



Fabrication and Investigation of Mechanical Properties of Copper Alloy Matrix Composite Reinforced with Micron Diamond Particles

Ali Alizadeh^{*1}, Mohsen Heydari Beni², Ramin Soltani Bidar³, Jafar Eskandari Jam⁴

1. Professor, Faculty of Materials and Manufacturing Technologies, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran.
2. Ph.D. Student, Faculty of Materials and Manufacturing Technologies, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran.
3. M.Sc. Graduate, Faculty of Materials and Manufacturing Technologies, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran.
4. Professor, Faculty of Materials and Manufacturing Technologies, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran.

Abstract

The aim of this research is to produce a copper alloy matrix composite reinforced with micron diamond particles and to investigate the mechanical properties of this composite. One of the most important issues in the manufacture of this type of composite is to optimize the strength of diamond particles in the metal matrix and the intended wear properties of this type of composite. The composite powders were produced using high-energy (abrasive) milling and hot-press sintering. In order to investigate the flexural strength, hardness and wear properties, samples were manufactured by adding different metals to the matrix, different milling conditions and different hot-pressing parameters. The aim of this research is to produce a copper alloy matrix composite reinforced with micron diamond particles and to investigate the mechanical properties of this composite. One of the most important issues in the manufacture of this type of composite is to optimize the strength of diamond particles in the metal matrix and the intended wear properties of this type of composite. The composite powders were produced using high-energy (abrasive) milling and hot-press sintering. In order to investigate the flexural strength, hardness, and wear properties, samples were fabricated by adding different metals to the matrix, using different milling conditions, and using different hot pressing parameters.

Keywords

Hierarchical Thin-Walled Structures
ABS Polymer
3D Printer
Lateral Impact
Energy Absorption

Received: 08.04.2024

Revised: 10.08.2024

Accepted: 10.20.2024

*Corresponding Author

Ali Alizadeh

Email

a_alizadeh@mut.ac.ir

1- Introduction

Thin wall structures are one of the most efficient energy absorbing systems in various industries, such as automotive, railway and military, due to their lightness, suitable energy absorption capacity and high energy absorption to weight ratio, in order to protect the lives of passengers as well as pedestrians. Pedestrians are considered during accidents or protection of equipment and devices.

Zhang et al. [1] worked on the amount of energy absorption in linear and tubular structures under axial destruction. In this research, which deals with the simulation and experimental testing of parts with a special geometry, circular aluminum tubes are arranged next to each other in different states

and are subjected to quasi-static load. In addition, the weight of all samples is considered the same for a better comparison.

Li et al. [2] worked on the energy absorption characteristics of series structures under axial and diagonal loads. In this research, the samples were made by aluminum round tubes. By using these pipes, the cross section of the structures has become triangular, square and hexagonal. Also, by using more pipes, the mentioned structures have been optimized.

Ngoc et al. [3] have worked on the energy absorption characteristics of square series structures under axial load. The design of these structures was



inspired by the internal structure of bone and bamboo. In this research, first the samples were simulated by Abaqus software and then they were verified by theoretical method.

According to the conducted studies, in most of them, especially in thin-walled structures, the tests performed were quasi-static, and the response of energy absorbers to impact has been investigated less. Also, in the articles that have investigated the impact test, they have focused more on the axial impact mode. Also, the material of the examined samples was mainly made of metal, which cannot be used in all conditions due to the high weight and special physical conditions of metals. However, the case that is noteworthy in the above studies is the lack of examination of multicellular thin-walled structures with mesh and different geometries and made of polymer under lateral impact load. Therefore, in this study, this issue has been investigated.

2- Modeling and formulation

In this study, a total of eight thin-walled structures made of ABS and subjected to lateral impact have been investigated. ABS polymer has been used to make samples by 3D printer. Also, these parts were printed by Novin Negar Additive Manufacturing Company and by Kitek M1 machine. These samples were drawn under the ASTM D638 standard in SolidWorks software and then printed. The simulations of this project have been carried out by Abaqus software. After the end of the simulation, by doing independence from the mesh, the mesh with dimensions of 0.8 mm and type S4R was selected for different samples and the comparison of the results of the samples with each other has been discussed in terms of energy absorption characteristics. For the experimental test process, a weight drop test machine was used. In order to perform experimental tests, at first, the set of weights is set in such a way that their total weight is equal to 6.615 kg. Also, the striking surface is considered to be flat so that the force enters the upper surface of the parts in a wide and equal manner. Two samples were made from each of the samples and a total of 8 tests were performed. By this device, the command to drop the weight is sent

and the weight collides with the samples. As a result, the amount of shrinkage due to plastic deformation and the performance of the samples against impact can be investigated. During the descent of the weight, the data of the acceleration of the weight was entered into the computer by the sensor and the acceleration-time graph of the weight was extracted.

3- Results

1HR16 sample has the highest amount of energy absorption in the equilibrium distance (at $x=3.15$ mm in numerical mode and at $x=2.88$ mm in experimental mode). Also, sample 1HQ6 has the lowest amount of absorbed energy in the equilibrium distance in numerical mode and sample 1HR12 has the lowest value in experimental mode. Considering that samples 1HQ6 and 1HQ8 have square houses and samples 1HR12 and 1HR16 also have rectangular houses, the amount of energy absorption in the equilibrium distance in the experimental state for sample 1HQ8 is 5% more than the sample is 1HQ6 and the sample 1HR16 absorbs 33% more energy than the sample 1HR12. In numerical mode, samples 1HQ8 and 1HR16 have more energy absorption.

In order to make a better comparison between these 8 samples, it should be noted that the amount of length change in the amount of absorbed energy is an effective factor, so this parameter should be compared in equilibrium conditions for all 8 existing samples. In order to do this, considering the minimum amount of length change that belongs to the 1HR16 sample, the amount of length change in which the absorbed energy is measured is considered equal to 3.15 mm.

In these simulations, an impact with an energy of 25 joules has been applied and the amount of total absorbed energy in all structures is more than 95% of the applied energy. Also, according to the values of absorption energy at a distance of $x=3.15$ mm, which is in equilibrium conditions for all 8 samples, it can be seen that sample 1HR16 is the best sample in terms of energy absorption. Sample 1HR16 has the highest value and sample 2H2Q8 has the lowest average crushing force. The amount of crushing efficiency for an ideal energy absorber is 1 (100%), but achieving this number is very difficult. As a

result, according to the results, sample 1HR16 has the best efficiency of crushing force among all samples. According to the numerical and experimental results and their interpretation, it is clear that the sample 1HR16 is the best sample to be used as an energy absorber. It was also observed that with the increase in the number of houses in each row, the energy absorption properties and parameters improve, and in general, the rectangular house samples are better energy absorbers than the similar square house samples.

4- conclusion

The purpose of this study was to investigate numerically and experimentally the destruction of thin-walled multi-cell quadrangular structures made by 3D printers due to lateral impact. Below is a summary of the results of numerical simulations and experimental tests.

- In general, and according to the results of simulations and experimental tests, by increasing the number of houses in each sample and reducing the wall thickness of the samples in order to keep the weight, the amount of energy absorption, the average crushing force and the efficiency of crushing force increases. Also, the amount of change in length and shrinkage of each sample decreases with the increase in the number of houses.
- Considering that the rectangular house samples were created by adding a horizontal reinforcement to the square house samples, it can be seen that the amount of energy absorption in the equilibrium distance, the average crushing force and the energy efficiency The flattening of rectangular samples, like any square sample, has increased.
- By increasing the number of square houses from 6 to 8, the amount of energy absorption has increased by 5%, the average crushing force has increased by 15%, and the crushing force efficiency has increased by 30%.

- By increasing the number of rectangular houses from 12 to 16, the amount of energy absorption has increased by 16%, the average crushing force has increased by 35%, and the crushing force efficiency has increased by 47%.
- By converting a sample of 6 square houses to a sample of 12 rectangular houses, the average crushing force increases by about 7% and the efficiency of crushing force increases by 20%.
- By converting a sample of 8 square houses to a sample of 16 rectangular houses, the average crushing force increases by 30% and the crushing force efficiency increases by 37%.
- By adding inner layers to the samples, the values of energy absorption parameters decrease.
- The smaller the amount of shrinkage (change in length) of the sample under impact, the greater the maximum shrinkage force and resistance of the sample to impact. According to these points and results, it is obvious that sample 1HR16 is the best energy absorber among these samples.

5- References

- [1] L. Zhou, J. Liu, R. Ding, J. Cao, K. Zhan, B. Zhao, "A review of diamond interfacial modification and its effect on the properties of diamond/Cu matrix composites" *Surfaces and Interfaces*, Vol. 40, doi.org/10.1016/j.surfin.2023.103143, 2023.
- [2] J. Sun, J. Zang, H. Li, X. Feng, Y. Shen, "Influence of diamond content and milling duration on microstructure and thermal conductivity of Ti-coated diamond/copper composite coating on copper substrate" *Materials Chemistry and Physics*, Vol. 259, doi.org/10.1016/j.matchemphys.2020.124017, 2021.

-
- [3] Z. Xie, H. Guo, W. Xiao, X. Zhang, S. Huang, M. Sun, H. Xie, "Interfacial structures and their effect on thermal conductivity and mechanical properties of diamond/Cu-B composites" Transactions of Nonferrous Metals Society of China, Vol.34(1), Issue 1, doi.org/10.1016/S1003-6326(23)66395-2, 2024.
- [4] C. Wei, X. Wang, J. Wen, Q. Wang, Z. Donga, "Interface improvement of diamond/copper composites through a low-temperature high-efficiency coating method" Thin Solid Films, Vol.804, doi.org/10.1016/j.tsf.2024.140486, 2024.
- [5] K. Lu, C. Wang, H. He, X. Fan, F. Chen, F. Qi, C. Wang, "Numerical simulation and experimental investigation on heat transfer and hydraulic characteristics of rectangular microchannel heat sinks using high thermal conductivity diamond/copper composites, Diamond and Related Materials, Vol.147, doi.org/10.1016/j.diamond.2024.111371, 2024.
- [6] H. Okamoto, M. E. Schlesinger and E. M. Mueller, eds 2016 ASM Handbook: Alloy Phase Diagrams (Materials Park, Ohio: ASM International).
- [7] P. Vityaz, C. Ковалева, V. Zhornik, T. Grigoreva, N. Lyakhov, "Mechanical Alloying of Copper- or Iron-Based Metallic Binders for Diamond Tools" Powders journal, Vol.2, pp.403-420, 2023.



ساخت و بررسی خواص مکانیکی کامپوزیت‌های زمینه آلیاژهای مس تقویت‌شده با ذرات الماس میکرونی

علی علیزاده^{۱*}، محسن حیدری بنی^۲، رامین سلطانی بیدار^۳، جعفر اسکندری جم^۴

۱- استاد، مجتمع دانشگاهی مواد و فناوری‌های ساخت، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران.

۲- دانشجوی دکتری، مجتمع دانشگاهی مواد و فناوری‌های ساخت، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران.

۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، مجتمع دانشگاهی مواد و فناوری‌های ساخت، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران.

۴- استاد، مجتمع دانشگاهی مواد و فناوری‌های ساخت، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران.

کلمات کلیدی

کامپوزیت
تقویت‌کننده الماس
آلیاژ مس
ریزساختار
استحکام خمشی
سختی سنجی

چکیده

کامپوزیت‌های زمینه آلیاژهای مس تقویت‌شده با ذرات الماس میکرونی یک نوع از مواد کامپوزیتی هستند که از آلیاژهای مس به‌عنوان فاز زمینه و ذرات الماس میکرونی به‌عنوان تقویت‌کننده استفاده می‌کنند. اندازه ذرات الماس معمولاً در محدوده میکرومتر است که باعث می‌شود تأثیر قابل‌توجهی بر روی خواص مکانیکی، حرارتی و الکتریکی کامپوزیت بگذارند. در پژوهش حاضر نمونه‌های کامپوزیتی با آلیاژهای مختلف مس و تقویت‌کننده‌ی الماس با پوشش تیتانیوم ساخته شد. هدف از پژوهش حاضر، تولید کامپوزیت زمینه آلیاژهای مس تقویت‌شده با ذرات الماس میکرونی و بررسی خواص مکانیکی این کامپوزیت است؛ بنابراین ریزساختار، استحکام خمشی و خواص سایشی آن‌ها بررسی گردید. نتایج نشان داد که حضور عنصر کبالت در بین عناصر مس و قلع باعث افزایش دمای ذوب ترکیب و تغییرات فازی و ساختاری نمونه‌ها شده و همین موضوع باعث به وجود آمدن ساختار متناسب برای انتخاب زمینه کامپوزیت شده است. اتصال الماس در زمینه مس-قلع-کبالت اتصال بهتری نسبت به الماس در زمینه مس-قلع دارد. همچنین با اضافه کردن الماس به ساختار کامپوزیت، استحکام خمشی نمونه ۴۹/۶٪ کاهش یافت. در حالی که با افزودن الماس با پوشش تیتانیوم استحکام خمشی ۱۸٪/۲ نسبت به نمونه دارای الماس بدون پوشش افزایش پیدا کرده است. با اضافه کردن ذرات تقویت‌کننده به نمونه‌هایی که کبالت در ساختار زمینه‌ی آن‌ها وجود دارد میزان ضریب اصطکاک کاهش یافت. همچنین نمونه دارای الماس نسبت به نمونه‌های فاقد الماس مقاومت سایشی خوبی داشته و ذرات الماس در زمینه کامپوزیت باقی ماندند.

دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۵/۱۴

بازنگری مقاله: ۱۴۰۳/۰۷/۱۷

پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۷/۲۹

*نویسنده مسئول

علی علیزاده

ایمیل

a_alizadeh@mut.ac.ir

۱- مقدمه

افزایش می‌دهند. همچنین دارای هدایت حرارتی بسیار بالایی هستند، بنابراین ترکیب آن‌ها با مس می‌تواند منجر به تولید موادی با هدایت حرارتی عالی شود که در صنایع الکترونیک و انتقال حرارت بسیار مفید است. مس به‌خودی‌خود دارای هدایت الکتریکی بالاست و افزودن ذرات الماس می‌تواند باعث بهبود برخی ویژگی‌های الکتریکی دیگر شود. افزودن ذرات الماس به آلیاژ مس، مقاومت به سایش کامپوزیت را به طرز چشمگیری افزایش می‌دهد. ترکیب مس با الماس باعث می‌شود که این کامپوزیت‌ها در عین داشتن استحکام بالا، سبک باقی بمانند. ذرات الماس می‌توانند مقاومت به خوردگی را نیز افزایش دهند که به

کامپوزیت‌های زمینه آلیاژهای مس تقویت‌شده با ذرات الماس میکرونی یک نوع از مواد کامپوزیتی هستند که از آلیاژهای مس به‌عنوان فاز زمینه و ذرات الماس میکرونی به‌عنوان تقویت‌کننده استفاده می‌کنند. این کامپوزیت‌ها به دلیل ویژگی‌های منحصربه‌فرد ذرات الماس و خاصیت‌های عالی مس، در کاربردهای مختلف صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. اندازه ذرات الماس معمولاً در محدوده میکرومتر است که باعث می‌شود تأثیر قابل‌توجهی بر روی خواص مکانیکی، حرارتی و الکتریکی کامپوزیت بگذارند. ذرات الماس به دلیل سختی بالای خود، مقاومت به سایش و سختی کلی کامپوزیت را



بررسی تأثیر محتوای الماس و مدت آسیاب کردن بر ریزساختار و هدایت حرارتی پوشش کامپوزیت الماس/مس پوشش داده شده با Ti روی زیر لایه مس [۱۶]، بررسی ساختارهای بین سطحی و تأثیر آن‌ها بر هدایت حرارتی و خواص مکانیکی کامپوزیت‌های الماس/مس - بور [۱۷]، بهبود رابط‌های بین سطحی کامپوزیت‌های الماس/مس از طریق روش پوشش دهی با دمای پایین و کارایی بالا [۱۸]، شبیه‌سازی عددی و بررسی تجربی انتقال حرارت و ویژگی‌های هیدرولیکی سینک‌های حرارتی میکروکانال مستطیلی با استفاده از کامپوزیت‌های مس/الماس با هدایت حرارتی بالا [۱۹].

هدف از این تحقیق، تولید کامپوزیت زمینه آلیاژهای مس تقویت‌شده با ذرات الماس میکرونی و بررسی خواص مکانیکی این کامپوزیت است. از مهم‌ترین مسائل ساخت این نوع کامپوزیت، بهینه‌سازی استحکام ذرات الماس در زمینه فلزی و خواص سایشی مدنظر این نوع کامپوزیت است. پودرهای کامپوزیتی با استفاده از آسیاب کاری پلانترژی (سایشی) و به روش سینتر پرس داغ تولید شدند. به‌منظور بررسی استحکام خمشی، سختی و خواص سایشی، نمونه‌ها با اضافه کردن فلزات مختلف به زمینه، شرایط مختلف آسیاب کاری و پارامترهای مختلف فشار داغ، ساخته شدند.

۲- بیان مسئله پژوهش

به‌منظور انجام پژوهش ابتدا خواص مواد و تجهیزات موردنیاز جهت انجام آزمون تجربی موردبررسی قرار گرفت و سپس آزمون‌های انجام‌شده و نحوه ساخت نمونه‌ها به تفصیل شرح داده شد.

۲-۱- خواص مواد

در این پژوهش از پودر مس خالص با درصد خلوص ۹۹/۹۹ درصد اتمیزه شده به‌وسیله گاز خنثی با متوسط اندازه ذره ۳۰ میکرون استفاده شد. ذرات پودر مس مورداستفاده کاملاً به‌صورت کروی شکل بوده و توزیع نسبتاً یکسانی از اندازه ذرات دارد. پودر قلع خالص با درصد خلوص ۹۹/۹۹٪ اتمیزه شده به‌وسیله گاز خنثی با متوسط اندازه ذره ۲۰ میکرون در نظر گرفته شد. ذرات پودر قلع مورداستفاده به‌صورت کروی و بیضوی شکل بود. پودر برنز با ترکیب Cu-20wt.%Sn با درصد خلوص ۹۸٪ اتمیزه شده به‌وسیله گاز خنثی با متوسط اندازه ذره ۴۵ میکرون بود. ذرات پودر برنز مورداستفاده به‌صورت بیضوی شکل است. پودر کبالت با درصد خلوص ۹۹ درصد و متوسط اندازه ذره ۱۰ میکرون و پودر الماس با درصد خلوص ۹۹٪ با متوسط اندازه ذره ۱۰۰ میکرون استفاده شد. ذرات پودر الماس

طول عمر بیشتر مواد در شرایط سخت کمک می‌کند. این ویژگی‌ها به دلیل کاربرد در صنایع هوافضا و قطعات الکترونیکی از نوآوری این‌گونه کامپوزیت‌ها است.

کامپوزیت‌های زمینه فلزی (MMC) تقویت‌شده با ذرات، یکی از جدیدترین مواد مهندسی بوده و توسعه سریع آن در سال‌های اخیر را می‌توان به دلیل خواص بسیار عالی و کاربردهای گسترده آن دانست. برای ساخت کامپوزیت‌ها، مواد مختلف با یکدیگر مخلوط شده و خواص مورد نظر را ارائه می‌دهند. خواص آن‌ها متفاوت از خواص زمینه‌ی خود است؛ اما نه زمینه و نه تقویت‌کننده به‌تنهایی نمی‌توانند خواص مورد نظر را ارائه دهد، درصورتی‌که MMCها تنهایی قادر به فراهم کردن خصوصیات موردنیاز می‌باشند [۱-۳]. پرس گرم (HP)، پرس گرم ایزواستاتیک (HIP) و لحیم‌کاری فرآیندهای مرسوم هستند که برای تهیه ابزارهای الماس بسیار نازک استفاده می‌شوند. با این حال، معایبی برای این روش‌ها، از جمله ضخامت زیاد، درجه آلیاژی پایین و دقت محدود برش به دلیل نسبت ابعاد بزرگ وجود دارد [۴ و ۵]. ابزارهای تولیدشده به روش پرس گرم، دارای الماس‌هایی هستند که معمولاً با سینتر در قالب‌های گرافیتی در یک پودر فلز قرار داده می‌شوند. کامپوزیت الماس/زمینه تولیدشده به این روش، با استفاده از لحیم‌کاری یا جوش لیزری به هسته فولادی متصل می‌شود [۶]. در ابزارهای لحیم‌کاری شده، الماس‌ها با استفاده از یک‌فاز پرکننده که عموماً از آلیاژ مس، نیکل یا نقره تشکیل شده است، یک‌لایه منفرد را تشکیل می‌دهند که به هسته فولادی لحیم می‌شود [۷ و ۸]. از پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه این نوع کامپوزیت‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: مقایسه ویژگی‌های دو ابزار الماس از دو روش سینتر پرس داغ و لحیم‌کاری از جنبه‌های پیوند زمینه فلزی به الماس، ارزیابی حفظ الماس و فرآیند سایش ابزار [۹]، بررسی اثر دمای پرس داغ بر ریزساختار و خواص مکانیکی آلیاژ Cu-25% Sn [۱۰]، بررسی خواص مکانیکی و حرارتی کامپوزیت‌های لایه‌ای زمینه مس و الماس پوشش داده شده با مس [۱۱]، آبکاری کامپوزیت نانو الماس/مس جهت بهبود چسبندگی بین سطحی بین الماس و مس از طریق تشکیل کاربرد سیلیکون روی سطح الماس [۱۲]، تهیه کامپوزیت‌های الماس/مس اصلاح‌شده با Ti_3C_2Tx به‌عنوان لایه میانی با هدایت حرارتی بهبودیافته [۱۳]، بررسی ریزساختار و هدایت حرارتی پوشش‌های Cu- $Cu_2AlNiZnAg$ الماس روی زیر لایه مس خالص به روش آلیاژسازی مکانیکی بانرژی بالا [۱۴]، مروری بر اصلاح بین سطحی الماس و تأثیر آن بر خواص کامپوزیت‌های الماس/زمینه مس [۱۵]،

شد. نمونه‌های خمش با مقطع مستطیل دارای طول ۳۰ میلی‌متر، ضخامت ۳ میلی‌متر و عرض ۵ میلی‌متر هستند. سرعت حرکت فک 0.6 mm/min طول تکیه‌گاه ۲۳ میلی‌متر بود. آزمون خمش، با دستگاه Santam STM 150، صورت پذیرفت. استحکام خمشی توسط فرمول (۱) [۲۰] محاسبه شد؛ که σ استحکام خمشی، F نیروی وارد شده بر قطعه، L طول تکیه‌گاه، b عرض و d ضخامت نمونه خمش است.

$$\sigma = 3FL/2bd^2 \quad (1)$$

چگالی نمونه‌ها، به روش غوطه‌وری یا ارشمیدس طبق استاندارد ASTM B962 اندازه‌گیری شد. چگالی تئوری توسط قانون مخلوط‌ها [۲۰] رابطه (۲) محاسبه شد.

$$\rho_c = (\rho_m \times X_m) + (\rho_f \times X_f) \quad (2)$$

۲-۴- ساخت نمونه‌ها

مراحل ساخت نمونه‌ها در این پژوهش شامل فراوری پودر کامپوزیتی، سینتر پودرها به روش پرس داغ است. برای تعیین درصد‌های عناصر فلزی مختلف و نوع تقویت‌کننده‌ی الماس با توجه به بررسی مقالات، در کامپوزیت‌های حاوی الماس ۹ درصد وزنی است. به همین منظور در تمام نمونه‌های کامپوزیتی به مقدار ۹ درصد وزنی الماس استفاده شد. ابتدا پودرهای فلزی مس و قلع با نسبت ترکیب Cu-15Sn۸۵ و سپس در نمونه‌های بعدی با اضافه کردن ۹ درصد وزنی کبالت به ترکیب، تهیه شدند. لازم به ذکر است پودرهای مس و قلع در نمونه‌های مجزا از قبل به صورت پودر از پیش آماده‌شده برنز استفاده شدند. ابتدا پودرهای زمینه فلزی به مقدار ۳۳ گرم وزن شده و سپس به مقدار ۹ درصد وزنی (۳ گرم) به ترکیب فلزی اضافه‌شده و به مقدار ۲ درصد وزنی اسید استئاریک به منظور جلوگیری از چسبیدن پودر به گلوله‌های آسیاب اضافه شدند. نسبت وزن گلوله به پودر در این آسیاب ۱:۳۰ انتخاب شد که به مقدار ۹۰۰ گرم گلوله فلزی از جنس استیل ۳۰۴ به قطر 5mm استفاده شد. فرایند آسیاب با سرعت 430rpm و با سه مدت‌زمان ۴ و ۱ و نیم ساعت در یک محفظه‌ی آبگرد برای نمونه‌های مربوطه انجام شد. پودرهای تولیدشده به روش آسیاب پراثری با وزن ۳۰ گرم به درون قالب ریخته شده و سپس با فشار 200MPa پرس سرد شدند. پس از پرس سرد قالب به درون محفظه‌ی پرس داغ منتقل شد. به منظور اطمینان از خنثی بودن اتمسفر محفظه، گاز آرگون در طول فرایند به داخل محفظه پرس داغ تزریق شد. پس از افزایش دما تا 600°C، به منظور هم‌دما شدن قالب و پودرها، پس از

مورداستفاده به صورت گوشه‌دار بود. پودر الماس با پوشش تیتانیوم ساخت کشور چین با درصد خلوص ۹۹٪ با متوسط اندازه ذره ۱۰۰ میکرون تهیه شد. ذرات پودر الماس مورداستفاده به صورت گوشه‌دار است. پودر الماس با اندازه ۱۵ میکرون با درصد خلوص ۹۹٪ در نظر گرفته شد و ذرات پودر الماس مورداستفاده به صورت گوشه‌دار بود.

۲-۲- تجهیزات

برای انجام فرایند آلیاژسازی مکانیکی Cu-Sn-Co-Diamond از یک آسیاب گلوله‌ای از نوع سایشی مجهز به سیستم خنک‌کننده آبگرد و اتمسفر کنترل‌شده، استفاده گردید. برای توزین پودرهای اولیه به منظور آسیاب کردن و همچنین توزین پودرهای آسیاب شده به اندازه قرص‌های یک و سه سانتی برای پرس کردن درون قالب، از ترازو کیا الکترونیک مدل BL2 با دقت یک‌صدم اعشار استفاده شد. جهت جلوگیری از اکسیداسیون پودرهای آسیاب شده در حین تخلیه محفظه آسیاب، کلیه مراحل باز کردن درب محفظه آسیاب و تخلیه آن، در گلاوباکس و تحت اتمسفر گاز خنثی آرگون انجام گرفت. به منظور متراکم سازی نمونه‌ها برای آزمون احتراق و آزمون‌های مکانیکی از دستگاه پرس هیدرولیکی مستقر در دانشگاه صنعتی مالک اشتر با ظرفیت ۱۰۰ تن مجهز به سنسور تنظیم و نگهداری فشار استفاده شد. برای پرس سرد و پرس گرم و سینتر نمونه‌ها از قالب گرم کار با قطر 4cm و ارتفاع 10cm از جنس فولاد گرم کار H13 استفاده شد. به منظور سینتر پرس داغ نمونه‌های Cu-Sn-Co-Diamond از محفظه تحت اتمسفر با دمای کاری 1000°C استفاده گردید.

۲-۳- آزمون‌ها

تغییر ریزساختار نمونه‌های زینتر شده به وسیله میکروسکوپ الکترونی (SEM) مدل MIRA3 ساخت شرکت TESCAN مجهز به طیف‌سنج EDS موردبررسی قرار گرفت. شرایط تست EDS این‌گونه بود که ولتاژ شتاب‌دهنده در محدوده ۱۵ تا ۲۰ کیلوولت قرار داشت، زاویه برخورد پرتو الکترونی با سطح نمونه در حدود ۳۰ درجه نسبت به محور عمودی سطح نمونه تنظیم شد، فاصله کارکرد بهینه بین نمونه و دکتور ۱۰ میلی‌متر و عمق تحلیل ۱ میکرومتر بود. برای مطالعه ریزساختار نمونه‌های زینتر شده، سطح قطعات با سمباده‌های ۱۰۰، ۲۰۰، ۴۰۰، ۶۰۰، ۸۰۰، ۱۲۰۰، ۲۰۰۰، ۲۵۰۰ سمباده زنی و پولیش شدند. به منظور بررسی خواص مکانیکی نمونه‌های زینتر شده از آزمون‌های خمش سه‌نقطه‌ای و سختی سنجی راکول B استفاده شد. آزمون خمش سه‌نقطه‌ای تحت استاندارد ASTM D790 [20] انجام

یک ساعت فشار 200MPa اعمال شد. پس از یک ساعت فشار حذف و کوره خاموش شد. پس از سرد شدن کوره، قطعه کامپوزیتی از قالب خارج شد. در جدول ۱ مشخصات کامل نمونه‌های تولیدشده و موردبررسی آورده شده است.

جدول ۱: مشخصات نمونه‌های تولیدشده

شماره نمونه	ترکیب (درصد وزنی)						
	Cu	Sn	Co	Bronze (85-15)	الماس D100	الماس D100 با پوشش تیتانیوم	الماس D15
۱	۸۵	۱۵	-	-	-	-	۴ ساعت
۲	-	-	-	۱۰۰	-	-	۴ ساعت
۳	۷۵	۱۵	۱۰	-	-	-	۴ ساعت
۴	۶۸	۱۴	۹	-	۹	-	۴ ساعت
۵	۶۸	۱۴	۹	-	-	۹	۴ ساعت
۶	۷۸	۱۳	-	-	۹	-	۴ ساعت
۷	-	-	-	۹۱	۹	-	۴ ساعت
۸	۶۸	۱۴	۹	-	۹	-	۱ ساعت
۹	۶۸	۱۴	۹	-	۹	-	۳۰ دقیقه
۱۰	۶۸	۱۳	-	-	-	۹	۴ ساعت

۳- نتایج

الماس در این دو نمونه به صورت یکنواختی توزیع شده و به دلیل مورفولوژی الماس استفاده شده، الماس با اندازه‌های مختلفی در ترکیب مشاهده شد و همان‌طور که در شکل ۱ و ۲ مشاهده شد اندازه متوسط الماس‌ها از بازه‌ای بین ۹۰ تا ۱۲۰ میکرومتر هستند.

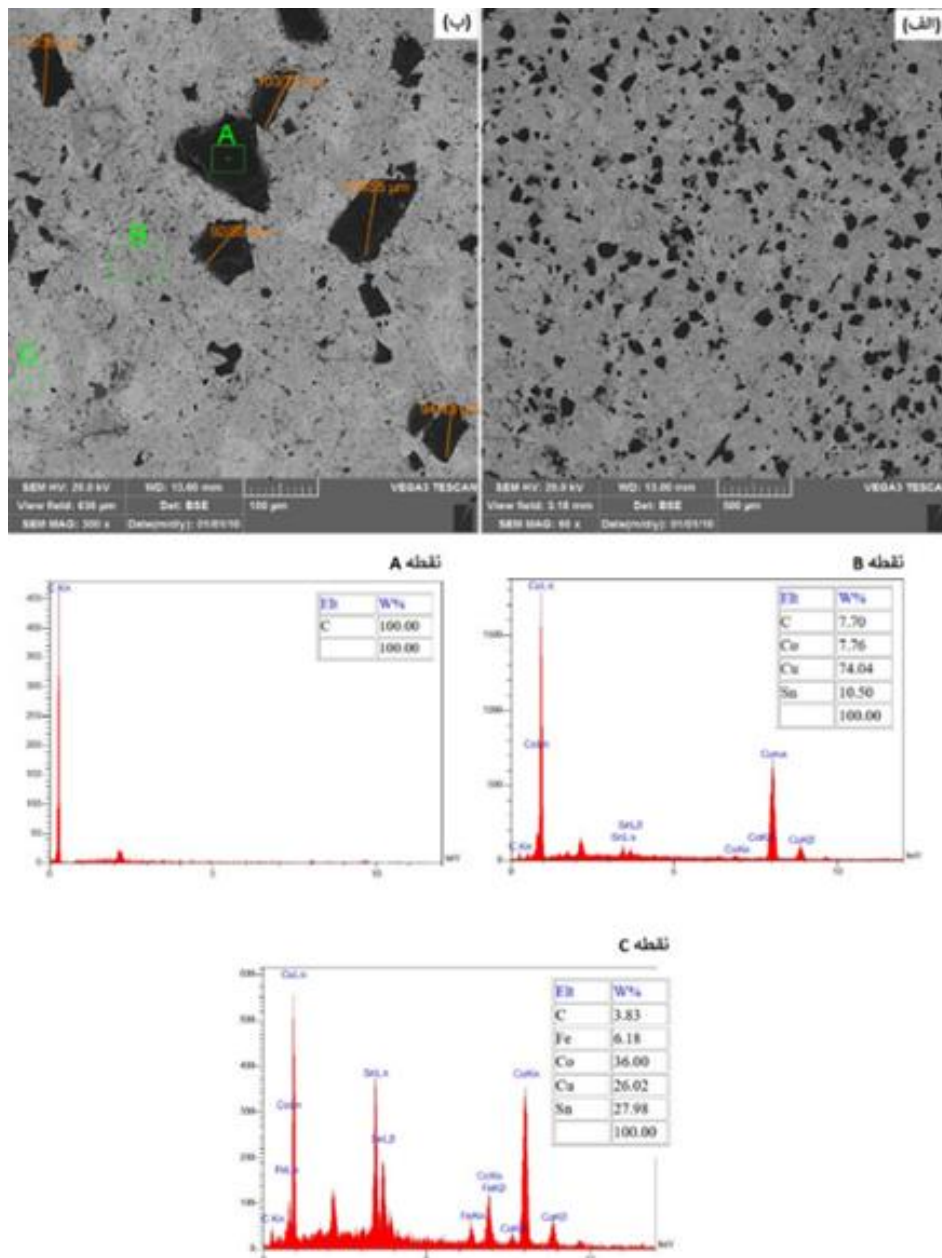
اهمیت بررسی این دو نمونه در نحوه اتصال الماس درزمینه کامپوزیت است که از شکل ۳ می‌توان گفت که فصل مشترک الماس - زمینه مناسب است. با مقایسه مورفولوژی الماس و شکل ۳ می‌توان گفت که سطح الماس در نمونه ۴ فرایند آسیاب دچار تخریب سطحی شده است. از طرفی با توجه به اینکه الماس در دماهای زیر 700°C گرافیته نمی‌شود [۲۲] از لحاظ ساختاری الماس به گرافیت تبدیل نشده است. در شکل ۴ هم این شرایط برای الماس تکرار شد و الماس به صورت طبیعی این ظاهر را داشته و گرافیته نشده است. اتصال الماس درزمینه مس-قلع-کبالت به نظر اتصال بهتری نسبت به الماس درزمینه مس-قلع دارد زیرا کبالت با کربن محلول‌های جامد و مایع تشکیل می‌دهد و سطح الماس را مرطوب می‌کند [۲۳].

نتایج مربوط به ۱۰ نمونه ساخته شده در قالب بررسی اثر حضور کبالت بر ریزساختار و فصل مشترک الماس زمینه مس-قلع، تأثیر آلیاژی بودن برنز بر ریزساختار و فصل مشترک زمینه مس-قلع و الماس، مقایسه ریزساختار و فصل مشترک درزمینه مس-قلع با الماس با اندازه ۱۰۰ و ۱۵ میکرون، استحکام خمشی، بررسی سطوح شکست، بررسی رفتار سایشی، بررسی سطوح سایش ارائه و به تفصیل شرح داده شده است.

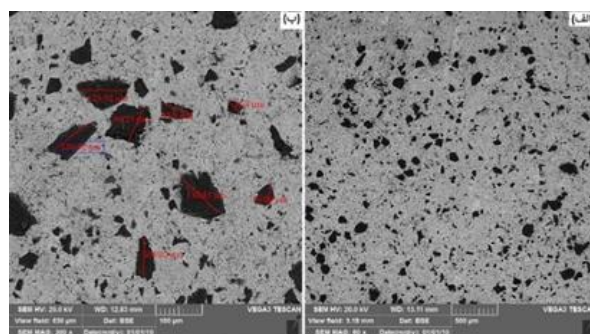
۳-۱- اثر حضور کبالت بر ریزساختار و فصل مشترک الماس

زمینه مس-قلع

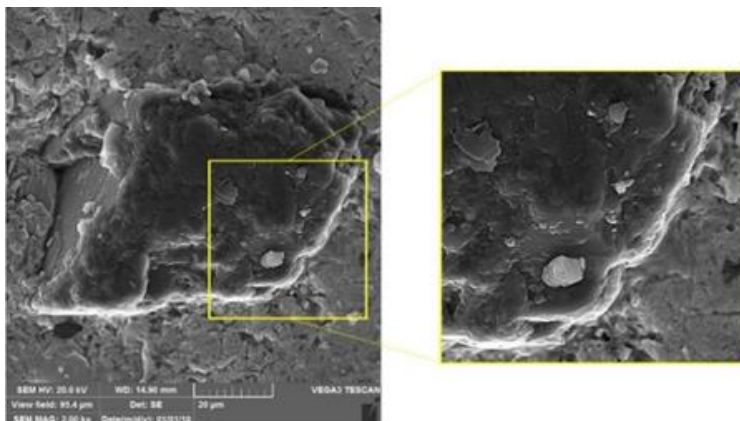
در شکل ۱ ریزساختار نمونه ۴ (مس-قلع-کبالت-الماس) و شکل ۲ ریزساختار نمونه ۶ (مس-قلع-الماس) را نشان داده شده است. با اضافه کردن ۱۰ درصد وزنی الماس بدون پوشش ساخته شدند. با مقایسه ریزساختار این دو نمونه نشان داد که حضور کبالت در ترکیب باعث ایجاد مناطق دوفازی در ریزساختار ترکیب شد.



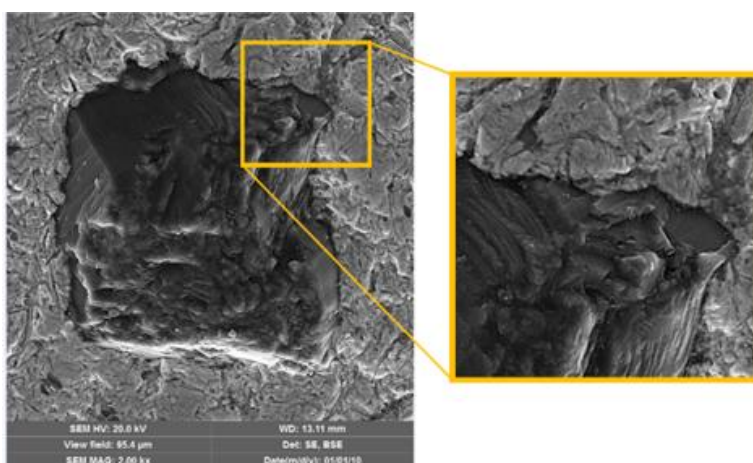
شکل ۱: تصاویر SEM و آنالیز EDS ریزساختار نمونه ۴ الف) نمای دور- ب) نمای نزدیک



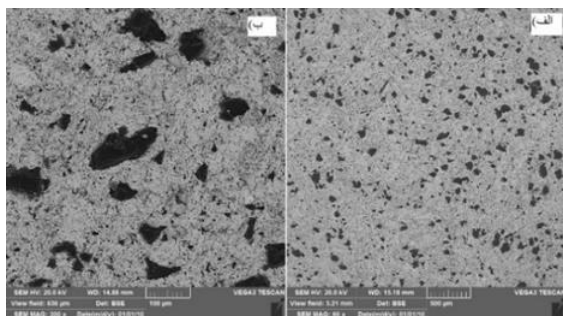
شکل ۲: تصاویر SEM ریزساختار نمونه ۶ الف) نمای دور- ب) نمای نزدیک



شکل ۳: تصویر SEM الماس در نمونه ۴ (مس-قلع- کبالت-الماس)

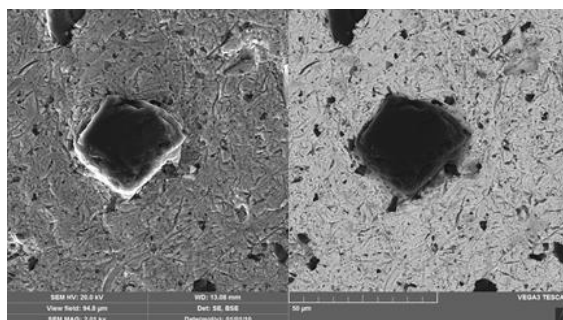


شکل ۴: تصویر SEM الماس در نمونه ۶ (مس-قلع-الماس)



شکل ۵: تصاویر SEM ریزساختار نمونه ۷ (برنز-الماس) الف) نمای دور-

ب) نمای نزدیک



شکل ۶: تصویر SEM الماس در نمونه ۷ (برنز-الماس)

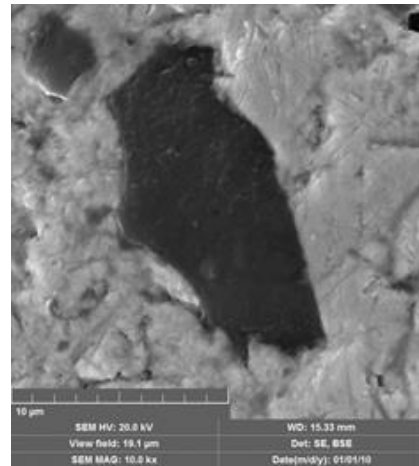
۳-۲- تأثیر آلیاژی بودن برنز بر ریزساختار و فصل مشترک زمینه مس-قلع و الماس

در شکل ۵ ریزساختار کامپوزیتی نمونه ۷ را نشان داده شد. در این نمونه نیز همانند نمونه‌های قبل توزیع الماس مناسب بوده و الماس‌ها در حین آسیاب در ترکیب پخش شده و مورفولوژی مناسبی دارند. ریزساختار این نمونه در مقایسه با نمونه ۶ تفاوت چندانی ندارند و در ریزساختار این دو نمونه مناطق دوفازی دیده نشد. این نشان داد که برنز، قلع و کبالت موجب دوفازی شدن نمونه نشده‌اند و عامل اصلی در دوفازی شدن نمونه به نوع توزیع الماس بستگی دارد.

در شکل ۶ تصویر الماس و فصل مشترک آن با زمینه در نمونه ۷ آورده شده است که در مقایسه با فصل مشترک الماس در زمینه مس-قلع، چسبندگی و فصل مشترک بهتری مشاهده شد [۲۴].

۳-۳- مقایسه ریزساختار و فصل مشترک درزمینه مس-قلع با الماس با اندازه ۱۰۰ و ۱۵ میکرون

تصاویر ریزساختار نمونه ۱۰ که با زمینه مس-قلع و الماس با اندازه ۱۵ میکرون است نشان داد همانند نمونه‌های قبلی الماس به‌طور یکنواخت در ترکیب فلزی زمینه توزیع شده است. ذرات ریزتر به دلیل فضای بیشتری برای توزیع یکنواخت درزمینه فلزی، به‌خوبی پراکنده شدند که این اتصالات عالی به دلیل سازگاری بهتر بین ذرات ریز الماس و زمینه فلزی است. در شکل ۷ تصویر SEM الماس در ساختار زمینه‌ی مس-قلع آورده شده است و همان‌طور که مشاهده شد، اتصال الماس به زمینه بسیار عالی بوده و اثری از شکستگی و تخریب هم در سطح الماس مشاهده نشد و این ویژگی‌ها می‌تواند به علت ریزتر بودن اندازه الماس‌ها نسبت به نمونه‌های ۴ تا ۹ باشد [۲۵].



شکل ۷: تصویر SEM الماس در نمونه ۱۰ (مس-قلع-الماس با اندازه ۱۵ میکرون)

۱۸/۲ درصد نسبت به نمونه ۴ افزایش پیدا کرده است که از این افزایش می‌توان برداشت کرد که با حضور ذرات الماس با پوشش تیتانیوم در ساختار کامپوزیت و اتصال قوی بین ذرات الماس با پوشش و زمینه، استحکام خمشی نمونه افزایش یافته است. با مقایسه مقادیر استحکام نمونه‌های ۶ و ۷ مشاهده می‌شود که استفاده از ترکیب پودرهای مس و قلع، ۱۶ درصد استحکام خمشی بیشتری نسبت به ترکیب برنزی است. این بیانگر این است که ترکیب الماس در کنار مس و قلع اتصال بهتری نسبت به ترکیب برنز و الماس برقرار کرده است. مقادیر استحکام خمشی نمونه ۴ و ۸ و ۹ نشان داد که مدت‌زمان آسیاب تأثیر چشمگیری بر روی استحکام نمونه نداشته و استحکام این نمونه‌ها تفاوت چندانی ندارند اما تفاوت اصلی این سه نمونه در کرنش آن‌هاست به‌طوری‌که کرنش نمونه ۸ نسبت به نمونه ۴، ۴۰٪ افزایش یافته و نمونه ۹ نیز ۳۵٪ افزایش کرنش داشته‌اند و می‌توان نتیجه گرفت که با کاهش مدت‌زمان آسیاب کرنش کامپوزیت افزایش پیدا کرده است. با مقایسه مقادیر استحکام نمونه ۶ و ۱۰ مشاهده شد که استفاده از الماس با اندازه کوچک‌تر باعث کاهش استحکام خمشی نمونه شده است. در جدول ۳ مقادیر کرنش خمشی نمونه‌ها ارائه شده است که با مقایسه مقادیر این نمودار مشاهده می‌شود که نمونه ۲ به علت آسیاب نشدن و آلیاژی بودن پودر مورد استفاده دارای بالاترین میزان کرنش در مقایسه با سایر نمونه‌ها و نمونه ۱ است. مابقی نمونه‌ها رفتار کرنشی یکسانی نشان داده و در یک محدوده قرار گرفته‌اند [۲۶].

جدول ۲: نتایج استحکام خمشی سه‌نقطه‌ای نمونه‌های کامپوزیتی

شماره نمونه	استحکام خمشی (Mpa)
۱	۶۴۳/۴
۲	۷۱۵/۵
۳	۶۵۸
۴	۴۰۹/۵
۵	۴۴۱/۱
۶	۵۰۶/۲
۷	۴۲۵/۶
۸	۳۳۲/۶
۹	۳۰۹/۷
۱۰	۴۲۶/۴

۳-۴- نتایج استحکام خمشی

در جدول ۲ نتایج استحکام خمشی سه‌نقطه‌ای نمونه‌های کامپوزیتی آورده شده است. با مقایسه مقادیر استحکام خمشی نمونه ۱ و ۲ می‌توان دریافت که نمونه برنزی به دلیل آلیاژی بودن پودرها و آسیاب نشدن پودرهای مورد استفاده استحکام خمشی بیشتری نسبت به نمونه مخلوطی مس و قلع را دارا است. در نمونه ۱ و ۳ با اضافه کردن کبالت به ترکیب استحکام خمشی ۲/۳ درصد افزایش پیدا کرد و این می‌تواند به دلیل دوفازی شدن ریزساختار باشد. با اضافه کردن الماس به ساختار کامپوزیت که وجه تفاوت نمونه‌های ۳ و ۴ است، استحکام خمشی نمونه ۴۹/۶ درصد کاهش یافت که این به دلیل حضور ذرات سرامیکی الماس در ساختار زمینه است که مسبب چنین کاهش استحکام نمونه است. در نمونه ۵ مشاهده شد که استحکام خمشی

جدول ۳: میزان کرنش‌های خمشی نمونه‌های کامپوزیتی

شماره نمونه	میزان کرنش خمشی
۱	۰/۰۱۰۶۴
۲	۰/۰۴۱۳۷
۳	۰/۰۰۶۷۶۶
۴	۰/۰۰۶۸۷۶
۵	۰/۰۰۶۲۲
۶	۰/۰۰۶۸۰۵
۷	۰/۰۰۵۵۳۲
۸	۰/۰۱۲۴۹۴
۹	۰/۰۱۱۳۴۷
۱۰	۰/۰۰۶۳۸۷

۳-۵- نتایج بررسی سطوح شکست

با توجه به صاف و ورقه‌ای بودن سطح شکست نمونه ۱ می‌توان گفت که شکست ترد اتفاق افتاده است. همچنین مشخص شد که رشد ترک از میان دانه‌ها عبور کرده و این رفتار عیناً در نمونه ۳ نیز اتفاق افتاده است. با مشاهده نمونه ۲ که حاوی پودر آلیاژی آسیاب نشده برنز است مشخص شد دیپمل‌ها و سطح برآمده آن، در این نمونه شکست نرم اتفاق افتاده است. با توجه به نتایج سطح شکست کامپوزیت در حضور الماس مشخص شد، نمونه ۴ دارای ترک است و سطح آن شامل دیپمل‌های ناشی از کنده شدن الماس از زمینه است. این موضوع بیانگر این است که ترک از ذرات الماس عبور نکرده و رشد ترک در زمینه اشاعه پیدا کرده است. نمونه ۵ نیز دارای رفتار مشابه با نمونه ۴ است. نکته قابل توجه این است که پوشش‌های الماس نسبتاً روی الماس باقی‌مانده‌اند و این پوشش بارنگ روشن‌تری نمایان است که می‌توان نتیجه گرفت اتصال تیتانیوم به الماس قوی‌تر از اتصال تیتانیوم به زمینه مس-قلع-کبالت است. به همین ترتیب در مابقی نمونه‌ها رفتار شکست ترد مشاهده شد [۲۷].

۳-۶- بررسی رفتار سایشی

نمودارهای ضریب اصطکاک تحت نیروی ۲۰ نیوتون برحسب زمان نشان داد که نمونه ۱ ضریب اصطکاک تقریباً یکسانی را در طی فرایند سایش دارد و این نشان می‌دهد که در طول فرایند سایش، هم‌سطح دیسک و هم‌سطح نمونه دچار سایش یکسانی شده‌اند. نمونه ۲ نیز رفتار مشابهی با نمونه ۱ دارد اما نمونه ۳ ضریب اصطکاک بالاتری نسبت به نمونه‌های قبلی دارد که این می‌تواند به علت حضور کبالت

در ساختار نمونه ۳ باشد. نمونه‌های ۱ تا ۳ ضریب اصطکاک یکسانی دارند و این می‌تواند به‌این‌علت باشد که به دلیل عدم حضور ذرات تقویت‌کننده، دیسک سایشگر توانایی بیشتری در نفوذ به سطح نمونه را دارد که می‌تواند منجر به درگیر شدن جوانب پین با سطح نمونه شود و در کل این قضیه می‌تواند باعث ایجاد ناهمواری بیشتر در سطح نمونه شود. با افزایش این ناهمواری‌ها در سطح نمونه، مقاومت سطح نمونه در برابر حرکت دیسک بیشتر می‌شود و در نتیجه ضریب اصطکاک بالا و ثابت می‌ماند؛ اما نمونه ۴ رفتار متفاوتی از ضریب اصطکاک نسبت به نمونه‌های قبلی را نشان داد. به این صورت که در ابتدا اصطکاک بین نمونه و دیسک بالا بوده و سپس طی سایش از این مقدار کاسته شده و به یک حالت ثابتی از سایش رسید به‌نحوی که ضریب اصطکاک در پایان فرایند سایش عدد یک را نشان داد. این رفتار بیانگر سایش خراشان در نمونه است به‌طوری‌که ذرات الماس سطح دیسک را ساییده است و به یک حالت پایدار از تماس سطحی رسیده است. نمونه‌های ۵ و ۸ و ۹ نیز رفتار مشابهی با نمونه ۴ دارد ولی با این تفاوت که ضریب اصطکاک در انتهای سایش در نمونه‌های ذکر شده اعداد مختلفی را نشان داده است. با اضافه کردن ذرات تقویت‌کننده به نمونه‌هایی که کبالت در ساختار زمینه‌ی آن‌ها وجود دارد میزان ضریب اصطکاک کاهش یافته است. علت این قضیه را این‌گونه می‌توان شرح داد که با اضافه کردن ذرات تقویت‌کننده سختی نمونه و مقاومت سطح نمونه در برابر دیسک افزایش یافته است؛ بنابراین از افزایش میزان ناهمواری‌ها جلوگیری شده و سطح سایش یکنواخت‌تری ایجاد شده است که این قضیه می‌تواند باعث کاهش ضریب اصطکاک شود، همچنین در کامپوزیت‌ها علاوه بر دلایل بالا، استفاده از ذرات کبالت نیز باعث کمتر شدن ضریب اصطکاک این کامپوزیت شده است. HCP بودن ساختار کبالت سبب کاهش ضریب اصطکاک و درنهایت افزایش مقاومت در برابر سایش شد [۲۸]. کبالت در دماهایی که ساختار HCP دارد، به‌صورت یک روان‌کننده‌ی جامد عمل کرد [۲۹]. همچنین مشاهده شد نمونه‌هایی که کبالت در کنار الماس در ترکیب آن‌ها حضور دارد ضریب اصطکاک طی فرایند سایش کاهش یافته است. با بررسی نمونه‌های ۶ و ۷ مشاهده شد که ضرایب اصطکاک این دو نمونه باوجوداینکه دارای الماس هستند اما مقادیر بالای اصطکاک و روند ثابتی را از خود نشان دادند و این می‌تواند به علت بالا بودن استحکام و سختی این دو نمونه باشد که در مواجهه با سطح دیسک تغییر نکردند، اما برای مقایسه این دو نمونه می‌توان گفت نمونه ۷ که حاوی برنز بود رفتار اصطکاکی مناسب‌تری نسبت به نمونه ۶ از خود نشان

۳ سایش شدید چسبان نشان داده شد (شکل ۱۰). در این نمونه سطوح ورقه‌ای مختلفی از سطح کنده‌شده و سایش چسبان بوده و انرژی و سطح تماس دیسک با نمونه منجر کنده شدن حجمی مواد از نمونه شده است. شکل ۱۱ ذرات الماس به‌خوبی نقش خود را در نمونه ۴ نشان داده‌اند، این ذرات همان‌طور که در شکل مشخص شده در زمینه باقی‌مانده است [۲۸].

۸- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

هدف از پژوهش حاضر، تولید کامپوزیت زمینه آلیاژهای مس تقویت‌شده با ذرات الماس میکرونی و بررسی خواص مکانیکی این کامپوزیت است. از مهم‌ترین مسائل ساخت این نوع کامپوزیت، بهینه‌سازی استحکام ذرات الماس در زمینه فلزی و خواص سایشی مدنظر این نوع کامپوزیت است. نتایج به‌دست‌آمده به شرح زیر است:

۱- حضور عنصر کبالت در بین عناصر مس و قلع باعث افزایش دمای ذوب ترکیب و تغییرات فازی و ساختاری در این نمونه شده است و همین موضوع باعث به وجود آمدن ساختار متناسب برای انتخاب زمینه کامپوزیت شد.

۲- اتصال الماس در زمینه مس-قلع-کبالت اتصال بهتری نسبت به الماس در زمینه مس-قلع دارد

۳- اتصال الماس در زمینه مس-قلع-کبالت به نظر اتصال بهتری نسبت به الماس در زمینه مس-قلع دارد که دلیل آن کاهش تخلخل در نمونه دارای کبالت است که این کاهش تخلخل به دلیل رطوبت ایجادشده در الماس و یکدست شدن آن است. همچنین الماس با پوشش تیتانیوم اتصال تقریباً بهتری نسبت به الماس بدون پوشش به زمینه داشته و همین امر منجر به افزایش عمر الماس در زمینه کامپوزیت گردید.

۴- با اضافه کردن الماس به ساختار کامپوزیت، استحکام خمشی نمونه ۴۹/۶٪ کاهش یافت که این به دلیل حضور ذرات سرامیکی الماس در ساختار زمینه است.

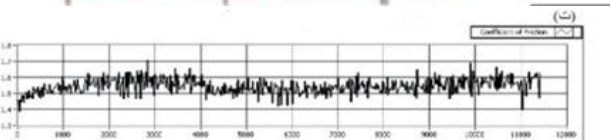
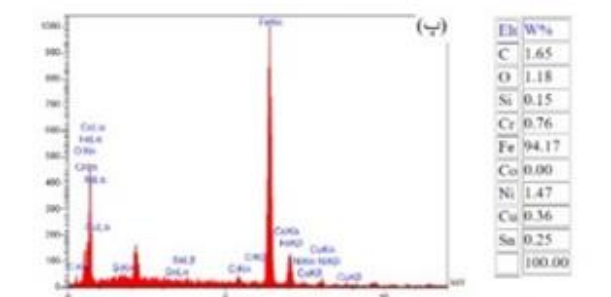
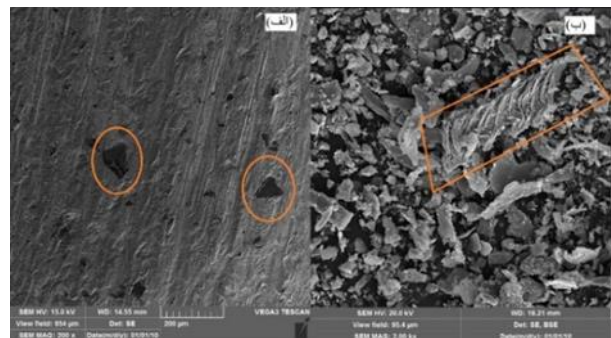
۵- در هر دو نمونه حاوی الماس با ذرات ۱۰۰ و ۱۵ میکرونی، ذرات به‌طور یکنواخت در ترکیب فلزی زمینه توزیع شده است. در نمونه با ذرات ۱۵ میکرونی الماس، اتصال الماس به زمینه بسیار عالی بوده و اثری از شکستگی و تخریب هم در سطح الماس مشاهده نشد و این ویژگی‌ها می‌تواند به علت ریزتر بودن اندازه الماس‌ها باشد.

۶- با افزودن الماس با پوشش تیتانیوم، استحکام خمشی ۱۸/۲٪ نسبت به نمونه دارای الماس بدون پوشش تیتانیوم افزایش پیدا کرده

داد و در طی فرایند سایش ضریب اصطکاک آن کاهش یافت. نمونه ۱۰ نیز به همین دلیل رفتار مناسب سایشی را از خود نشان نداد و در طی فرایند سایش ضریب اصطکاک آن افزایش پیدا کرد.

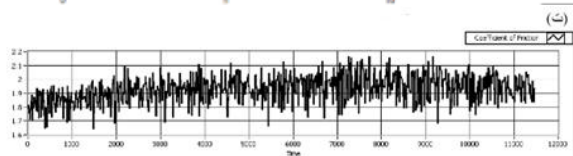
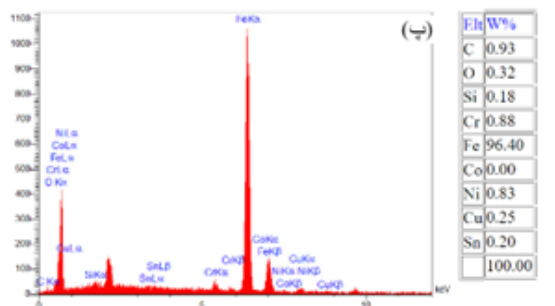
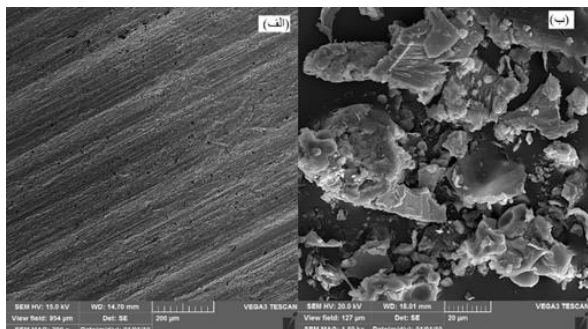
۳-۷- بررسی سطوح سایش

یکی از راهکارهای مؤثر جهت مطالعه رفتار سایشی مواد، بررسی سطوح سایش از نظر مورفولوژی و ترکیب شیمیایی سطح و لایه‌های شکل‌گرفته بر روی آن است. تصویر میکروسکوپی سطح سایش و ذرات ناشی از سایش نمونه‌های ۱ تا ۱۰ ارائه شده‌اند. شکل ۸ نمایانگر مورفولوژی سطح سایش نمونه ۱ است. ذرات ناخالصی در سطح ماده وجود دارد که ممکن است طی فرایند سایش از سطح دیسک کنده‌شده و به نمونه چسبیده باشد. در این نمونه خطوط سایش مشاهده شد اما این خطوط عمق بالایی نداشته و فاصله آن‌ها از یکدیگر زیاد است و دچار سایش چسبان شده است [۲۷].

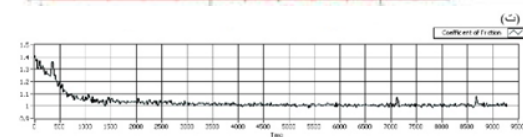
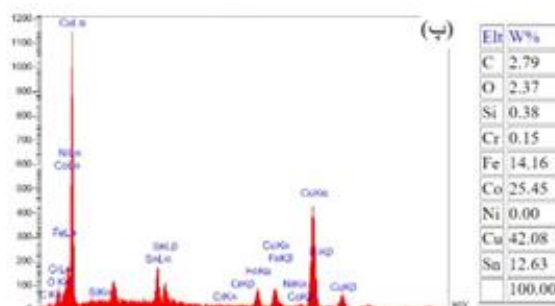
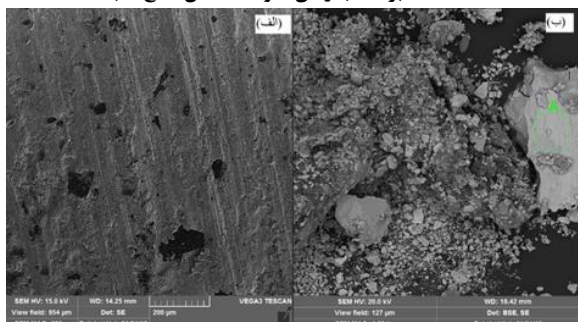


شکل ۸: (الف) تصویر SEM سطح سایش، (ب) تصویر براده‌ی حاصل از سایش و (پ) آنالیز EDS براده‌های حاصل از سایش و (ت) نمودار ضریب اصطکاک برحسب زمان نمونه ۱ (مس-قلع)

در شکل ۹ خطوط سایش در نمونه ۲ تراکم بیشتری دارند و از ظاهر این خطوط مشخص است که رفتار سایشی بهتری نسبت به نمونه ۱ داشته ولی بازهم در مناطقی در نمونه ۲ سطوح مختلفی از کامپوزیت کنده‌شده و رفتار سایش چسبان در این نمونه مشاهده شد. در نمونه



شکل ۱۰: (الف) تصویر SEM سطح سایش، (ب) تصویر براده‌ی حاصل از سایش و (پ) آنالیز EDS براده‌های حاصل از سایش و (ت) نمودار ضریب اصطکاک برحسب زمان نمونه ۳ (مس-قلع-کبالت)



شکل ۱۱: (الف) تصویر SEM سطح سایش، (ب) تصویر براده‌ی حاصل از سایش و (پ) آنالیز EDS براده‌های حاصل از سایش و (ت) نمودار ضریب اصطکاک برحسب زمان نمونه ۴ (مس-قلع-کبالت-الماس)

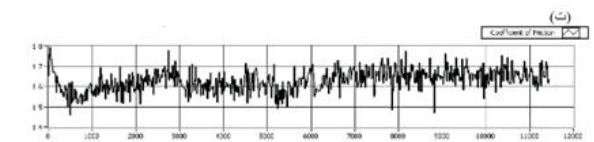
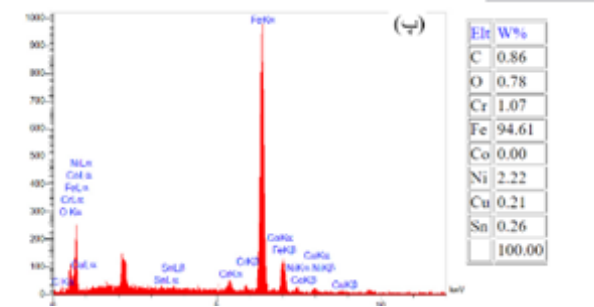
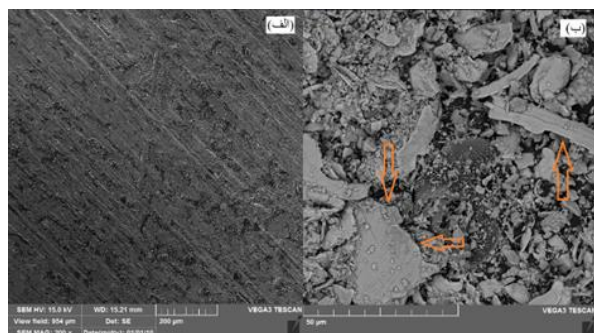
است و دلیل آن اتصال قوی بین ذرات الماس با پوشش تیتانیوم و زمینه است.

۷- با اضافه کردن ذرات تقویت‌کننده به نمونه‌هایی که کبالت در ساختار زمینه‌ی آن‌ها وجود دارد میزان ضریب اصطکاک کاهش یافت.

۸- نمونه دارای الماس نسبت به نمونه‌های فاقد الماس مقاومت سایشی خوبی داشته و ذرات الماس در زمینه کامپوزیت باقی ماندند.

۹- با بررسی سطوح شکست مشخص شد که نمونه مس-قلع و نمونه برنز دارای شکست ترد بوده درحالی‌که نمونه حاوی مس-قلع-کبالت دارای شکست نرم است.

۱۰- با بررسی سطوح شکست مشاهده شد پوشش‌های الماس نسبتاً روی الماس باقی‌مانده‌اند و این پوشش بارنگ روشن‌تری نمایان است که می‌توان نتیجه گرفت، اتصال تیتانیوم به الماس قوی‌تر از اتصال تیتانیوم به زمینه مس-قلع-کبالت است.



شکل ۹: (الف) تصویر SEM سطح سایش، (ب) تصویر براده‌ی حاصل از سایش و (پ) آنالیز EDS براده‌های حاصل از سایش و (ت) نمودار ضریب اصطکاک برحسب زمان نمونه ۲ (برنز)

۹- منابع

- coated diamond reinforced Cu matrix bioinspired laminated composites" *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 938, doi.org/10.1016/j.jallcom.2022.168584, 2023.
- [13] T. Hagio, J. Park, Y. Naruse, Y. Goto, Y. Kamimoto, R. Ichino, T. Bessho, "Electrodeposition of nano-diamond/copper composite platings: Improved interfacial adhesion between diamond and copper via formation of silicon carbide on diamond surface" *Surface and Coatings Technology*, Vol. 403, doi.org/10.1016/j.surfcoat.2020.126322, 2020.
- [14] H. Cao, D. Xiong, "Preparation of diamond/copper composites modified by Ti₃C₂T_x as interlayer with enhanced thermal conductivity" *Diamond and Related Materials*, Vol. 118, doi.org/10.1016/j.diamond.2021.108504, 2021.
- [15] J. Zang, H. Li, J. Sun, Y. Shen, N. Su, X. Feng, "Microstructure and thermal conductivity of Cu-Cu₂AlNiZnAg/diamond coatings on pure copper substrate via high-energy mechanical alloying method" *Surfaces and Interfaces*, V. 21, doi.org/10.1016/j.surfin.2020.100742, 2020.
- [16] L. Zhou, J. Liu, R. Ding, J. Cao, K. Zhan, B. Zhao, "A review of diamond interfacial modification and its effect on the properties of diamond/Cu matrix composites" *Surfaces and Interfaces*, Vol. 40, doi.org/10.1016/j.surfin.2023.103143, 2023.
- [17] J. Sun, J. Zang, H. Li, X. Feng, Y. Shen, "Influence of diamond content and milling duration on microstructure and thermal conductivity of Ti-coated diamond/copper composite coating on copper substrate" *Materials Chemistry and Physics*, Vol. 259, doi.org/10.1016/j.matchemphys.2020.124017, 2021.
- [18] Z. Xie, H. Guo, W. Xiao, X. Zhang, S. Huang, M. Sun, H. Xie, "Interfacial structures and their effect on thermal conductivity and mechanical properties of diamond/Cu-B composites" *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, Vol.34(1), Issue 1, doi.org/10.1016/S1003-6326(23)66395-2, 2024.
- [19] C. Wei, X. Wang, J. Wen, Q. Wang, Z. Donga, "Interface improvement of diamond/copper composites through a low-temperature high-efficiency coating method" *Thin Solid Films*, Vol.804, doi.org/10.1016/j.tsf.2024.140486, 2024.
- [20] K. Lu, C. Wang, H. He, X. Fan, F. Chen, F. Qi, C. Wang, "Numerical simulation and experimental
- [1] C. Artini, M. Muolo, and A. Passerone, "Diamond-metal interfaces in cutting tools: a review," *Journal of Materials Science*, vol. 47, no. 7, pp. 3252-3264, doi.org/10.1007/s10853-011-6164-6, 2012.
- [2] L. De Oliveira, R. d. R. Paranhos, R. d. S. Guimarães, G. Bobrovitchii, and M. Filgueira, "Use of PM Fe-Cu-SiC composites as bonding matrix for diamond tools," *Powder metallurgy*, vol. 50, no. 2, pp. 148-152, doi.org/10.1179/174329007X161982, 2007.
- [3] Y.-Z. Hsieh and S.-T. Lin, "Diamond tool bits with iron alloys as the binding matrices," *Materials Chemistry and Physics*, vol. 72, no. 2, pp. 121-125, doi.org/10.1016/S0254-0584(01)00419-9, 2001.
- [4] H. Dong, "A study of mechanical properties and microstructure of Cu-based matrixes for diamond ultrathin sawing," *Results in Physics*, vol. 12, pp. 748-753, doi.org/10.1016/j.rinp.2018.12.041, 2019.
- [5] R. German, *Sintering: from empirical observations to scientific principles*. Butterworth-Heinemann, 2014.
- [6] H. Tönshoff, H. Hillmann-Apmann, and J. Asche, "Diamond tools in stone and civil engineering industry: cutting principles, wear and applications," *Diamond and Related Materials*, vol. 11, no. 3-6, pp. 736-741, doi.org/10.1016/S0925-9635(01)00561-1, 2002.
- [7] J. C. Sung and M. Sung, "The brazing of diamond," *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, vol. 27, no. 2, pp. 382-393, doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2008.11.011, 2009.
- [8] J. Xu, A. H. Sheikh, and C. Xu, "Interfacial failure modelling of diamond bits made of particulate composites," *Composite structures*, vol. 155, pp. 145-159, doi.org/10.1016/j.compstruct.2016.07.075, 2016.
- [9] Y. Yu, X. Tie, G. Zhang, G. Huang, H. Huang, and X. Xu, "Comparison of brazed and sintered diamond tools for grinding of stone," *Materials Research Innovations*, vol. 18, no. sup2, pp. S2-869-S2-873, doi.org/10.1179/1432891714Z.00000000052, 2014.
- [10] P. Han, F.-r. Xiao, W.-j. Zou, and B. Liao, "Influence of hot pressing temperature on the microstructure and mechanical properties of 75% Cu-25% Sn alloy," *Materials & Design*, vol. 53, pp. 38-42, doi.org/10.1016/j.matdes.2013.06.024, 2014.
- [12] F. Luo, X. Jiang, H. Sun, J. Shang, Y. Zhang, Rui Shu, "Mechanical and thermal properties of Cu-

- the thermal transport properties in electrodeposited copper-diamond composite materials” *Journal of Alloys and Compounds*, Vol.791, 2019.
- [27] A. Abyzov, F. Shakhov, A. Averkin, V.Nikolaev, “Mechanical properties of a diamond–copper composite with high thermal conductivity” *Materials & Design*, Vol. 87, pp. 527-539, 2015.
- [28] N. Poulouse, P. Selvakumar, J. T. Philip, “Experimental Investigation on Tribological Behaviour of Copper Diamond Composites” *International Journal of Vehicle Structures & Systems (IJVSS)*, Vol. 14, No. 6, p746, 2022.
- [29] J. D. Donaldson and D. Beyersmann, "Cobalt and cobalt compounds," *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, doi.org/10.1002/14356007.a07_281.pub2, 2000.
- [30] A.Handbook, "ASM Handbook Volume 18–Friction, Lubrication and Wear Technology," ed: ASM International, OH, 1992.
- investigation on heat transfer and hydraulic characteristics of rectangular microchannel heat sinks using high thermal conductivity diamond/copper composites, *Diamond and Related Materials*, Vol.147, doi.org/10.1016/j.diamond.2024.111371, 2024.
- [21] <https://www.astm.org/d0790-17.html>.
- [22] <https://www.astm.org/b0962-17.html>.
- [23] M. Zeren and Ş. Karagöz, "Sintering of polycrystalline diamond cutting tools," *Materials & design*, vol. 28, no. 3, pp. 1055-1058, doi.org/10.1016/j.matdes.2005.09.018, 2007.
- [24] H. Okamoto, M. E. Schlesinger and E. M. Mueller, eds 2016 *ASM Handbook: Alloy Phase Diagrams* (Materials Park, Ohio: ASM International).
- [25] P. Vityaz, C. Ковалева, V. Zhornik, T. Grigoreva, N. Lyakhov, “Mechanical Alloying of Copper- or Iron-Based Metallic Binders for Diamond Tools” *Powders journal*, Vol.2, pp.403-420, 2023.
- [26] H.Cho, D.Yan, J.Tam, U.Erb, “Effects of diamond particle size on the formation of copper matrix and