طراحی فرآیند پولیش میانی برای بهینه سازی سطح فلز مس

کوروش ساسانی، میروحید شفیعی جود

مرکز ملی علوم و فنون لیزر ایران

چکیده - فرآیندهای پرداخت سطحی، در ساخت ادوات نیمه‌هادی و قطعات اپتوالکترونیکی دارای اهمیت ویژه‌ای هستند که از جمله آنها می‌توان به فرآیندهای سایش و پولیش کاری اشاره کرد. کیفیت انجام این فرآیندها بر روی فلز مس نقش به سزایی در تولید چاهک‌های گرمایی دارند. با توجه به اهمیت ساخت و تولید بهینه چاهک‌های گرمایی از جنس فلز مس، فرآیند دیگری مورد نیاز است تا بتوان عملیات پرداخت نهایی بر روی فلز مس را با کیفیت مطلوب‌تری انجام داد. در همین راستا فرآیند پولیش میانی معرفی شده است تا به کمک آن بتوان عمل بهینه سازی سطح و ویژگیهای سطحی را انجام داد. در کنار فرآیند سایش که هدف از آن کاهش ضخامت فلز مس است، و همچنین فرآیند پولیش کاری که با هدف صیقل دهی و آیینه‌ای کردن سطح انجام می‌گیرد، فرآیند پولیش میانی به منظور ایجاد سطحی با سختی کمتر و در نتیجه نرمی زیاد و همینطور تختی و همواری ایده‌آل در بین دو فرآیند مذکور قابل انجام است.

کلید واژه : پولیش میانی، مس. پولیش کاری، تختی، سختی سطحی

Design Of Experiment(DOE) Inter-Polishing For Improvement Of Cu Surface

Kourosh Sasani, Mir Vahid Shafiee Joud

Iranian National Center for Laser Science and Technology

Abstract- Among the surface finishing processes lapping and polishing are very important for manufacturing and fabricating semiconductor and optoelectronic devices. For copper, the quality of these processes has a critical role in the performance of heatsinks. In this paper an intermediate process named “inter-polishing” was introduced. This process placed after lapping and before polishing. The result is obtaining a surface with more flatness and less hardness that are key parameters to achieve an ideal surface after polishing.

Keywords: Inter-Polishing, Cu, Polishing, Flatness, Hardness

[Downloaded from opsi.ir on 2026-01-30]

۱- مقدمه

از فرآیندهایی نظیر سایش و نازک کاری و همینطور پولیش کاری جهت ساخت و تولید سطوح صاف و صیقلی استفاده می‌شود. این فرآیندها جزو دقیق‌ترین فرآیندهایی هستند که برای پرداخت و تکمیل سطوح مکانیکی، الکترونیکی یا قطعات نیمه‌هادی مورد استفاده قرار می‌گیرند. علاوه بر این، بدست آوردن سطوح تخت و به حداقل رساندن ضایعات سطوح مختلف نیز از رایج ترین موارد استفادهٔ این دو فرآیند هستند[۱].

با توجه به اینکه در مورد فلز مس، پس از انجام فرآیند سایش و نازک کاری، سطح مس تختی و همواری لازم را برای انجام فرآیند پولیش کاری ندارد، چنانچه بدون انجام فرآیند میانی دیگری سطح مس را مستقیماً پولیش دهیم نتیجه کار چندان مطلوب نخواهد بود[۲]. برای رفع این مشکل، با انجام فرآیندهای مختلف بر روی فلز مس، پس از انجام فرآیند سایش و نازک کاری، توانستیم به فرآیند ایده آلی جهت افزایش تختی و هموار سازی سطح مس دست یابیم. در ادامه به معرفی و تشریح این فرآیند که تحت عنوان "پولیش میانی" نامگذاری شده است می‌پردازیم.

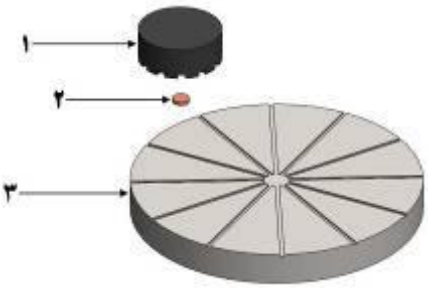
۲- روش اجرایی

ابتدا ضخامت چهار نقطه از محیط مس به همراه مرکز آن را اندازه‌گیری می‌کنیم. سپس فلز مس را پس از تمیزکاری با دقت بوسیلهٔ قرص واکس بر روی وزنهٔ استیل می‌چسبانیم. در این حالت نمونه آمادهٔ قرارگیری بر روی صفحهٔ دستگاه پولیش میانی است.

وزنهٔ استیل در حقیقت باعث حرکت‌های دورانی و موضعی مس و ساییده شدن آن بر روی سطح صفحه پولیش میانی می‌شود.

در ادامه وزنه استیل را بر روی صفحه پولیش میانی قرار داده و با توجه به شرایط مورد نظر، دستگاه را بوسیلهٔ کنترلرها تنظیم کرده، آن را روشن می‌کنیم. این تنظیمات شامل سرعت دوران صفحه، سرعت چرخش وزنه و زمان فرآیند است[۱].

انجام فرآیند پولیش میانی بر روی سطح فلز مس، عملی نسبتاً آرام و تدریجی است. در این فرآیند محلول پولیشی با غلظت ۲۰ درصد حاوی آب DI و سمباده $Fe_3Al_2(SiO_4)_3$ را در دستگاه چرخنده ریخته و دستگاه را روشن می‌کنیم. این عمل از ته‌نشین شدن محلول جلوگیری کرده و انتقال محلول بر روی صفحه پولیش میانی، که از طریق شلنگ متحرک انجام می‌پذیرد را تسهیل می‌کند تا محلول به راحتی بین سطح مس و صفحهٔ پولیش قرارگیرد.



شکل ۱: ترتیب قرار گیری اجزای فرآیند بر روی صفحه پولیش میانی. نواحی ۱، ۲ و ۳ به ترتیب عبارتند از: وزنه استیل، قرص مس، صفحه پولیش میانی

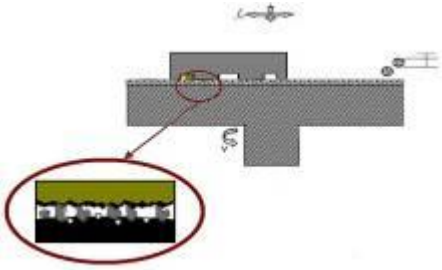
مدت زمانی که برای پولیش میانی سطح یک مس مورد نیاز است به عوامل زیر بستگی دارد[۳]:

- غلظت محلول حاوی آب DI و سمباده $Fe_3Al_2(SiO_4)_3$
- مش بندی و اندازهٔ دانه‌های مادهٔ مورد استفاده بعنوان سمباده
- ابعاد مس انتخابی
- سرعت چرخش صفحهٔ پولیش میانی
- سرعت چرخش وزنه استیل در حرکت وضعی به دور خود

نیروهای وارده بر مس در اثر چرخش وزنه استیل، صفحه پولیش و حرکت انتقالی وزنه بر روی این صفحه باعث ساییده شدن ذراتی از سطح مس شده که همراه با محلول پولیش از شیارهای صفحه مورد نظر خارج می‌شوند.

پس از اتمام فرآیند، باید سطح مس پولیش شده با آب DI بطور کامل شسته شود[۱]. سپس تختی و سختی آن را اندازه گرفته تا مشخص شود تا چه حد این دو پارامتر برای انجام فرآیند بعدی(پولیش نهایی) بهینه شده‌اند. در صورت ایده‌آل بودن نتیجه، قطعه مسی برای انجام فرآیند پولیش کاری نهایی آماده می‌شود. در غیر اینصورت فرآیند پولیش میانی را مجدداً تکرار کرده تا نتایج مطلوب بدست آید.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-01-30]



شکل ۲: نیروهای اعمالی بر روی قطعه مسی

۳- نتایج آزمایش‌های انجام شده بر روی سطح نمونه اصلی

آزمایش اندازگیری سختی سطح (Hardness Test) :

به منظور بررسی سختی سطوحی که تحت فرآیند پولیش میانی قرار گرفته بودند، آزمایش میکروسختی سنجی بر روی سطح نمونه مسی قبل و بعد از انجام فرآیند انجام گرفته است. این آزمایش تحت استاندارد ASTME384-05a به روش ویکرز بر روی سه سطح مختلف از فلز مسی که فرآیند بر روی آن انجام نشده و سه نمونه از سطح مسی که تحت فرآیند پولیش میانی قرار گرفته‌اند، انجام شده است. همانگونه که نتایج آزمایش نشان می‌دهند سختی سطح نمونه‌های مسی بعد از انجام فرآیند پولیش میانی بر روی آنها به مقدار قابل توجهی کاهش یافته است. همان طور که در بخش‌های قبل عنوان شد، این موضوع باعث می‌شود قابلیت پولیش دهی نهایی بر روی این سطوح افزایش یافته، و سطح مورد نظر برای پولیش نهایی جهت رسیدن به کیفیت مطلوب آماده گردد[۴]. نتایج این آزمایش در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است.

جدول ۱: نتایج سختی سنجی قبل از انجام فرآیند پولیش میانی

موقعیت سختی سنجی	نیروی اعمالی(grf)	عدد سختی سطح (HV)			سختی میانگین
		نمونه ۱	نمونه ۲	نمونه ۳	
سطح	۱۰۰	۱۵۱	۱۴۸	۱۴۷	۱۴۸

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(Xi - \bar{x})^2}$$

جدول ۲: نتایج سختی سنجی بعد از انجام فرآیند پولیش میانی

موقعیت سختی سنجی	نیروی اعمالی(grf)	عدد سختی سطح (HV)			سختی میانگین
		نمونه ۱	نمونه ۲	نمونه ۳	
سطح	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۵	۱۰۷	۱۰۴

آزمایش اندازگیری تختی سطح (Flatness Test):

به منظور بررسی تختی سطوحی که تحت فرآیند پولیش میانی قرار گرفته بودند، آزمایش سنجش تختی و همواری بر روی سطح نمونه مسی قبل و بعد از انجام فرآیند انجام گرفته است. این آزمایش بر روی نقاط مختلفی از سطح فلز مسی که فرآیند بر روی آن انجام نشده و همینطور بر روی نقاط مختلفی از دو نمونه از سطح مسی که تحت فرآیند پولیش میانی قرار گرفته‌اند، انجام شده است.

آزمایش تختی سطح توسط دستگاه CMM، انجام می‌شود. در این روش، بر روی هر کدام از نمونه‌ها چند نقطه انتخاب می‌شوند. سپس اندازه‌گیری با انتخاب یک نقطه بعنوان نقطه مرجع (نقطه شماره ۱)، با مقدار صفر، شروع و با اندازه گیری ارتفاع هشت نقطه دیگر نسبت به نقطه مرجع انجام می‌شود. با توجه به شکل دایره‌ای نمونه‌ها، نقاط در دو مؤلفه متغیر شعاعی و زاویه‌ای انتخاب شدند. نقاط انتخابی به ترتیب در زوایای ۰، ۹۰ ، ۱۸۰ و ۲۷۰ در شعاع‌های صفر(مرکز دایره)، ۵/۷۵ و ۱۱/۵ میلیمتر از مرکز انجام شده است.

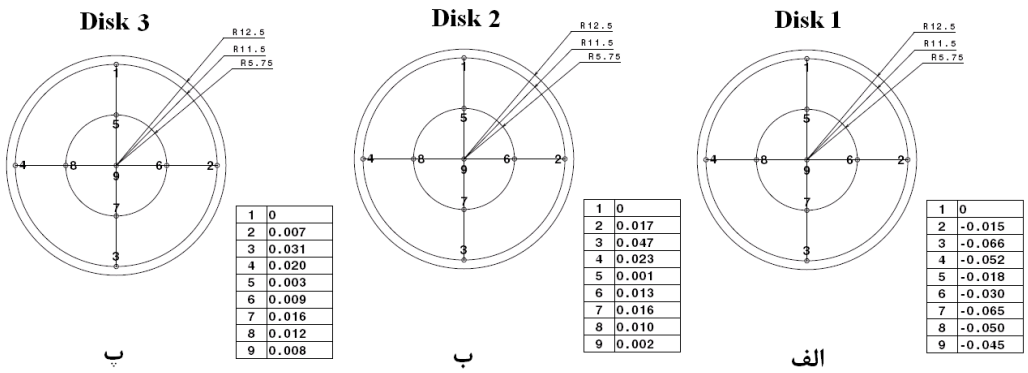
میانگین، که همان مقدار پراکندگی از مقدار متوسط است به صورت زیر

$$\bar{x} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} Xi$$

و انحراف معیار، که همان ریشه دوم واریانس است نیز با فرمول زیر از نتایج نمونه‌های آزمایش شده محاسبه می‌شوند.

که Xi، x و N به ترتیب میزان تختی در هر اندازه گیری، تختی میانگین و تعداد نقاط اندازه گیری شده هستند.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-01-30]



شکل۳: جایگاه ۹ نقطه اندازه گیری شده به همراه نتایج مربوطه

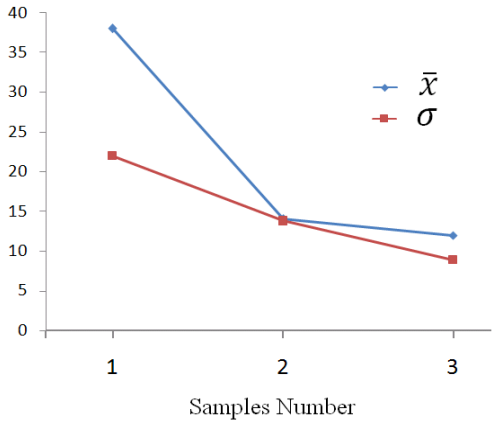
در شکل ۳ نقاط اندازه گیری تختی سطحی فلز مس به همراه اطلاعات بدست آمده از این آزمایش نشان داده شده است. میانگین، انحراف معیار و اختلاف سطوح در نمونه‌های مسی در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول۳: میانگین، انحراف معیار و اختلاف سطح در نمونه‌های مسی

	Disk 1	Disk 2	Disk 3
$\bar{x}$	۳۷/۹	۱٤/۳	۱۱/۸
σ	۲۲/۰	۱۳/۸	۸/۹
$X_{max} - X_{min}$	٦٦	٤۷	۳۱

همانطوریکه در شکل ۴ نیز مشاهده می‌شود مقدار انحراف معیار از نمونه ۱ تا ۲ به مقدار زیادی کاهش داشته است. ولی این کاهش در مورد نمونه‌های ۲ و ۳ بسیار اندک است. کاهش این پارامتر به این معناست که اعداد پراکندگی کمتری نسبت به مقدار میانگین دارند و در واقع تختی سطح افزایش یافته است. از آنجا که بر روی نمونه ۱، تنها فرآیند سایش انجام گرفته ولی نمونه‌های ۲ و ۳ تحت فرآیند پولیش میانی نیز قرار گرفته‌اند، بنابراین نزدیک بودن تختی سطحی نمونه‌های ۲ و ۳، منطقی است. همچنین با مقایسه اختلاف بیشینه و کمینه مقادیر جدول ۳، این روند نیز رو به کاهش بوده است بطوریکه کاهش اختلاف ارتفاع بالاترین قله تا عمیق‌ترین دره موجود بر روی دیسک ۳ را نشان می‌دهد.

مقادیر بدست آمده در جدول ۳ نمایانگر کاهش انحراف از معیار و تختی مطلوب‌تر پس از انجام فرآیند پولیش میانی است.



شکل ۴: نمودار مقایسه‌ای میانگین و انحراف از معیار

۴- نتیجه‌گیری

می‌توان نتیجه گرفت که با انجام فرآیند پولیش میانی بر روی سطح فلز مس، دو پارامتر سختی و تختی سطح تحت تأثیر قرار گرفته بطوریکه سختی سطحی کاهش یافته و تختی و همواری سطح افزایش می‌یابد. از آنجایی که بهینه سازی این دو پارامتر نقش مهمی در بالا بردن کیفیت سطح مورد نظر دارند می‌توان با انجام فرآیند پولیش میانی بر روی فلز مس، سطح مورد نظر را با کیفیت مطلوب‌تری برای انجام پولیش نهایی محیا کرد.

مراجع

[1] Handbook of Lapping and Polishing, Geoffrey Boothroyd, CRC Press, 2007.
[2] W.J. Zong, D. Li, K. Cheng,b, T. Sun, H.X. Wang, Y.C. Lian, The material removal mechanism in mechanical lapping of diamond cutting tools, International Journal of Machine Tools & Manufacture 45 (2005) 783–788
[3] J. Kang, M. Hadfield, Examination of the material removal mechanisms during the lapping process of advanced ceramic rolling elements, Wear 258 (2005) 2–12
[4] J.L. Yuan, P. Zhao, J. Ruan, Z.X. Cao, W.H. Zhao, T. Xing, Lapping and polishing process for obtaining super-smooth surfaces of quartz crystal, Journal of Materials Processing Technology 138 (2003) 116–119

[Downloaded from opsi.ir on 2026-01-30]