Al_2O_3) is utilized in deep drawing process in order to improve frictional conditions. The forming load, surface roughness (Ra) and thickness distribution values of the formed cups were assessed to evaluate the performance of the enhanced conventional lubricant with alumina nanoparticles (Al_2O_3) in comparison to the conventional lubricant and dry forming condition. The obtained results from experimental tests revealed that adding 0.5 wt.% Al_2O_3 nanoparticles to the conventional lubricant improves lubrication property significantly and reduces forming load by 16.39% and surface roughness by 19.33% compared to the conventional lubricant. Furthermore, it is observed that using lubricant containing nanoparticle additives results in 23.94% improvement in maximum thickness reduction in critical zone.

1- مقدمه

هدف اصلی فرآیندهای شکل‌دهی، تولید محصولی بدون عیب و عاری از هرگونه نقص و با کمترین اتلاف مواد و هزینه ابزار است[1]. در فرآیند کشش عمیق نیز برای نیل به این هدف، پارامترهایی نظیر نیروی ورق‌گیر، شعاع سنبه و قالب، لقی بین سنبه و قالب، سرعت پرس، شرایط اصطکاکی و روانکاری تاثیر گذارند. در این میان روانکاری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و نقش مهمی را در کاهش اصطکاک در فصل مشترک ورق و اجزای قالب ایفا می‌کند. وجود یک لایه ضخیم و موثر از روانکار بین سطوح تماسی سبب افزایش شکل‌پذیری ورق، کاهش سایش ابزار و قالب و نیز افزایش کیفیت سطح قطعه شکل داده شده می‌شود. از این‌رو، عموما استفاده از روانکار در عملیات شکل‌دهی از جمله فرآیند کشش عمیق برای تولید محصولی با کیفیت بالا و کاهش مصرف انرژی اجتناب‌ناپذیر است[3،۲].

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Please cite this article using:
B. Zareh-Desari, M. Abbaszadeh-Yakhforvazani, B. Davoodi, Lubrication enhancement in deep drawing process by utilizing nanoparticle additives, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 15, No. 1, pp. 317-322, 2015 (In Persian)

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.1.5.1]

در سال‌های اخیر از یک طرف عدم کارایی کافی روانکارهای متداول در کاهش اصطکاک و سایش ایجاد شده در سطوح تماسی و از طرف دیگر ظهور و گسترش روزافزون فناوری نانو موجب پیدایش نسل جدیدی از روانکارها موسوم به نانو روانکارها[1] شده است. اساسا نانو روانکارها مخلوط‌های جامد-مایعی هستند که از پراکنده‌سازی نانو ذرات مختلف با اندازه ذرات کوچکتر از 100 نانومتر در داخل یک روانکار پایه تهیه می‌شوند[۴،5]. اخیرا پژوهشگران زیادی گزارش کرده‌اند که نانو ذرات بدلیل مساحت سطح ویژه بسیار بالا می-توانند به عنوان افزودنی به روانکار پایه اضافه شده و خواص ضد اصطکاکی و ضد سایشی آن‌ها را بطور قابل ملاحظه‌ای بهبود بخشاند[6-9]. وو و همکاران [10] نانو ذرات اکسیدمس، اکسید تیتانیم و الماس را در داخل دو نوع روغن (روغن پایه و API-SF) پراکنده کرده و با استفاده از آزمون لغزشی رفت و برگشتی، به بررسی اصطکاک و سایش نانو روانکارهای ساخته شده پرداختند. آنان دریافتند که در روغن API-SF و روغن پایه حاوی نانو ذرات اکسید مس، ضریب اصطکاک به ترتیب به میزان 18/4% و 5/8% کاهش یافته است. کریشنا و همکاران [11] نانو ذرات اسید بوریک با اندازه 50 نانومتر را در داخل دو نوع روانکار پایه شامل روغن SAE-40 و روغن نارگیل با درصدهای وزنی مختلف (0/25%، 0/5% و 1%) پراکنده کرده و به بررسی تاثیر بکارگیری نانو روانکارهای ساخته شده بر روی پارامترهای دما، میانگین سایش کناری ابزار و نیز زبری سطح قطعات در فرآیند تراشکاری فولاد AISI1040 پرداختند. نتایج آزمایشات تجربی آنان نشان داد که در صورت استفاده از نانو روانکار، دما، سایش ابزار و زبری سطح به طور قابل ملاحظه‌ای در مقایسه با روانکار پایه کاهش می‌یابد. نام و همکاران [12] در تحقیقی عملیات میکرو سوراخکاری قطعه‌ای از جنس آلیاژ آلومینیوم 6061 را تحت سه حالت روانکاری (روانکاری با هوای فشرده، سیستم روانکاری کمینه خالص[2] و سیستم روانکاری کمینه حاوی نانو روانکار) مورد مطالعه قرار دادند. نانو روانکار مورد استفاده آنان از پراکنده‌سازی نانو ذرات الماس با اندازه 30 نانومتر در داخل روغن‌های گیاهی و پارافین ساخته شده بود. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که بهترین حالت برای سوراخکاری تعداد سوراخ‌های بیشتر و با کیفیت سطح بهتر، سیستم روانکاری کمینه به همراه نانو روانکار است که سبب کاهش قابل ملاحظه نیروها و گشتاورهای سوراخکاری می‌شود. خلیل‌پور آذری [13] تاثیر استفاده از روانکار حاوی نانو ذرات آلومینا را بر صافی سطح چرخ‌دنده‌های تولید شده در فرآیند هابینگ مورد مطالعه قرار دادند. نتایج بدست آمده تاثیر مثبت نانو ذرات آلومینا را در بهبود کیفیت سطح چرخ‌دنده‌های تولید شده نشان داد. در تحقیق دیگری که توسط شبگرد و همکاران [14] انجام گرفت، از نانو ذرات اکسید مس به عنوان افزودنی به روانکار پایه استفاده شد. آنان نانوسیال ساخته شده را به همراه آب صابون و حالت خشک در فرآیند تراشکاری فولاد AISI 4340 بکار گرفته و به طور مقایسه‌ای تاثیر استفاده از نانو سیال را بر روی نیروی ماشینکاری و زبری سطح قطعه‌کار مورد مطالعه قرار دادند. نتایج به دست آمده نشان داد که در صورت افزودن نانو ذرات اکسید مس به مقدار 1% حجمی به روغن پایه، زبری سطح و نیروی ماشین کاری به ترتیب به میزان 49% و 24% نسبت به حالت خشک کاهش می‌یابد. مصلح و همکاران [15] تاثیر افزودن نانو ذرات دی سولفید مولیبدن، دی سولفید تنگستن و نیترید بور با اندازه‌های 100-50 نانومتر را بر عملکرد روانکارهای متداول مورد استفاده در فرآیندهای شکل‌دهی مورد آزمایش قرار دادند. اصطکاک و سایش دو پارامتر مورد بررسی محققان مذکور بود. آنان با بکارگیری آزمایش پین بر روی دیسک نشان دادند که استفاده از افزودنی نانو ذرات تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر روی کاهش اصطکاک و سایش ورق‌های تحت شکل‌دهی دارد.

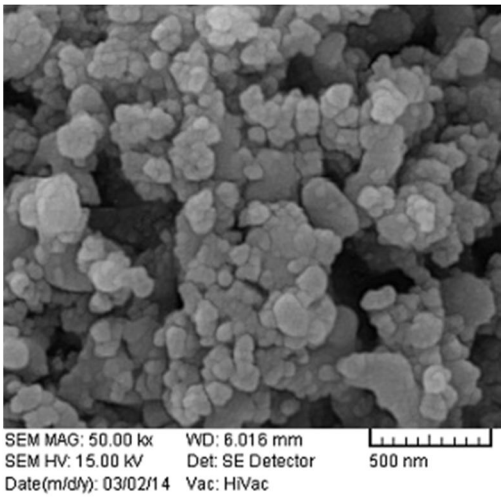
نتایج حاصل از تحقیقات اخیر منجر به وسیع‌تر شدن چشم‌انداز کاربردی افزودنی نانو ذرات در بهبود عملکرد روانکارها در شرایط مختلف تماسی و بارگذاری شده است. هدف تحقیق حاضر، استفاده از روانکار معمولی حاوی نانو ذرات آلومینا (Al_2O_3) در فرآیند کشش عمیق ورق آلومینیومی AA6061 و بررسی تاثیر آن بر روی پارامترهای کلیدی نظیر نیروی شکل‌دهی، توزیع ضخامت و صافی سطح قطعات شکل داده شده می‌باشد.

2- مواد و روش‌ها

2-1- آماده‌سازی نانو روانکار

در این پژوهش از نانو ذرات آلومینا نوع گاما، به علت در دسترس بودن و هزینه‌های پایین (که امکان بکارگیری از این نانو ذرات را در مقیاس صنعتی فراهم می‌سازد) و همچنین پایداری ابعادی و سازگاری با محیط زیست استفاده شده است. به منظور تعیین مورفولوژی و توزیع اندازه نانو ذرات به ترتیب از میکروسکوپ الکترونی روبشی و دستگاه آنالیز توزیع اندازه ذرات لیزری استفاده شده است. شکل‌های 1 و 2 به ترتیب تصویر SEM و توزیع اندازه نانو ذرات آلومینا را نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل 1 مشاهده می‌شود نانو ذرات دارای شکل تقریبا کروی بوده و با توجه به اینکه نانو ذرات با ساختار کروی خواص تریبولوژیکی بهتری را از خود نشان می‌دهند بنابراین نانو ذرات استفاده شده برای کاربردهای روانکاری مناسب هستند. همچنین مطابق شکل 2 دامنه تغییرات اندازه ذرات از 20 تا 80 نانومتر است که در این میان اندازه 40 نانومتر بیشترین تکرار را دارد. سایر مشخصات نانو ذرات مورد استفاده در جدول 1 ارائه شده است. روغن کشش CM202A به عنوان روانکار پایه برای انجام آزمایشات انتخاب شده است. جدول 2 خصوصیات فیزیکی- شیمیایی روانکار پایه را نشان می‌دهد.

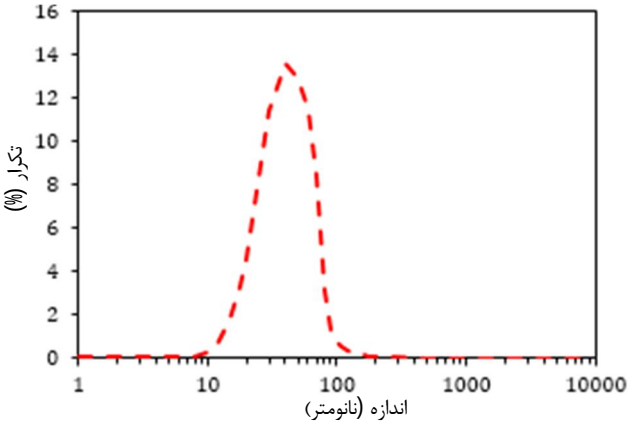
بر اساس نتایج تحقیقات پیشین، غلظت نانو ذرات آلومینای مورد استفاده در روانکار پایه در حدود 0/1 الی 1 درصد وزنی تعیین شده است [13، 16-18]. در این پژوهش نانو ذرات آلومینا با غلظت 0/5 درصد وزنی در داخل روانکار پایه پراکنده‌سازی شده‌اند که این کار با کمک یک همزن التراسونیک به مدت 45 دقیقه انجام گرفته است. نانو روانکارهای آماده‌سازی



شکل 1 تصویر SEM از نانو ذرات آلومینا

1- Nano-Lubricants
2- Pure Minimum Quantity Lubrication

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.1.5.1]



شکل 2 توزیع اندازه نانو ذرات آلومینا

جدول 1 خصوصیات نانو ذرات آلومینا نوع گاما مورد استفاده در این پژوهش

پارامتر	مقدار
رنگ	سفید
متوسط اندازه ذرات (nm)	70
مساحت سطح ویژه (m^2/g)	>138
خلوص (%)	99
ظرفیت گرمایی ویژه (J/kg.K)	880
چگالی (kg/m^3)	3890

جدول 2 خصوصیات فیزیکی و شیمیایی روانکار پایه (CM202A)

پارامتر	مقدار
چگالی در 20 درجه سانتی‌گراد ($Kg\ m^{-3}$)	925
گرانروی سینماتیکی در 40 درجه سانتی‌گراد (cSt)	80
شاخص گرانروی	110
نقطه ریزش (درجه سانتی‌گراد)	-24
نقطه اشتعال (درجه سانتی‌گراد)	200

شده بلافاصله بعد از پراکنده‌سازی نانو ذرات مورد استفاده قرار گرفته‌اند تا حتی ته‌نشینی و رسوب جزئی احتمالی صورت گرفته با گذشت زمان در نتایج آزمایشات ایجاد خطا ننماید.

2-2- آزمایشات کشش عمیق

مشخصات ابعادی اجزای اصلی قالب کشش عمیق ساخته شده در این پژوهش در جدول 3 آورده شده است. به منظور انجام آزمایشات از یک دستگاه پرس هیدرولیکی با توان 50 کیلونیوتن استفاده شده است. این دستگاه مجهز به یک لود سل بوده که قابلیت ثبت نیروی شکل‌دهی را در حین عملیات تغییر شکل ورق فراهم می‌نمود. شکل 3 نمایی از مجموعه قالب را در حالت نصب شده بر روی دستگاه پرس در حین عملیات شکل‌دهی نشان می‌دهد. برای انجام آزمایشات کشش عمیق گرده‌هایی به قطر 50 میلی‌متر و ضخامت 1/5 میلی‌متر آماده‌سازی گردیده‌اند. جنس گرده‌های مورد استفاده آلیاژ آلومینیوم AA6061 می‌باشد که قبل از انجام شکل‌دهی تحت عملیات حرارتی آنیل قرار گرفته‌اند.

جدول 3 مشخصات ابعادی اجزای اصلی قالب

پارامتر	اندازه (mm)
قطر سنبه	26
شعاع گوشه سنبه	6
قطر ماتریس	29/2
لقی قالب	0/2
شعاع ورودی قالب	6

شکل 3 تصویر دستگاه پرس و قالب کشش عمیق مورد استفاده در آزمایشات

آزمایشات کشش عمیق در سه شرایط مختلف روانکاری شامل حالت خشک، روانکار معمولی و روانکار معمولی حاوی نانو ذرات آلومینا انجام گرفت. به منظور جلوگیری از تاثیر نانو روانکار بر روی نتایج آزمایشات حالت خشک و روانکار معمولی، ابتدا آزمایشات مربوط به حالت خشک انجام شد و پس از اتمام و ثبت نیروهای شکل‌دهی مربوط به حالت خشک، آزمایشات مربوط به روانکار معمولی و در نهایت عملیات شکل‌دهی با استفاده از روانکار حاوی نانو ذرات انجام گرفت. روانکار معمولی و نانو روانکار بر روی نواحی شعاع و سطح قالب، سطح ورق‌گیر و نیز سطح ورقی که قرار بود شکل داده شود اعمال شد. پس از هر بار استفاده از روانکار معمولی و نانو روانکار، محل‌های آغشته به روانکار به طور کامل تمیز شده و برای آزمایش بعدی آماده می‌شد. به منظور اطمینان از تکرارپذیری نتایج، عملیات کشش عمیق در هر حالت روانکاری 5 بار تکرار و نیروها ثبت گردید.

برای بررسی کیفیت سطح نمونه‌های شکل داده شده از دستگاه زبری سنج ماهر[1] استفاده شد. زبری سنجی نمونه‌ها برای 5 منطقه تصادفی با طول نمونه‌گیری 4 میلی‌متر در راستای محیطی فنجان شکل داده (در جهت عمود بر جهت کشش) انجام شده است.

3- نتایج و بحث

3-1- تاثیر نانو روانکار بر روی نیروی شکل‌دهی

نمونه‌ای از قطعات شکل داده در سه شرایط روانکاری مورد بررسی در شکل 4 ارائه شده است. همچنین شکل 5 منحنی نیرو- جابجایی بدست آمده برای این قطعات را نشان می‌دهد. همان‌گونه که از شکل 5 مشخص است بکارگیری نانو روانکار سبب کاهش قابل ملاحظه نیروی لازم در طول فرآیند شکل‌دهی گردیده است که علت آن کاهش سهم نیروی لازم برای غلبه بر اصطکاک به دلیل خاصیت کاهش اصطکاک بهتر نانو روانکار است. علت

1- Mohr

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.1.5.1]

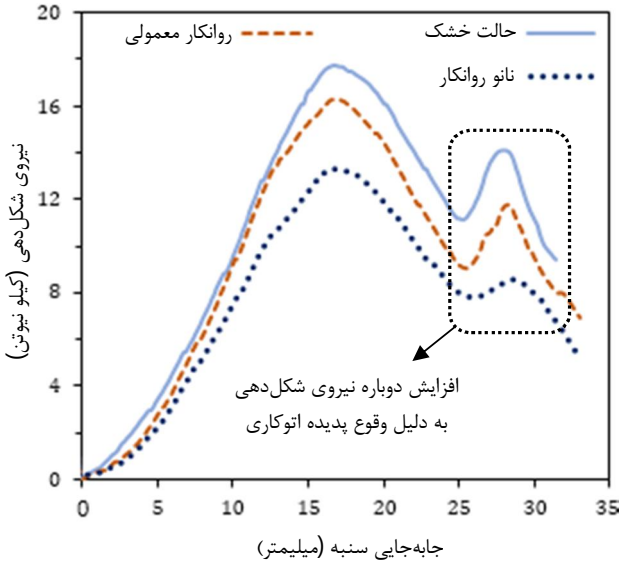
کاهش اصطکاک در حالت استفاده از روانکار حاوی نانو ذرات را می‌توان به دو مکانیزم فوق نسبت داد: در طول عملیات شکل‌دهی نانو ذرات همچون پرکننده عمل کرده و پستی و بلندی سطوح تماسی را پر می‌کنند، علاوه بر آن قرارگیری برخی از نانو ذرات مابین سطوح و اثرات غلتشی آنها منجر بوجود آمدن شرایطی شبیه عملکرد بلبرینگ در سطوح تماسی می‌شود که نتیجه نهایی دو مورد فوق کاهش اصطکاک است. مکانیزم‌های بیان شده فوق قبلا توسط محققان دیگری نیز به عنوان دلایل عملکرد بهتر تریبولوژیکی نانو روانکارها بیان شده‌اند[20،19،17،15].

نکته دیگری که در شکل 5 می‌توان مشاهده نمود افزایش دوباره نیروی شکل‌دهی در انتهای کورس سنبه است. در طول فرآیند شکل‌دهی و بویژه در لحظه‌ای که ورق از ناحیه بین ورق‌گیر و سطح قالب آزاد می‌گردد ضخامت ورق در ناحیه فلانج در نتیجه تنش‌های فشاری افزایش می‌یابد. با توجه با این امر و با در نظر داشتن این نکته که در قالب مورد استفاده در این پژوهش مقدار لقی در نظر گرفته شده مابین ماتریس و سنبه کم است (جدول 3) پدیده اتوکاری در انتهای کورس سنبه اتفاق می‌افتد که وقوع این پدیده با افزایش دوباره نیروی شکل‌دهی همراه است. مطابق شکل 5 افزایش دوباره نیروی شکل‌دهی در حالت استفاده از نانو روانکار نسبت به دو حالت روانکار معمولی و خشک با شیب ملایم‌تری اتفاق افتاده است که حاکی از عملکرد روانکاری بهتر نانو روانکار است.

شکل 6 مقدار متوسط ماکزیمم نیروی شکل‌دهی بدست آمده از پنج بار

(الف) (ب) (ج)

شکل 4 نمونه‌هایی از قطعات شکل داده شده تحت شرایط روانکاری مختلف (الف) حالت خشک (ب) روانکار معمولی و (ج) نانو روانکار



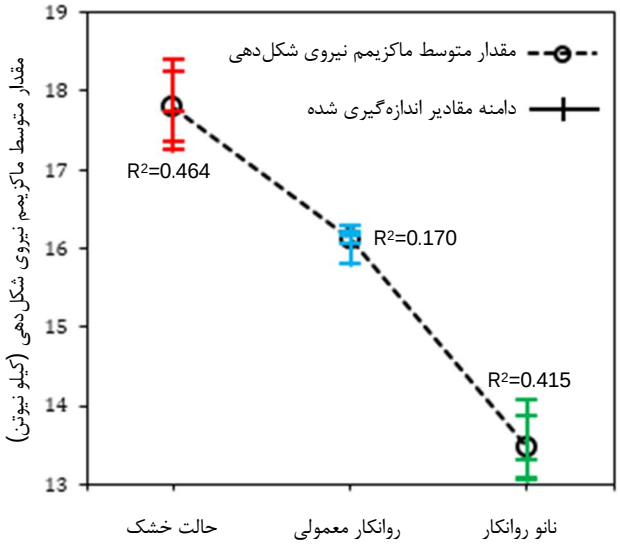
شکل 5 منحنی نیرو – جابه‌جایی قطعات تولید شده تحت شرایط روانکاری متفاوت

تکرار آزمایش در هر شرایط روانکاری را نشان می‌دهد. در این شکل پارامتر R^2 نشان‌دهنده انحراف از مقدار میانگین است. مطابق شکل 6 آزمایشات انجام شده از تکرارپذیری مناسبی برخوردار هستند. مقدار متوسط ماکزیمم نیروی شکل‌دهی در حالت بکارگیری نانو روانکار (KN) 13/46 است که نشان دهنده 24/32% کاهش نسبت به حالت خشک ((KN) 17/79) و 16/39% کاهش نسبت به روانکار معمولی ((KN) 16/10) می‌باشد. همچنین میزان کاهش نیرو برای روانکار معمولی نسبت به حالت خشک 9/48% است که با مقایسه آن با مقدار مشابه بدست آمده برای نانو روانکار (24/32%) می‌توان نتیجه‌گیری نمود که افزودن نانو ذرات آلومینا باعث بهبود 2/57 برابری عملکرد روانکار معمولی گردیده است.

3-2- تاثیر نانو روانکار بر روی کیفیت سطح

شکل 7 یک نمونه از پروفیل‌های زبری سطح اندازه‌گیری شده را برای هر شرایط روانکاری نشان می‌دهد. همان‌گونه که از شکل واضح است در حالت خشک (شکل 7-الف)، سطح نمونه شکل داده شده زبری بالایی داشته و از کیفیت نامناسبی برخوردار است. زبری سطح میانگین[1] (Ra) بدست آمده در این حالت برابر 2/130 میکرون است. در شرایط استفاده از روانکار معمولی (شکل 7-ب) کیفیت سطح نمونه شکل داده شده بهبود یافته و ارتفاع قله‌های زبری بطور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته است بطوریکه زبری سطح میانگین به 0/921 میکرون رسیده است. ولی کاهش قابل ملاحظه Ra در حالت بکارگیری نانو روانکار (7-ج) اتفاق افتاده است. میانگین زبری بدست آمده در شرایط روانکاری با نانو روانکار 0/730 میکرون می‌باشد. با افزوده شدن نانو ذرات به روانکار، توانایی حمل بار روانکار به علت افزایش ویسکوزیته آن افزایش می‌یابد. همچنین همانگونه که قبلا بیان گردید نانو ذرات اضافه شده دره‌های زبری سطح را پر می‌کنند. دو عامل فوق منجر به کاهش قابل ملاحظه تماس مستقیم فلز با فلز در طول فرآیند شکل‌دهی شده و بهبود کیفیت سطح قطعات شکل داده شده را بدنبال دارد.

شکل 8 متوسط مقادیر میانگین زبری سطح اندازه‌گیری شده از پنج ناحیه تصادفی را برای شرایط مختلف روانکاری نشان می‌دهد. در این شکل پارامتر R^2 نشان‌دهنده انحراف از مقدار میانگین است. مطابق شکل در حالت



شکل 6 مقدار متوسط ماکزیمم نیروی شکل‌دهی برای 5 بار تکرار آزمایش در هر شرایط روانکاری

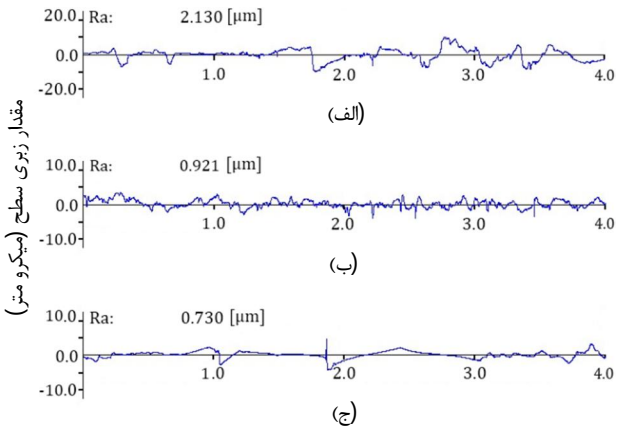
1- Average surface roughness

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.1.5.1]

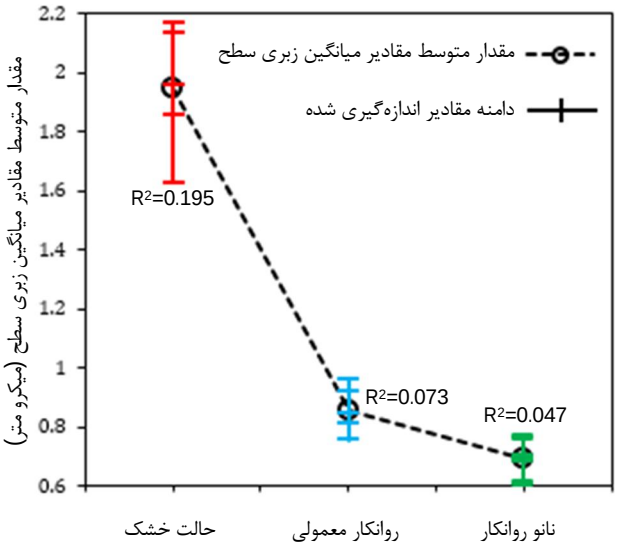
خشک به علت ناپایداری شرایط اصطکاکی پراکندگی نتایج بیشتر است، در حالیکه برای روانکار معمولی و نانو روانکار نتایج بدست آمده دارای تکرارپذیری بسیار مناسبی می‌باشند. مطابق شکل 8 مقدار متوسط بدست آمده برای نانو روانکار برابر با 0/691 میکرون می‌باشد که به ترتیب 69/48% و 19/33% کمتر از حالت خشک و روانکار بدون افزودنی نانوذارت می‌باشد. میزان بهبود کیفیت سطح برای روانکار معمولی نسبت به حالت خشک 55/96% است که با مقایسه آن با مقدار بدست آمده برای نانو روانکار (69/48%) می‌توان نتیجه‌گیری نمود که افزودن نانو ذرات آلومینا منجر به بهبود 1/24 برابری عملکرد روانکار معمولی در بهبود کیفیت سطح گردیده است.

3-3- تاثیر نانو روانکار بر روی توزیع ضخامت

یکی از مهمترین مشخصه‌های کیفی مورد ارزیابی در فرآیندهای شکل‌دهی ورق‌های فلزی توزیع ضخامت قطعات شکل داده شده می‌باشد. در این مقاله نیز از توزیع ضخامت قطعات شکل داده شده به‌عنوان معیار دیگری برای



شکل 7 یک نمونه از پروفیل‌های زبری سطح بدست آمده برای قطعات شکل داده شده تحت شرایط روانکاری مختلف (الف) حالت خشک (ب) روانکار معمولی و (ج) نانو روانکار



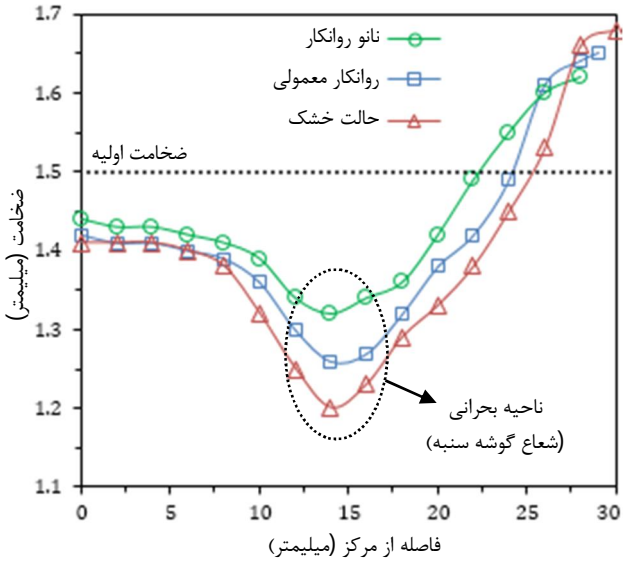
شکل 8 مقدار متوسط میانگین زبری سطح اندازه‌گیری شده از 5 ناحیه تصادفی در هر شرایط روانکاری

سنجش عملکرد نانو روانکار استفاده شده است. برای اندازه‌گیری ضخامت قطعات از یک ضخامت سنج که دارای فک‌های کروی و ساعت اندیکاتور با دقت 0/01 میلی‌متر می‌باشد استفاده شده است. شکل 9 توزیع ضخامت قطعات شکل داده شده تحت سه شرایط روانکاری مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود بکارگیری نانو روانکار منجر به کاهش قابل توجه کاهش ضخامت و تغییرات ضخامت قطعه شکل داده شده در تمامی نواحی گردیده است. مطابق شکل 9 برای هر سه نمونه، منطقه بحرانی با بیشترین کاهش ضخامت یکسان بوده و در ناحیه شعاع گوشه سنبه قرار دارد. با توجه به احتمال بسیار زیاد وقوع پارگی در این ناحیه، تاثیر روانکار بر روی حداکثر کاهش ضخامت در این ناحیه مورد توجه قرار گرفته است. مقادیر حداکثر کاهش ضخامت در ناحیه بحرانی برای سه قطعه مجزای شکل داده شده شده در هر شرایط روانکاری در جدول 4 ارائه داده شده است.

که مطابق جدول 4 نتایج بدست آمده از تکرار پذیری مناسبی برخوردارند. به دلیل جریان یافتن بهتر ورق به سمت قالب و همچنین کاهش تنش‌های کششی در نتیجه ایجاد شرایط اصطکاکی بهتر، ماکزیمم کاهش ضخامت تحت شرایط استفاده از نانو روانکار بطور قابل توجهی کاهش یافته است. بر اساس نتایج ارائه شده در جدول 4 بکارگیری نانو روانکار به ترتیب منجر به 40% و 23/94% بهبود نسبت به حالت خشک و روانکار معمولی در حداکثر کاهش ضخامت قطعات شکل داده شده گردیده است که این مزیت از نظر کاهش خرابی قطعات در اثر وقوع پارگی و همچنین شکل‌دهی قطعات با عمق کشش بالاتر اهمیت بسیار زیادی دارد.

4- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، فرآیند کشش عمیق آلیاژ آلومینیوم AA6061 در شرایط



شکل 9 منحنی توزیع ضخامت قطعات تولید شده تحت شرایط روانکاری متفاوت

جدول 4 حداکثر کاهش ضخامت در ناحیه بحرانی برای قطعات شکل داده شده در شرایط مختلف رانکاری

	خشک	روانکار معمولی	نانو روانکار
نمونه 1	0/32	0/24	0/18
نمونه 2	0/30	0/23	0/19
نمونه 3	0/28	0/24	0/17
میانگین	0/30	0/237	0/18

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.1.5.1]

مختلف روانکاری شامل حالت خشک، روانکار معمولی و روانکار معمولی حاوی نانوذرات آلومینا با غلظت 0/5 درصد وزنی انجام گرفت. نیروی شکل‌دهی، کیفیت سطح و حداکثر کاهش ضخامت نمونه‌های شکل داده شده به عنوان مهمترین پارامترهای متاثر از شرایط روانکاری به صورت تجربی مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج اصلی بدست آمده به شرح زیر بیان می‌شود:

1- نیروی شکل‌دهی در حالت استفاده از روانکار حاوی نانوذرات آلومینا به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. ماکزیمم نیروی شکل‌دهی نسبت به حالت‌های خشک و روانکار معمولی به ترتیب به میزان 24/32% و 16/39% درصد کاهش را نشان می‌دهد. این کاهش حاصل بهبود شرایط اصطکاکی (کاهش ضریب اصطکاک بین سطوح اجزای قالب و ورق) در نتیجه عملکرد بهتر نانو روانکار می‌باشد.

2- بهترین کیفیت سطح در حالت استفاده از نانو روانکار بدست آمد بطوریکه زبری سطح قطعات شکل داده شده در این حالت به ترتیب 69/48% و 19/33% کمتر از شرایط خشک و روانکار معمولی بود.

3- بکارگیری نانو روانکار به ترتیب منجر به 40% و 23/94% بهبود نسبت به حالت خشک و روانکار معمولی در حداکثر کاهش ضخامت قطعات شکل داده شده گردید.

4- بطور کلی با توجه به نتایج این پژوهش، مشخص شد که در صورت بکارگیری نانو روانکار، بهبود قابل توجهی در فرآیند کشش عمیق حاصل می‌شود که در این میان بهبود توزیع ضخامت (به دلیل کاهش احتمال پارگی و شکل‌دهی قطعات با عمق کشش بالاتر) و کیفیت سطح قطعات اهمیت بسیار ویژه‌ای دارد. با توجه به اینکه چنین مزایایی تنها به اضافه کردن کسر حجمی بسیار کوچکی از نانو ذرات آلومینا بدست آمد که از نظر قیمت نیز در مقایسه با نانو ذرات اکسید فلزات دیگر بسیار ارزان و مقرون به صرفه می‌باشند می‌توان از نانو روانکارها برای بهبود فرآیند کشش عمیق و همچنین سایر فرآیندهای شکل‌دهی فلزات در مقیاس صنعتی بهره برد.

5- مراجع

[1] B. Barooghi, A. Amiri, M. H. Sadeghi, Study on hot ring compression test of al 6082 alloy using experimental observation and FEM simulation, *Modares Mechanical Engineering,* Vol. 13, No. 3, pp. 68-75, 2013. (In Persian)

[2] T. S. Yang, Investigation of the strain distribution with lubrication during the deep drawing process, *Journal of Tribology International,* Vol. 43, No. 5-6, pp. 1104-1112, 2010.

[3] H. Ghasemi, B. Soltani, Experimental investigation on the effective parameters on forming force, dimensional accuracy and thickness distribution in single point incremental forming, *Modares Mechanical Engineering,* Vol. 14, No. 1, pp. 89-96, 2014. (In Persian)

[4] X. Q. Wang, A. S. Mujumdar, Heat transfer characterization of nanofluid: A review, *International Journal of Thermal Science,* Vol. 46, No. 1, pp. 1-19, 2007.

[5] E. Ettefaghi, H. Ahmadi, A. M. Rashidi, S. S. Mohtasebi, R. Soltani, Effects of nano-particles on properties of engine oil and its functionality rate on wear reduction, *The Journal of Engine Research,* Vol. 24, No. 24, pp. 3-12, 2011. (In Persian)

[6] G. Liu, X. Li, B. Qin, D. Xing, Y. Guo, R. Fan, Investigation of the mending effect and mechanism of copper nano-particles on a tribologically stressed surface, *Tribology Letters,* Vol. 17, No. 4, pp. 961-966, 2004.

[7] S. M. Alves, B. S. Barros, M. F. Trajano, K. S. B. Ribeiro, E. Moura, Tribological behavior of vegetable oil-based lubricants with nanoparticles of oxides in boundary lubrication conditions, *Journal of Tribology International,* Vol. 65, pp. 28-36, 2013.

[8] J. Lee, S. Cho, Y. Hwang, C. Lee, S. H. Kim, Enhancement of lubrication properties of nano-oil by controlling the amount of fullerene nanoparticle additives, *Tribology Letters,* Vol. 28, No. 2, pp. 203-208, 2007.

[9] M. Sayuti, A. A. D. Sarhan, F. Salem, Novel uses of SiO2 nano-lubrication system in hard turning process of hardened steel AISI4140 for less tool wear, surface roughness and oil consumption, *Journal of Cleaner Production,* Vol. 67, pp. 265-276, 2014.

[10] Y. Y. Wu, W. C. Tsui, T. C. Liu, Experimental analysis of tribological properties of lubricating oils with nanoparticle additives, *Wear,* Vol. 262, Nos. 7-8, pp. 819-825, 2007.

[11] P. V. Krishna, R. R. Srikant, D. N. Rao, Experimental investigation on the performance of nanoboric acid suspensions in SAE-40 and coconut oil during turning of AISI 1040 steel, *International Journal of Machine Tools & Manufacture,* Vol. 50, No. 10, pp. 911-916, 2010.

[12] J. S. Nam, P. H. Lee, S. W. Lee, Experimental characterization of micro-drilling process using nanofluid minimum quantity lubrication, *International Journal of Machine Tools & Manufacture,* Vol. 51, No. 7-8, pp. 649- 652, 2011.

[13] S. Khalilpourazari, Effects of lubricating oil with alumina nanparticle additives on spur gear surface roughness in hobbing process, *Mechanical Engineering,* Vol. 22, No. 93, pp. 38-46, 2014. (In Persian)

[14] 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)

[15] M. Mosleh, N. D. Atnafu, J. H. Belk, O. M. Nobles, Modification of sheet metal forming fluids with dispersed nanoparticles for improved lubrication, *Wear,* Vol. 267, No. 5-8, pp. 1220-1225, 2009.

[16] S. khandekar, M. R. SanKar, V. Agnihotri, J. Ramkumar, Nano-Cutting Fluid for Enhancement of Metal Cutting Performance, *Materials and Manufacturing Processes,* Vol. 27, No. 1, pp. 963-967, 2012.

[17] C. Mao, Y. Huang, X. Zhou, H. Gan, J. Zhang, Zh. Zhou, The tribological properties of nanofluid used in minimum quantity lubrication grinding, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology,* Vol. 71, No. 1, pp. 1221-1228, 2014.

[18] T. Luo, X. Wein, X. Huang, L. Huang, F. Yang, Tribological properties of Al_2O_3 nanoparticles as lubricating oil additives, *Ceramics International,* Vol. 40, No. 1, pp. 7143-7149, 2014.

[19] K. Lee, Y. Hwang, S. Cheong, Y. Choi, L. Kwon, J. Lee, S. H. Kim, Understanding the role of nanoparticles in nano-oil lubrication, *Tribology Letters,* Vol. 35, No. 1, pp. 127-131, 2009.

[20] Ch. G. Lee, Y. J. Hwang, Y. M. Choi, J. K. Lee, Ch. Choi, J. M. Oh, A Study on The Tribological Characteristics of Graphite Nano Lubricants, *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing,* Vol. 10, No. 1, pp. 85-90, 2009.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.1.5.1]