مجله مهندسی مکانیک مدرس، آبان ۱۳۹۴، دوره ۱۵، شماره ۱۳، ویژه‌نامه مجموعه مقالات کنفرانس، ص‌ص ۴۱۰-۴۱۵

مجموعه مقالات کنفرانس ماشین‌کاری و ماشین‌های ابزار پیشرفته، تهران، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳ و ۱۴ آبان ۱۳۹۴

مهندسی مکانیک مدرس

mme.modares.ac.ir

بررسی تاثیر پارامترهای موثر بر زبری سطح و عمق باربرداری در فرایند ماشین‌کاری شیمیایی آلیاژ Ti-6Al-4V

ولی علی‌میرزالو[۱*]، وحید مدانلو[۲]، میثم هادوی فر[۳]

۱- استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه ارومیه، ارومیه
۲- دانشجوی دکترا، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه ارومیه، ارومیه
۳-کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه ارومیه، ارومیه
* ارومیه، صندوق پستی ۱۶۵-۵۷۱۵۳، v.alimirzaloo@urmia.ac.ir

چکیده

برای باربرداری و حذف لایه آلفای سطحی در آلیاژ تیتانیوم، از ماشینکاری شیمیایی به عنوان یک عملیات تکمیلی استفاده می‌شود. در این عملیات، عمق باربرداری و زبری سطح از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند که از پارامترهای ماشین‌کاری شامل دما، زمان عملیات و درصد اسیدهای محلول شیمیایی تاثیر می‌پذیرند. در این مقاله ابتدا با طراحی و انجام آزمایش‌های تجربی، اثرات اصلی و متقابل پارامترهای موثر در ماشین‌کاری شیمیایی آلیاژ Ti-6Al-4V با محلول شیمیایی HF و HNO3 بررسی می‌شود. سپس با استفاده از روش روی هم قراردادن نمودارهای کانتوری، محدوده مناسب پارامترهای ماشین‌کاری برای زبری سطح و عمق باربرداری مطلوب، جهت حذف لایه آلفای سطحی ایرفویل یک نوع پره فورج شده استخراج می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که عمق باربرداری با افزایش دما، مدت زمان و درصد HF افزایش می‌یابد، اما با افزایش HNO3 مقداری کاهش می‌یابد. تاثیر پارامترها بر زبری سطح روند یکنواختی ندارد و اکثر پارامترها در تاثیر بر عمق باربرداری و زبری سطح اثر متقابل دارند. با استفاده از روش روی هم قرار دادن نمودارهای کانتوری، برای دو نوع درصد اسیدها، محدوده مناسب دما و مدت عملیات برای حذف لایه آلفای سطحی همراه با زبری سطح مطلوب بدست آمد.

کلید واژگان: ماشین‌کاری شیمیایی، زبری سطح، آلیاژ Ti-6Al-4V، عمق باربرداری

Investigation of the effective parameters on the surface roughness and material removal depth in chemical machining of Ti-6Al-4V alloy

Vali Alimirzaloo*, Vahid Modanloo, Meisam Hadavifar

Department of Mechanical Engineering, Urmia University, Urmia, Iran
* P.O.B. 57153-165 Urmia, Iran, v.alimirzaloo@urmia.ac.ir

ABSTRACT

Chemical machining is used as a finishing operation for the material removing (MR) and elimination of the alpha surface layer in titanium alloy. In this operation, MR depth and surface roughness (SR) are important and influenced by the machining parameters such as temperature, operation time and percent of chemical acids. In this paper, main and interaction effects of the effective parameters are investigated in the chemical machining of Ti-6Al-4V alloy by HF and HNO3 chemical solutions using design and performing the experiments. Also, appropriate range of machining parameters have been determined using overlaid counter plots method that is used for elimination of the alpha surface layer of a forged airfoil blade. Results showed that the MR depth increases by increasing the temperature, time and percent of HF, but a little decreases by increasing the percent of HNO3. Effects of the parameters on the roughness are not similar. Most of the parameters interact with each other in affecting on the MR depth and SR. For the both types of acids, appropriate ranges of temperature and operation time were obtained for eliminating the alpha surface layer and the desired roughness.

Keywords: Chemical Machining, Material Removal Depth, Surface Roughness, Ti-6Al-4V Alloy.

۱- مقدمه

فرایند ماشین‌کاری شیمیایی، در زمره فرایندهای ماشین‌کاری غیرسنتی قرار می‌گیرد که در آن از انرژی شیمیایی برای جدا کردن قسمتی از مواد استفاده می‌شود. در این روش هیچ‌گونه تنش مکانیکی و حرارتی بر قطعه‌کار اعمال نمی‌شود و کلیه خصوصیات مواد قطعه در عمق‌های مختلف بدون تغییر باقی می‌ماند. این فرایند قدمتی بیش از چندین قرن دارد که کاربرد آن از ساخت تراشه‌های کوچک الکتریکی تا سازه‌های غول‌پیکری همچون بدنه فضاپیماها گسترده شده است. از اولین کاربردهای صنعتی این روش، به‌کارگیری آن در تولید بدنه هواپیما می‌باشد که در سال ۱۹۵۳ جهت کاهش وزن بدنه هواپیما و عملیات نقش‌اندازی، استفاده می‌شد [۱]. از مطالعات انجام شده در این زمینه در دهه اخیر می‌توان به کار تاکاهاشی و همکارانش در سال ۲۰۰۲ اشاره کرد که در فرایند ماشین‌کاری شیمیایی سطحی یا اسیدشویی قطعه تیتانیومی، تاثیر اندازه دانه‌بندی اولیه را در براقی و سفیدی سطح بررسی کرده‌اند. مطالعه آن‌ها نشان می‌دهد که کاهش اندازه دانه‌ها منجر به کاهش براقی سطح می‌شود [۲]. بان و همکارانش در سال ۲۰۰۶، تاثیر اسید سولفوریک را درعملیات حکاکی بررسی کرده‌اند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که با افزایش دما و مدت عملیات، صافی سطح کاهش می‌یابد و همچنین با افزایش دما بعد از یک فاصله زمانی اولیه، عمق باربرداری افزایش می‌یابد [۳]. هو و همکارانش در سال ۲۰۰۸ ماشین‌کاری شیمیایی نیکل نانو کریسالیزه شده را بررسی کردند و با ترکیب اسید سولفوریک و HNO3، از ایجاد ترک بر

Please cite this article using:

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

V. Alimirzaloo, V. Modanloo, M. Hadavifar, Investigation of the effective parameters on the surface roughness and material removal depth in chemical machining of Ti-6Al-4V alloy, *Modares Mechanical Engineering*, *Proceedings of the Advanced Machining and Machine Tools Conference*, Vol. 15, No. 13, pp. 410-415, 2015. (in Persian فارسی)

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-09-22]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.13.19.9]

روی سطح قطعه جلوگیری کرده‌اند [۴]. هادوی فر و همکارانش [۵] در سال ۲۰۱۴ نرخ خوردگی را در فرایند اسیدشویی آلیاژ تیتانیوم Ti-6Al-4V با استفاده از روش تاگوچی بررسی کرده‌اند و مقادیر بهینه پارامترهای ماشین-کاری را بدست آورده‌اند. از ماشین‌کاری شیمیایی گاهی به عنوان یک فرآیند تکمیلی بعد از عملیات‌های شکل‌دهی فلزات استفاده می‌شود. یکی از کاربردهای این فرایند، در اسیدشویی یا ماشین‌کاری شیمیایی سطحی قطعات فورج داغ شده مانند پره‌های تیتانیومی می‌باشد. از آنجا که در اثر فورج داغ این‌گونه قطعات، لایه ترد سطحی به نام لایه آلفا بوجود می‌آید که استحکام خستگی قطعه را کاهش می‌دهد، لازم است بعد از فورج از سطح قطعه باربرداری شود [۶]. سای و تسای در سال ۲۰۰۴ اسیدشویی آلیاژ Ti6Al4V را برای حذف لایه آلفای سطحی مطالعه کردند. بررسی آن‌ها نشان می‌دهد که نسبت محلول‌های HF و HNO3 تاثیر زیادی در برداشتن لایه آلفا دارد [۷]. روسو و موتوبو در سال۲۰۱۱ تاثیر محلول شیمیایی را در اسیدشویی لایه آلفا در آلیاژ تیتانیوم Ti6Al4V بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که با نسبت بهینه اسیدهای HF وHNO3، لایه آلفا به اندازه کافی برداشته می‌شود و نسبت اسیدها، تاثیر زیادی در زمان و دمای فرایند دارد. در این تحقیق برای کاهش تاثیر منفی اسیدها بر روی سطح قطعه، از اسید فسفریک استفاده شده است [۸]. علی میرزالو و همکارانش [۹] در سال ۲۰۱۵ فرایند ماشین‌کاری شیمیایی ایرفویل یک نوع پره فورج شده از جنس آلیاژ تیتانیم Ti-6Al-4V را جهت حذف لایه آلفای سطحی بررسی کرده‌اند. در این مطالعه آن‌ها توانسته-اند با استفاده از محلول شیمیایی اسید نیتریک و اسید فلوریک لایه آلفا را به طور یکنواخت در سطح مقطع ایرفویل باربرداری کنند. در زمینه ماشین‌کاری شیمیایی سطحی آلیاژ تیتانیوم و باربرداری لایه آلفا، مطالعات موجود غالباً به بررسی تاثیر نسبت اسیدها بر عمق باربرداری و حذف لایه آلفا پرداخته‌اند. در این مقاله علاوه بر درصد اسیدها تاثیر دما و مدت زمان عملیات بر عمق باربرداری و زبری سطح پرداخته می‌شود. همچنین علاوه بر اثرات اصلی، اثر متقابل این پارامترها بررسی می‌شود. سپس با استفاده از روش روی هم قراردادن نمودارهای کانتوری، مقادیر مناسب پارامترهای ماشین‌کاری برای زبری سطح و عمق باربرداری مطلوب جهت حذف لایه آلفای سطحی ایرفویل یک نوع پره فورج شده از جنس آلیاژ Ti6Al4V استخراج می‌شود.

۲- ماشین‌کاری شیمیایی آلیاژ Ti-6Al-4V

ماشین‌کاری شیمیایی با توجه به عمق و سطح باربرداری شده، به شکل‌های مختلف مانند باربرداری سطحی یا اسیدشویی یکنواخت، سوراخ‌کاری و کانتور تراشی انجام می‌شود. محلول‌های اسیدشویی اغلب محیط‌های اسیدی یا بازی هستند که بر سطح قطعه، براساس واکنش شیمیایی، اثر کرده و قسمت مورد نظر را در خود حل می‌کنند. جنس، دما، غلظت و چگونگی تماس با قطعه از عوامل کنترل کننده واکنش شیمیایی هستند. انرژی اصلی اسیدشویی که همان اعمال انرژی شیمیایی برای حل کردن مواد می‌باشد در اثر واکنش شیمیایی تأمین می‌گردد. برای ماشین‌کاری آلیاژ تیتانیم معمولاً از محلول HNO3 و HF استفاده می‌شود. در صورتی که از HF بدون HNO3 استفاده شود، HF با عنصر تیتانیوم موجود در قطعه بدین‌صورت واکنش می‌دهد.

$$2Ti + 2HF = 2TiF + H_2 \quad (۱)$$

درصورتی‌که هیدروژن حاصل از این واکنش در فلز پایه جذب شود باعث کاهش مقاومت به شکست می‌شود. بدین منظور از محلول HNO3 و HF برای ماشین‌کاری آلیاژ تیتانیم استفاده می‌شود [۷]. در این حالت واکنش شیمیایی به صورت رابطه (۲) روی می‌دهد [۱۰].

$$Ti + 6HF + 4HNO_3 = 3H_2TiF_6 + 4H_2O + 4NO_2 \quad (۲)$$

به علت گرمازا بودن این واکنش دمای محلول افزایش یافته و افزایش دما بر سرعت واکنش تاثیر می‌گذارد. آلیاژ تیتانیم Ti-6Al-4V مخلوطی از دو فاز آلفا (hcp) و فاز بتا (bcc) است. فاز آلفا که سخت فورج می‌شود معمولاً در دماهای پایین وجود دارد و فاز بتا که خیلی آسان فورج می‌شود در دماهای بالا وجود دارد. با افزایش دما از میزان فاز آلفا کاسته شده و بر مقدار فاز بتا افزوده می‌شود. در اثر فورج داغ آلیاژ تیتانیم و خنک شدن سریع قطعه یک لایه غنی از فاز آلفا در سطح قطعه بوجود می‌آید. این لایه که به نام لایه آلفای سطحی نامیده می‌شود، ترد بوده و منبع تشکیل و رشد ترک‌های ریز و در نتیجه کاهش عمر قطعه‌کار می‌شود. بنابراین استفاده از عملیات تکمیلی مانند ماشین‌کاری شیمیایی برای حذف این لایه از سطح قطعه ضروری است. مطالعات قبلی توسط مولف اول [۶] نشان می‌دهد که حداکثر ضخامت این لایه در فورج داغ پره کمپرسور موتورهای توربینی حدود ۱۵۰ میکرون است. در عملیات ماشین‌کاری شیمیایی، ریز ساختار سطح قطعه در معرض واکنش شیمیایی قرار گرفته و حل می‌شود. در یک نگاه میکروسکوپی به دلیل بالاتر بودن سطح انرژی مرزدانه‌ها نسبت به دانه‌های سطح سرعت واکنش شیمیایی در نقاط مختلف سطح متفاوت می‌باشد. همچنین اختلاف فواصل اتمی باعث سرعت خوردگی متفاوت می‌شود [۱۱]. اختلاف سرعت خوردگی در نقاط مختلف سطح منجر به تغییر زبری سطح قطعه می‌شود. در کاربردهای صنعتی خصوصا در صنایع هوایی، علاوه بر حذف لایه آلفای سطحی، کیفیت سطح نهایی به ویژه صافی سطح قطعه بسیار مهم است. زیرا خواص استحکامی قطعه از صافی سطح آن تاثیر می‌پذیرد. بنابراین در این تحقیق ضمن بررسی تاثیر پارامترهای ماشین‌کاری بر عمق براده‌برداری و زبری سطح، محدوده مناسب پارامترها برای حذف کامل لایه آلفای سطحی و زبری سطح مطلوب استخراج می‌شود.

۳- طراحی و انجام آزمایش‌ها

مطالعه کارهای قبلی در مورد تاثیر پارامترهای موثر در فرایند ماشین‌کاری شیمیایی آلیاژ Ti6Al4V نشان می‌دهد که پارامترهای دما، غلظت اسیدها و مدت زمان ماشین‌کاری در کیفیت سطح نهایی قطعه و عمق بار برداری می-توانند تاثیر گذار باشند. بنابراین با طراحی و انجام آزمایش‌های لازم تاثیر پارامترها بررسی شد. برای طراحی آزمایش‌ها از روش تاگوچی و برای هر فاکتور سه سطح لحاظ شد. محدوده و سطوح پارامترها براساس مطالعات قبلی و تجربیات موجود به‌صورت جدول ۱ در نظر گرفته شد. با توجه به تعداد فاکتورها و سطوح آن‌ها، آرایه L27 به عنوان آرایه استاندارد برای طراحی آزمایش‌ها انتخاب شد و مطابق این آرایه، ۲۷ آزمایش مطابق جدول ۲ طراحی شد [۱۳،۱۲]. نمونه‌های آزمایش به صورت استوانه‌ای شکل به قطر ۲۰ میلی‌متر و ضخامت ۶ میلی‌متر مطابق شکل ۱ تهیه شدند و در کوره‌ای با درجه حرارت ۸۸۰ درجه سانتی‌گراد برای مدت ۱۰ دقیقه قرار داده شدند سپس در هوا خنک شدند تا لایه آلفای سطحی روی نمونه‌ها ایجاد شود. بعد از آماده‌سازی نمونه‌ها، آزمایش‌ها طبق شرایط هر آزمایش در جدول طراحی آزمایش‌ها به روش غوطه وری اجرا شد. محلول اولیه اسیدها از HF با غلظت ٪۷۰ و HNO3 با غلظت ٪۵۵ تشکیل شده بود. با توجه به گرمازا بودن فرایند شیمیایی در برخی از آزمایش‌ها، دما به حدی بالا می‌رود که کنترل آن به شدت مشکل می‌شود. بدین منظور از دستگاه حمام آب ۲۱۱ لیتری مدل ۱۰۰۴ ساخت شرکت GFL استفاده شد و از ترمومتر لیزری دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ برای اندازه گیری دما در حین عملیات استفاده شد. با انجام عملیات

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-09-22]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.13.19.9]

ماشین‌کاری شیمیایی، عمق باربرداری با اندازه گیری ضخامت نمونه‌ها در قبل و بعد از عملیات برای هر آزمایش بدست آمد. زبری سطح نمونه‌ها توسط دستگاه زبری‌سنج طبق معیار زبری میانگین Ra برحسب µm اندازه‌گیری شد. بنابراین زبری سطح و عمق باربرداری در هر آزمایش بدست آمد. در جدول ۲ تعدادی از آزمایش‌ها و مقادیر خروجی نشان داده شده است.

۴- نتایج و بحث

با اجرای آزمایش‌ها و استخراج مقادیر خروجی برای هر آزمایش، تاثیرات اصلی و متقابل پارامترهای ماشین‌کاری (دما، غلظت اسیدها و مدت زمان) بر عمق باربرداری و زبری سطح بررسی و محدوده مناسب پارامترها استخراج گردید.

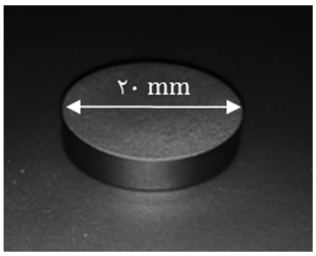
۴-۱- تاثیر پارامترها بر عمق باربرداری

۴-۱-۱- تاثیرات اصلی

در شکل ۲ تاثیر مدت زمان عملیات بر عمق باربرداری نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که با افزایش زمان از ۱ دقیقه به ۵/۵ دقیقه عمق باربرداری مقداری افزیش می‌یابد و با افزایش زمان تا ۱۰ دقیقه عمق باربرداری با سرعت بیشتری افزایش می‌یابد. به بیان دیگر نرخ باربرداری با افزایش زمان

جدول ۱ دامنه و سطوح پارامترها

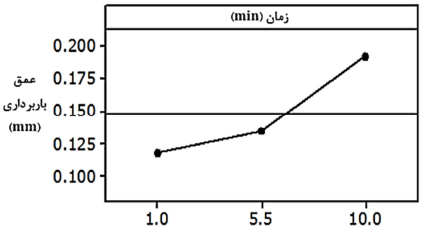
پارامتر	سطوح		
	کم	متوسط	زیاد
دما (°C)	۲۰	۳۰	۴۰
زمان (min)	۱	۵/۵	۱۰
HF (٪)	۲	۵	۸
HNO3 (٪)	۰	۱۵	۳۰



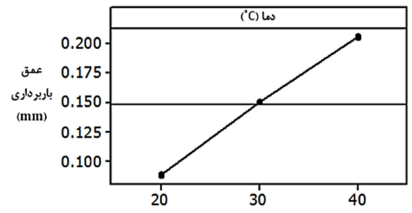
شکل ۱ نمونه آزمایش

جدول ۲ تعدادی از آزمایش‌ها و مقادیر خروجی

شماره آزمایش	HNO3 (٪)	HF (٪)	زمان (min)	دما (°C)	زبری سطح (µm)	عمق باربرداری (mm)
۱	۰	۲	۲۰	۱	۰/۹۶	۰/۰۳
۲	۱۵	۵	۲۰	۱	۱	۰/۰۶
۳	۳۰	۸	۲۰	۱	۰/۹۶	۰/۰۸
۴	۱۵	۲	۳۰	۱	۱/۰۱	۰/۰۶
۵	۳۰	۵	۳۰	۱	۱	۰/۰۸
۶	۰	۸	۳۰	۱	۰/۹۸	۰/۱۱
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
۲۶	۰	۵	۴۰	۱۰	۱/۰۳	۰/۲۴
۲۷	۱۵	۸	۴۰	۱۰	۰/۹۵	۰/۲۸



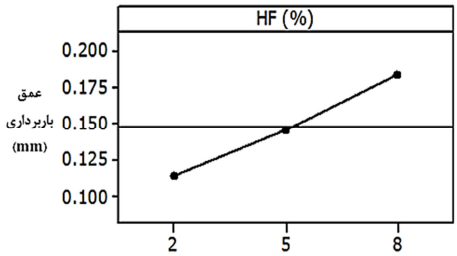
شکل ۲ تاثیر مدت زمان عملیات بر عمق باربرداری



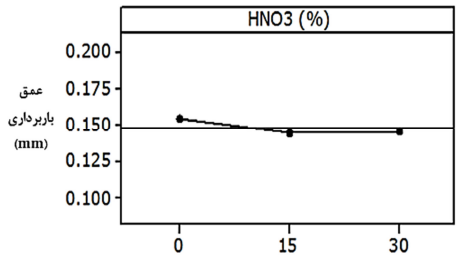
شکل ۳ تاثیر دمای عملیات بر عمق باربرداری

بیشتر می‌شود. علت این افزایش می‌تواند افزایش دمای محلول با افزایش زمان است که ناشی از گرما زا بودن واکنش می‌باشد. تاثیر دمای عملیات بر عمق باربرداری در شکل ۳ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که با افزایش دما هم عمق باربرداری افزایش می‌یابد، یعنی نرخ خوردگی با افزایش دما بیشتر می‌شود. این پدیده هم مربوط به ماهیت واکنش شیمیایی است که در اثر افزایش دما تسریع می‌شود.

در شکل‌های ۴ و ۵ به ترتیب تاثیر درصد اسیدهای HF و HNO3 در محلول شیمیایی بر عمق باربرداری نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که با افزایش غلظت HF عمق باربرداری بیشتر می‌شود. با توجه به واکنش شیمیایی طبق رابطه ۱ و ۲ عامل اصلی خورده شدن سطح قطعه اسید HF می‌باشد. بنابراین طبیعی است که با افزایش غلظت اسید، اتم‌های بیشتری فرصت واکنش پیدا می‌کنند در نتیجه نرخ خوردگی بیشتر می‌شود. در حالیکه مطابق شکل ۵ با افزایش درصد اسید HNO3 عمق باربرداری نه تنها زیاد نمی‌شود بلکه اندکی کاهش می‌یابد.



شکل ۴ تاثیر درصد اسید HF در محلول شیمیای بر عمق باربرداری



شکل ۵ تاثیر درصد اسید HNO3 در محلول شیمیایی بر عمق باربرداری

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-09-22]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.13.19.9]

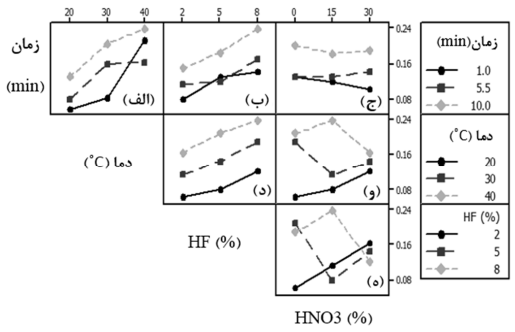
۴-۱-۲- تاثیرات متقابل

اثر متقابل پارامترهای ماشین‌کاری در تاثیر بر عمق باربرداری در شکل ۶ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که مطابق شکل۶-د درصد HF و دما با هم اثر متقابل ندارند یعنی در هر سه دمای ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درجه با افزایش درصد HF عمق باربرداری افزایش می‌یابد. در حالی‌که مطابق شکل ۶-ه درصد HF و HNO3 با هم اثر متقابل دارند، یعنی تاثیر افزایش درصد HNO3بر عمق باربرداری در درصدهای مختلف HF متفاوت است. به‌عنوان مثال در ۵ درصد HF با افزایش درصد HNO3 از ۱۵ به ۳۰ عمق باربرداری افزایش می‌یابد اما در ۸ درصد HF با افزایش درصد HNO3 از ۱۵ به ۳۰ عمق باربرداری کاهش می‌یابد. به همین ترتیب مطابق شکل‌های ۶- ب زمان- درصد HF و مطابق ۶- ج زمان- درصد HNO3 با هم اثر متقابل ندارند و در بقیه حالت‌ها یعنی ۶- الف زمان- دما ۶- و دما – درصد HNO3 با هم اثر متقابل دارند.

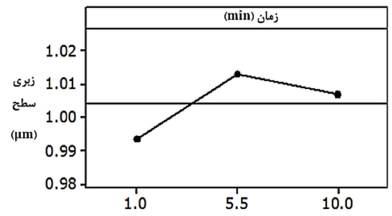
۴-۲- تاثیر پارامترها بر زبری سطح

۴-۲-۱- تاثیرات اصلی

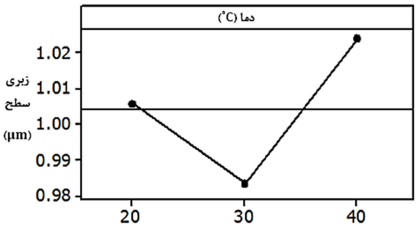
در شکل ۷ تاثیر مدت زمان عملیات بر زبری سطح نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که با افزایش زمان از ۱ دقیقه به ۵/۵ دقیقه زبری سطح مقداری افزیش می‌یابد و با افزایش زمان تا ۱۰ دقیقه زبری سطح مقداری کاهش می‌یابد. در شکل ۸ تاثیر دمای عملیات بر زبری سطح نشان داده شده است مشاهده می‌شود که با افزایش دما از ۲۰ به ۳۰ درجه زبری سطح کاهش می‌یابد و با افزایش دما تا ۴۰ درجه زبری سطح افزایش می‌یابد. در شکل‌های ۹ و ۱۰ به ترتیب تاثیر درصد اسیدهای HF و HNO3 را بر زبری سطح نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که تاثیر اسیدها هم بر زبری سطح روند افزایشی یا کاهشی ندارد. مطابق شکل های ۷، ۸ و ۱۰ تاثیر پارامترها بر زبری سطح روند صعودی یا نزولی ندارد و همچنین تاثیر پارامترها بر زبری سطح در محدوده متغیرها برای زمان حدود ۰/۰۳ میکرون، دما ۰/۰۴ میکرون، درصد اسید HF ۰/۰۳ میکرون و درصد اسید HNO3 حدود ۰/۰۲۵ میکرون هست بنابراین بیشترین تاثیر در اثر دما می باشد.



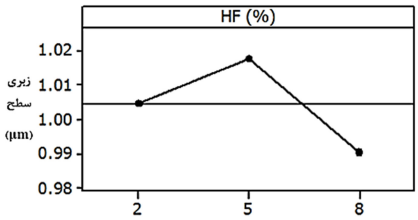
شکل ۶ اثر متقابل پارامترهای ماشین‌کاری در تاثیر بر عمق باربرداری



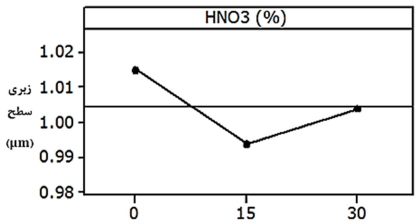
شکل ۷ تاثیر زمان عملیات بر زبری سطح



شکل ۸ تاثیر دمای عملیات بر زبری سطح



شکل ۹ تاثیر درصد اسید HF در محلول شیمیای بر زبری سطح



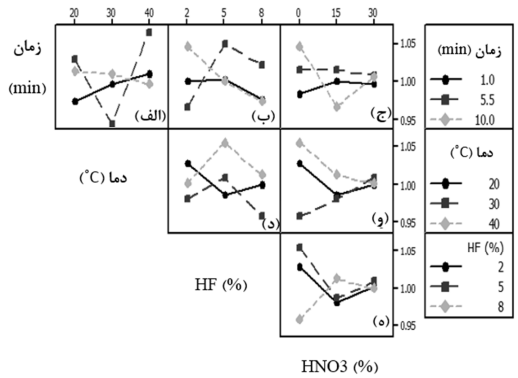
شکل ۱۰ تاثیر درصد اسید HNO3 در محلول شیمیای بر زبری سطح

۴-۲-۲- تاثیرات متقابل

اثر متقابل پارامترهای ماشین‌کاری در تاثیر بر زبری سطح در شکل ۱۱ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود همه پارامترها در تاثیر بر زیری سطح با هم اثر متقابل دارند. مثلاً در اثر متقابل دما و درصد HNO3 بر زبری سطح (شکل۶-و) مشاهده می‌شود که در دمای ۳۰ درجه با افزایش درصد HNO3، زبری سطح افزایش می‌یابد. اما در دمای ۴۰ درجه با افزایش درصد HNO3 زبری سطح کاهش می‌یابد. نکته‌ای که در سه نمودار ۶-ج، ۶-ه و ۶-و مشاهده می‌شود این است که در ۳۰ درصد HNO3 با تغییر هر سه پارامتر دیگر زبری سطح تغییر چندانی نمی‌کند.

۴-۳- بهینه‌سازی فرایند با استفاده از نمودارهای کانتوری

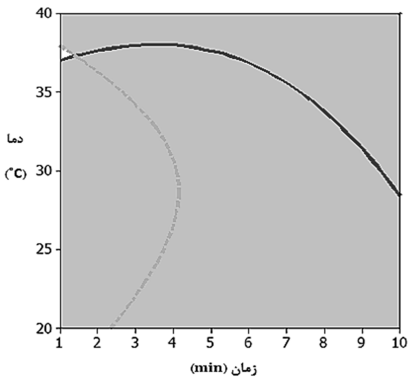
با فرض این که عمق باربرداری بین ۰/۱۵ تا ۰/۲۰ میلی‌متر و زبری سطح



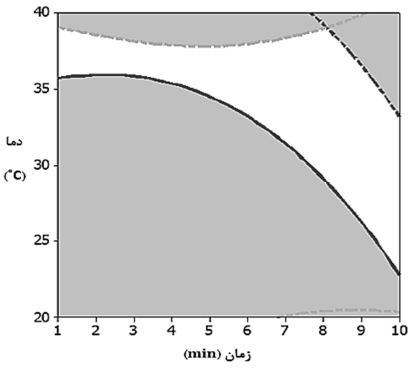
شکل ۱۱ اثر متقابل پارامترهای ماشین‌کاری در تاثیر بر زبری سطح

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-09-22]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.13.19.9]

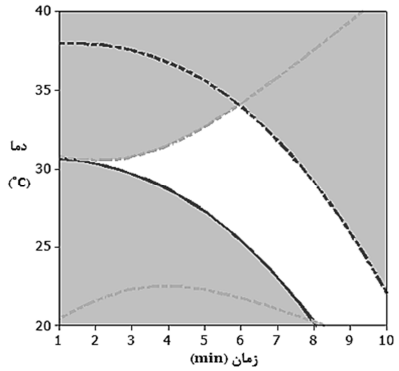
کمتر از ۱ میکرون باشد و با توجه به این که کنترل دما مشکل است، برای سه نوع درصد اسیدها، نمودارهای کانتوری روی هم افتاده دما- زمان به صورت شکل‌های ۱۲، ۱۳ و ۱۴ می‌شود. ناحیه سفید رنگ در داخل نمودارها محدوده پارامترهای دما و مدت زمان عملیات را برای زبری سطح کمتر از ۱ میکرون و عمق باربرداری ۰/۱۵-۰/۲ میلی‌متر نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که در شکل ۱۲ برای به ترتیب ۲ و ۰ درصد HF و HNO3 محدوده خیلی کوچکی برای دما و زمان عملیات وجود دارد. با توجه به مباحث مطرح شده در بخش ۲ در صورتی‌که از اسید HF بدون HNO3 استفاده شود، هیدروژن حاصل از این واکنش در فلز پایه جذب شود که منجر به کاهش مقاومت به شکست قطعه می‌شود. بنابراین از محلول HF به تنهایی برای ماشین‌کاری آلیاژ تیتانیم استفاده نمی‌شود. لذا این شرایط مناسب برای ماشین‌کاری نیست. در شکل ۱۳ برای به ترتیب ۵ و ۱۵ درصد HF و HNO3 محدوده مناسب برای دما و زمان عملیات نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که با کاهش دمای عملیات، مدت زمان مناسب عملیات افزایش می‌یابد. و برای هر دمایی در محدوده ۲۳ تا ۳۹ درجه، مدت زمان مناسب عملیات مشخص شده است. طبق این نمودار در دمای محیط ۲۰ درجه شرایط مطلوب ماشین‌کاری وجود ندارد. در شکل ۱۴ برای به‌ترتیب ۸ و ۳۰ درصد HF و HNO3 محدوده مناسب برای دما و زمان عملیات نشان داده شده است. در مقایسه با شکل ۱۳ می‌توان گفت که محدوده مناسب پارامترها مقداری محدودتر شده است ولی در دمای محیط ۲۰ درجه در این نمودار در مدت زمان عملیات ۸-۱۰ دقیقه شرایط مطلوب ماشین‌کاری حاصل می‌شود.



شکل ۱۲ نمودار کانتوری روی هم افتاده دما-زمان برای ۲ درصد HF و ۰ درصد HNO3



شکل ۱۳ نمودار کانتوری روی هم افتاده دما-زمان برای ۵ درصد HF و ۱۵ درصد HNO3



شکل ۱۴ نمودار کانتوری روی هم افتاده دما-زمان برای ۸ درصد HF و ۳۰ درصد HNO3

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله تاثیر پارامترهای درصد اسیدها، دما و زمان عملیات برای ماشین‌کاری شیمیایی آلیاژ Ti-6Al-4V با روش طراحی و انجام آزمایش‌های تجربی بررسی شد. سپس با استفاده از روش روی هم قراردادن نمودارهای کانتوری، محدوده مناسب پارامترهای ماشین‌کاری برای زبری سطح و عمق باربرداری مطلوب جهت حذف لایه آلفای سطحی استخراج شد. نتایج حاصل را می‌توان به صورت زیر جمع‌بندی کرد.

۱. افزایش دما در یک مدت زمان معین باعث افزایش عمق باربرداری و نرخ باربرداری می‌شود.

۲. با افزایش مدت زمان عملیات به علت گرمازا بودن واکنش و افزایش دما، عمق باربرداری با سرعت بیشتری افزایش می‌یابد و به بیان دیگر نرخ باربرداری با افزایش زمان هم بیشتر می‌شود.

۳. با افزایش غلظت HF عمق باربرداری بیشتر می‌شود ولی با افزایش درصد HNO3 عمق باربرداری نه تنها زیاد نمی‌شود، بلکه اندکی کاهش می‌یابد.

۴. بررسی اثر متقابل پارامترها نشان می‌دهد که اکثر پارامترهای ماشین‌کاری در تاثیر بر عمق باربرداری و زبری سطح با هم اثر متقابل دارند و با استفاده از نمودارهای اثرات اصلی و متقابل نمی‌توان محدوده مناسب برای پارامترها بدست آورد.

۵. با استفاده از روی هم قرار دادن نمودارهای کانتوری محدوده مناسب برای شرایط ماشین‌کاری شیمیایی جهت عمق باربرداری ۰/۱۵-۰/۲ میلی‌متر و زبری سطح کمتر از ۱ میکرون بدست آمد.

۶- مراجع

[1] M. Landgworthy, *Chemical milling*, nontraditional Machining Process, machining ASM Hand Book, 1994.

[2] K. Takahashi, T. Yamazaki, T. Nishijima, H. Shimizu, Effect of grain size and initial surface condition on glossiness and whiteness of the pickled titanium surface, *Nippon steel technical report*, No.85, 2002.

[3] S. Ban, Y. Iwaya, H. Kono, H. Sato, Surface modification of titanium by etching in concentrated sulfuric acid, *dental materials*, Vol.22, pp. 1115-1120, 2006.

[4] S. Ho, T. Nakahara, G. D. Hibbard, Chemical machining of nanocrystalline Ni, *journal of materials processing technology.* Vol.208, pp. 507-513, 2008.

[5] M. Hadavifar, V. Alimirzaloo, M. Soleimanpoor, K. Karami, Investigation and optimization of the material removal rate in the pickling process of Ti6Al4V gas turbine motor compressor blade using the taguchi method, National conference of mechanic, Shiraz, 2013. (In Persian)

[6] V. Alimirzaloo, *Optimization of the Final Forging Process of the Compressor Blade of an Aerial Motor* ,Phd thesis, Amirkabir university of technology, 2011. (In Persian)

[7] W. C. Say, Y. Y. Tsai, Surface characterization of cast Ti-6Al-4V in hydrofluoric-nitric pickling Solutions, *Surface and Coatings Technology*, Vol.176, pp. 337-343, 2004.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-09-22]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.13.19.9]

[8] K. Mutombo, P. Rossouw, Effect of pickling solution on the surface morphology of Ti6Al4V alloy investment cast, *Titanium 2011*, San Diego California, 2011.
[9] V. Alimirzaloo, B. Khanahmadloo, Investigation of the chemical machining for removing of the alpha-case due to the hot forging of Ti-6Al-4V aerofoil, *journal Mechanics and Aerospace*, Vol. 10, No. 2, 2015. (In Persian)
[10] H. W. Yankee, *Manufacturing processes*, prentice, Hall, INC, chapter 22, chemical milling , pp.288-302, 1979.
[11] D. J. Brimm, Unistructure-A new Concept for Light Weight Integrally Stiffened Skin Stractures, SAE Technical Paper 801231, *society of automotive Engineers*, 1980.
[12] Minitab software, V15, *user's guide*, technical manual, 2008.
[13] R. Ranjitk, *Design Of Experiment Using the Taguchi approach*, Wiley, 2001.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-09-22]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.13.19.9]