

KARAKTERISASI VARIASI GRAPHIT PADA KOMPOSIT CU-SN-ZN PRODUK METALURGI SERBUK

Sri Endah Susilowati¹, Didit Sumardianto²

^{1,2,)} Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta

Email: sri.endah@uta45jakarta.ac.id

ABSTRAK

Bearing dengan material tembaga banyak dibutuhkan karena sifatnya yang memiliki ketahanan aus dan kekuatan yang relatif lebih baik dibandingkan dengan bahan dasar lainnya. Salah satu proses pembuatannya adalah melalui proses metalurgi serbuk. Keunggulan dari metode metalurgi serbuk adalah dapat dilakukannya pengontrolan jumlah pori dan kontrol dimensi yang baik. Dalam penelitian ini dilakukan pembuatan material bantalan perunggu Cu-Sn- Zn/C grafit (*bronze bearing*) dengan metode metalurgi serbuk mulai dari tahapan karakterisasi serbuk, pencampuran serbuk, kompaksi, sampai sintering. Tujuan khusus penelitian ini adalah untuk mempelajari pengaruh variabel penambahan fraksi berat grafit terhadap densitas dan kekerasan, material bearing dan struktur mikronya. Dari hasil penelitian sebelumnya diperoleh bahwa dengan meningkatnya fraksi berat grafit mulai dari wt%: 0,5%, 1% densitas dan kekerasan semakin meningkat. Sedangkan pada peningkatan fraksi berat grafit diatas 1%, yaitu 1,5% dan 2% densitas dan kekerasan mengalami penurunan.. Hal ini berkaitan dengan peran grafit sebagai penguat dan pelumas, yang terbasahi dengan baik oleh Sn dan Zn, sehingga pada penambahan fraksi berat grafit hingga 1% densitas dan kekerasan akan meningkat. Pada penambahan fraksi berat grafit diatas 1% , Sn dan Zn yang kadarnya tetap tidak mampu untuk membasahi Cu dan Grafit dengan baik sehingga densitas dan kekerasan menurun. Pada penambahan fraksi berat grafit 1% , densitas dan kekerasan mencapai nilai optimal, berturut-turut sebesar 6,67 g/cm³ dan 55 BHN.

Kata kunci : Komposit, Grafit, Bronze, Struktur Mikro, PM

Bearings with copper material are widely needed because of its properties that have relatively better wear resistance and strength compared to other basic materials. One of the manufacturing processes is through the powder metallurgy process. The advantage of the powder metallurgy method is that it can control the number of pores and good dimensional control. In this study, the manufacture of Cu-Sn- Zn / C graphite bronze bearing material (*bronze bearing*) was carried out using the powder metallurgy method starting from the stages of powder characterization, powder mixing, compaction, to sintering. The specific objective of this study is to study the effect of the variable addition of graphite weight fraction on density and hardness, bearing material and its microstructure. From the results of previous studies, it was obtained that with increasing graphite weight fraction starting from wt%: 0.5%, 1% density and hardness increased. While increasing the weight fraction of graphite above 1%, namely 1.5% and 2%, the density and hardness decreased. This is related to the role of graphite as a strengthener and lubricant, which is well wetted by Sn and Zn, so that when adding the weight fraction of graphite up to 1%, the density and hardness will increase. When adding the weight fraction of graphite above 1%, Sn and Zn whose levels remain are not able to wet Cu and Graphite well so that the density and hardness decrease. When adding the weight fraction of graphite 1%, the density and hardness reach optimal values, respectively 6.67 g / cm³ and 55 BHN.

Keywords: Composite, Graphite, Bronze, Microstructure, PM

PENDAHULUAN

Metalurgi serbuk/ Powder Metalurgi (PM) adalah studi tentang pemrosesan serbuk logam, yang meliputi fabrikasi, karakterisasi, dan konversi serbuk logam menjadi komponen rekayasa yang berguna. Ini adalah proses manufaktur serbaguna yang dapat menghasilkan berbagai macam material, struktur mikro, dan sifat baru [1]. Langkah-langkah utama PM meliputi karakterisasi serbuk, pencampuran serbuk, pemadatan dan sintering padatan. PM adalah yang paling murah di antara beberapa metode yang memungkinkan untuk memproduksi suatu komponen. Selain itu, dimulai dengan bahan baku serbuk, beberapa karakteristik unik dari produk dapat dibuat, yang akan sulit jika tidak mustahil, dalam pemrosesan tradisional [2, 3].

Bantalan pelumas sendiri mungkin merupakan aplikasi yang paling umum untuk serbuk Cu, yang mencakup sekitar 70% dari total produksi serbuk Cu dalam bentuk butiran [4]. Bantalan adalah elemen mesin yang memberikan gerakan rotasi relatif antara komponen melalui gerakan geser. Bantalan harus memiliki karakteristik yang diharapkan, seperti konduktivitas termal yang baik, biaya rendah, ketahanan aus yang tinggi, koefisien gesekan yang rendah, kemudahan pengerjaan, kapasitas beban tinggi, ketahanan korosi, ekspansi termal yang rendah dan kemampuan melekat pada partikel asing [5]. Bantalan pelumas mandiri (*self-lubricating*) merupakan aplikasi industri tertua dari bahan berpori yang diperoleh melalui PM. Keunggulan teknis dan ekonomis dari PM telah memungkinkan penggunaan berbagai macam bahan dan produk baru dengan sifat-sifat unik [6]. Bantalan bearing yang dibuat dengan PM untuk mencapai sifat mekanis dan tribologi yang tinggi [6-8]. Akibatnya bantalan harus dirancang secara tepat untuk membuat mesin lebih produktif [7].

Teknik PM merupakan metode yang disukai untuk memproduksi logam berpori untuk mengendalikan tingkat porositas dan distribusi ukuran pori dalam produk logam berpori. Logam berpori digunakan dalam banyak aplikasi teknis seperti filter, membran, komponen struktural, peredam suara, unit gasifikasi, bantalan, perangkat elektrokimia, atau implan biomedis [9]. Sifat-sifat komponen yang diproduksi ditentukan oleh komposisi material, ukuran pori, dan distribusi porositas. Adapun jenis pori, jumlah, distribusi, dan bentuk bubuk penting untuk meningkatkan kondisi bantalan pelumas mandiri dan mengatur jumlah oli yang terimpregnasi [10]. Bantalan geser berpori dibuat dengan menyinter serbuk logam yang dikompresi di bawah tekanan [11] yang memiliki keunggulan pengendapan minyak sekitar 25% dari volumenya di pori-pori dan minyak di pori-pori naik ke permukaan untuk pelumasan selama servis. Pori-pori pada bahan bantalan perunggu berfungsi sebagai tempat penyimpanan pelumas (*reservoir oli*). Fenomena ini merupakan salah satu karakteristik yang dicari dalam bantalan dan teknik PM digunakan untuk memberikan minyak ke dalam bagian-bagian mesin yang tidak dapat dilumasi secara terus-menerus. Selain kuningan khususnya perunggu dalam paduan berbasis tembaga, banyak digunakan sebagai bahan bantalan bearing [12]. Bahan bantalan berbasis tembaga juga banyak digunakan dalam aplikasi kedirgantaraan dan otomotif karena sifat-sifatnya seperti mekanik yang sangat baik, ketahanan aus, ketahanan korosi yang baik, pelumasan sendiri, dan konduktivitas termal dan listrik yang tinggi [13-15].

Bantalan perunggu dengan tambahan grafit cocok untuk kondisi beban berat, beban tinggi, dan suhu tinggi. Pelumasan disediakan oleh grafit yang ditambahkan selama

proses pembuatan paduan [1]. Komposisi bahan bantalan perunggu adalah 90% Cu–10% Sn dengan penambahan grafit 1,5% [2]. Grafit ditambahkan untuk mengurangi gesekan selama aplikasi [16,17]. Lebih jauh, penambahan grafit ke paduan tembaga-timah menunjukkan bahwa komposit yang mengandung grafit, yang diproduksi oleh PM dan TiC yang dimasukkan antara matriks grafit dan perunggu efektif dalam meningkatkan sifat mekanik dan tribologi komposit [18].

Banyak penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan ikatan antarmuka antara bahan tembaga dan karbon, yang dapat diringkas menjadi dua jenis metode: metalisasi permukaan [19-21] dan paduan matriks [22-24]. Pan et al. [18] menyiapkan komposit matriks tembaga menggunakan grafit sebagai pelumas, titanium karbida (TiC) yang melekat pada permukaan grafit dimasukkan melalui *self-propagating high-temperature synthesis* (SHS) untuk meningkatkan ikatan antarmuka perunggu/grafit. Hasilnya, komposit menjadi lebih padat, dan sifat mekaniknya ditingkatkan.

Pada penelitian ini akan dibuat bantalan perunggu dengan fraksi berat 88 wt% Cu, 9 wt% Sn dan 3 wt% Zn; variasi fraksi berat grafit 0,5%, 1,0%, 1,5% dan 2,0% serta temperatur wt % grafit akan dipelajari.

METODE

Karakterisasi serbuk

Sifat serbuk diamati untuk mengetahui distribusi ukuran partikel serbuk, bentuk partikel serbuk, dan komposisi serbuk. Mesin pengayak digunakan untuk mengetahui distribusi ukuran serbuk. Sementara itu, dilakukan uji SEM (Scanning Electron Microscope) untuk mengetahui bentuk partikel serbuk, dan dilakukan uji XRF (X-Ray Fluorescence) untuk mengetahui komposisi serbuk.

Pembuatan komposit perunggu – grafit

Partikel serbuk dengan ukuran : Cu (65 μm), Sn (42 μm), Zn (65 μm) dengan kemurnian 99% digunakan sebagai komposit bantalan perunggu atau matriks, dan grafit (50 μm) dengan kemurnian 99,5% dibuat dengan cara pencampuran menggunakan planetary ball mill. Komposisi wt% Cu:Sn:Zn adalah 88:9:3 dengan penambahan grafit sebesar 0,5 wt%, 1,0 wt%, 1,5 wt% dan 2,0 wt%. Campuran serbuk yang dihasilkan kemudian dipadatkan selama 30 detik pada tekanan 200 bar dengan mesin Krisbow yang berfungsi sebagai alat pengepres cetakan dan diperoleh sampel berbentuk cakram dengan dimensi 200 mm $\times$ 4 mm (diameter $\times$ tinggi). Sampel cakram disinter dalam tungku Carbolite pada suhu 800 °C selama 5 menit sebelum didinginkan dalam tungku. Laju pemanasan ditetapkan pada 100 °C per menit dan dipertahankan pada suhu 500 °C selama 10 menit untuk menghindari kejutan termal. Setelah itu, sampel dipoles menggunakan kertas SiC dengan ukuran grit yang berbeda. Dengan demikian, spesimen dengan berbagai variasi berat grafit disiapkan untuk melakukan berbagai pengujian.

Studi morfologi permukaan dilakukan dengan menggunakan mikroskop elektron *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan mikroskop optik. Prinsip Archimedes diterapkan pada pengukuran densitas. Selain SEM juga digunakan EPMA (*Electron Probe Micro Analyzer*) yaitu teknik nondestruktif yang memungkinkan penentuan komposisi volume kecil material padat. Densitas non sinter dan densitas sinter dari sampel yang dipadatkan dan disinter dihitung dengan mengukur densitas massalnya menggunakan berat

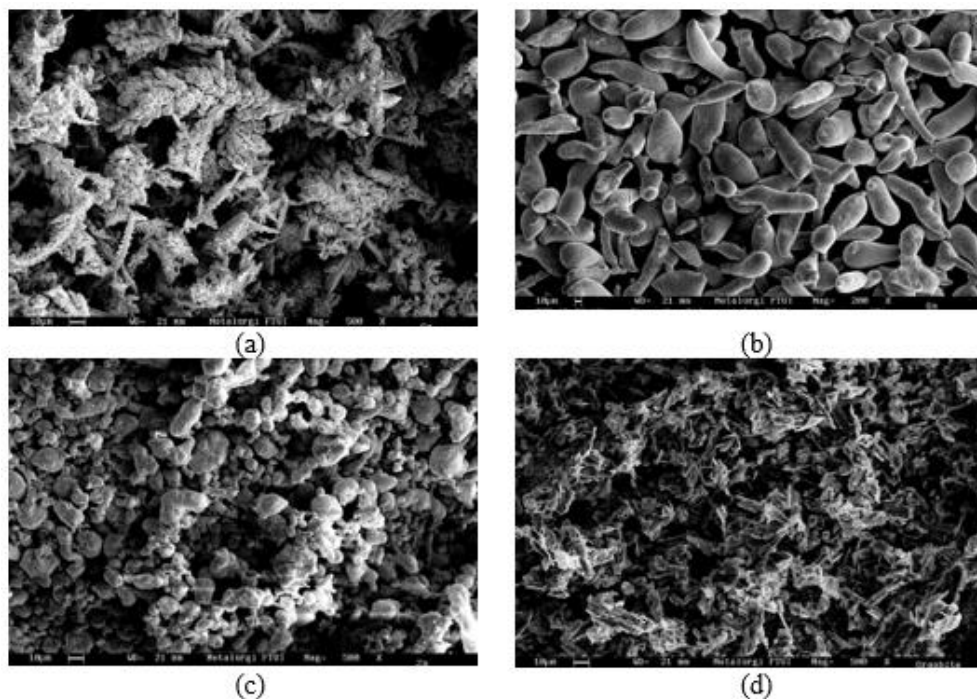
kering sampel, berat sampel yang tersuspensi, dan berat sampel yang direndam. Kemudian densitas relatif dihitung dengan membagi densitas massal dengan densitas teoritis. Densitas teoritis dihitung menggunakan aturan campuran dengan asumsi tidak ada reaksi dan tidak ada pengotor dalam bahan yang disinter (ASTM C 20-92). Kekerasan komposit diukur dengan metode uji kekerasan Brinell. Standar uji yang digunakan adalah ASTM-E10, menggunakan indentor bola baja dengan diameter 3 mm dan beban 62,5 kg. Indentasi dengan waktu tahan indentasi 10 detik. Jejak indentasi diukur menggunakan mikroskop pengukur jejak.

HASIL DAN PEMBAHASAN

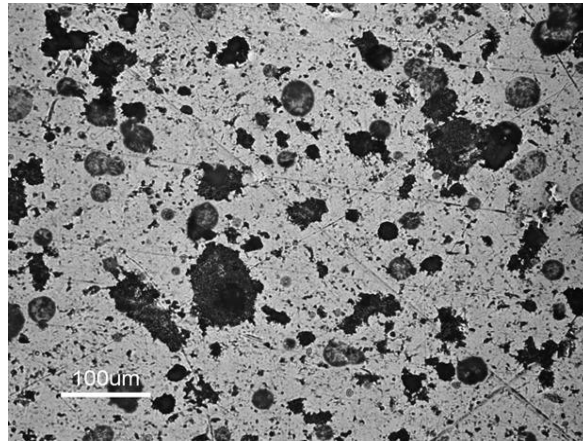
Pengamatan mikrostruktur

Pengamatan SEM

Analisis SEM (Scanning Electron Microscope) menunjukkan bentuk serbuk Cu (dendritik), Sn (ligamental), Zn (spherical) dan C graphite (flake) (Gambar 1). Bentuk partikel serbuk yang bervariasi memungkinkan serbuk mengalami *interlocking* mekanis setelah dipadatkan [25]. Adanya distribusi ukuran serbuk yang bervariasi ini memungkinkan serbuk yang lebih halus dapat saling mengisi di antara rongga serbuk yang lebih kasar sehingga diperoleh densitas yang optimal. Selain itu, ukuran partikel serbuk yang halus memungkinkan serbuk untuk lebih banyak bersentuhan antar partikel sehingga luas permukaan kontak ini akan meningkatkan mekanisme ikatan antar partikel melalui difusi selama sintering [25].

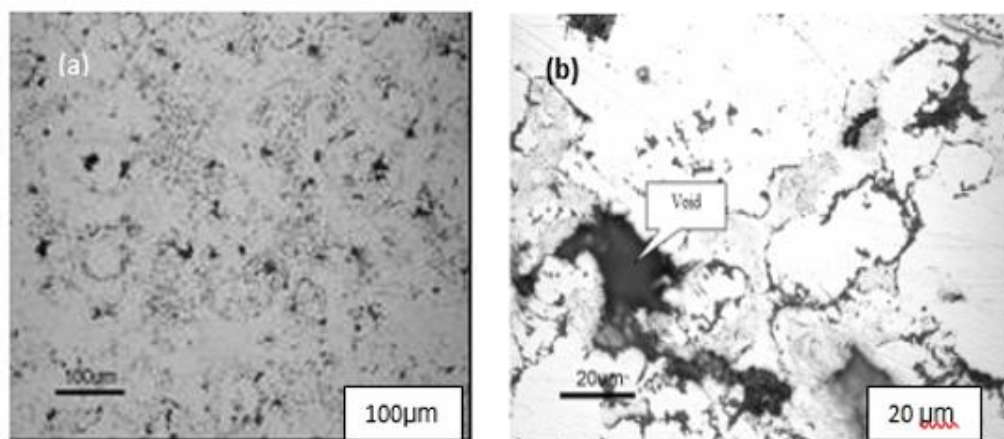


Gambar 1. Hasil SEM serbuk: (a) Cu (dendritik), (b) Sn (ligamental), (c) Zn (bulat), dan (d) C grafit (serpihan)

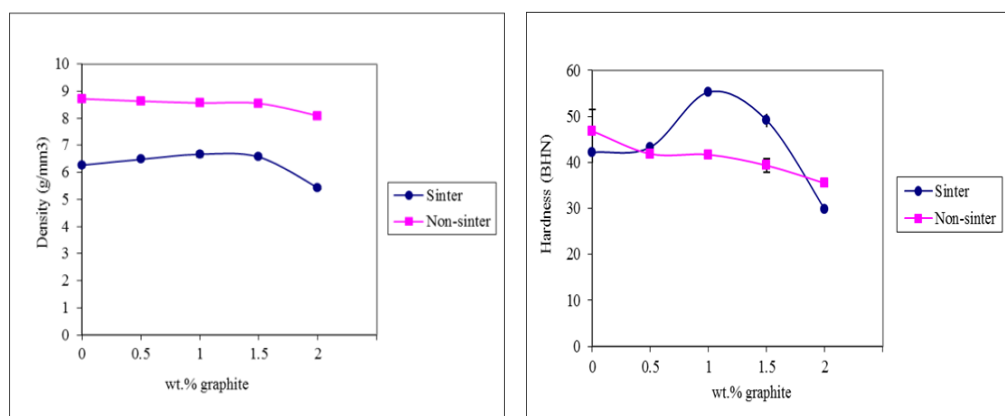


Gambar 2. Sampel mikrostruktur non-sinter dengan SEM

Dari hasil pengamatan SEM terlihat untuk sampel non sinter, grafit bergerombol dan tersebar merata (Gambar 2).



Gambar 3. Sampel mikrostruktur sinter dengan SEM pada wt% grafit (a) 1% dan (b) 2%



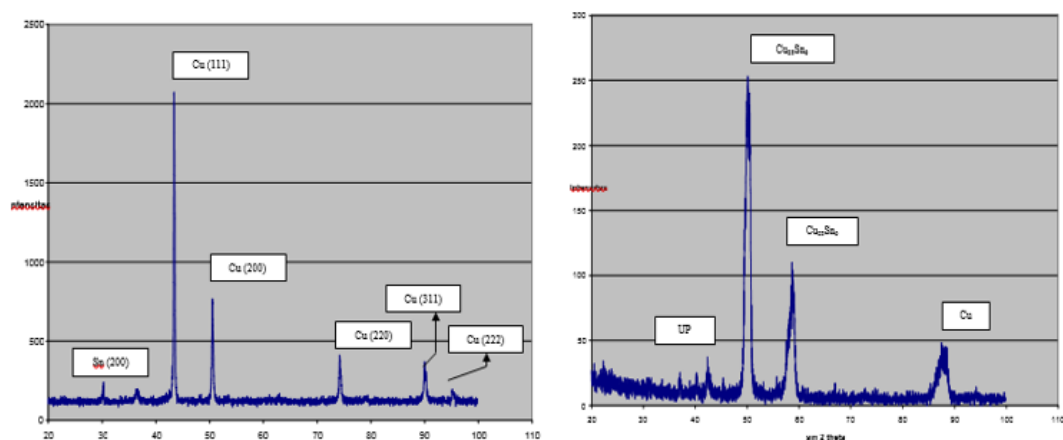
Gambar 4. Pengaruh wt% grafit terhadap : a. Densitas b. Kekerasan

Analisis SEM juga menunjukkan bahwa pori-pori dalam sampel grafit yang tidak disinter tidak terdistribusi secara merata, dengan beberapa rongga di sekitar grafit. Rongga-rongga ini tidak terlihat di mikroskop optik. Struktur mikro partikel setelah sinterring berbeda dari yang sebelum sinterring menunjukkan distribusi pori yang lebih merata. Mikrostruktur yang disinter dengan fraksi berat grafit 1,0% menunjukkan pori-pori kecil dan distribusi pori-pori lebih merata, sedangkan sampel dengan fraksi berat grafit 2,0% menunjukkan pori-pori besar (Gambar 3.a dan 3b). Pada penambahan fraksi berat grafit 1% , densitas dan kekerasan mencapai nilai optimal, berturut-turut sebesar 6,67 g/cm³ dan 55 BHN (Gambar 3a). Partikel grafit yang berbentuk serpihan memiliki luas permukaan yang besar, dan hanya sebagian dari mereka yang akhirnya melekat pada Cu. Bagian partikel grafit, yang tidak direndam oleh Sn dan Zn, akan menciptakan ruang kosong antara Cu dan partikel grafit. Hasil ini akan meningkatkan jumlah pori-pori dalam sampel. Kehadiran Sn dan Zn menjadi penting karena Cu dan grafit memiliki sifat pembasahan yang buruk [26, 27]. Secara khusus, Cu sebagai matriks tidak mengalami fase cair.

UJI XRD

Pola difraksi sampel paduan Cu-Sn-Zn-C dengan perlakuan non sinter menghasilkan dua fasa, yaitu Cu dan Sn (Gambar 5a). Untuk fasa Zn yang tidak teridentifikasi, hal ini terjadi karena konsentrasi Zn yang kecil (hanya 3%). Pada sampel non sinter, paduan belum terbentuk sehingga yang ada hanya fasa murni seperti pada partikel-partikel penyusunnya. Proses sinterring Cu-Sn-Zn dan grafit dengan suhu sinterring 800°C menghasilkan fasa dominan Cu₂₀Sn₆, selain itu masih terdapat fasa Cu (Gambar 5

b). Pada suhu sinterring 800°C terjadi mekanisme sinterring fasa cair melalui difusi atom dimana fasa cair Sn dan Zn mengisi pori-pori antara serbuk Cu dan grafit serta membasahi batas butir Cu sehingga terbentuk ikatan [13, 16]. Sn berdifusi dengan Cu membentuk paduan Cu₂₀Sn₆, dengan adanya paduan tersebut juga menyebabkan peningkatan kekerasan sifat material.



Gambar 5 .Pola Difraksi XRD pada Sampel : a). Non Sinter b). Sinterring 800°C.

KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini diambil sebagai berikut:

1. Komposit berbasis Cu-Sn-Zn dengan penambahan grafit dikembangkan sebagai material self-lubricating untuk bantalan polos menggunakan metalurgi serbuk dan sintering.
2. Fraksi berat grafit dapat mempengaruhi sifat mekanik komposit Cu-Sn-Zn-C. Sifat mekanik komposit Cu-Sn-Zn-C mencapai optimumnya pada fraksi berat grafit 1,0 wt% . Kekerasan, densitas, kuat tekan, porositas dan laju keausan berturut-turut adalah 55 BHN, 6,67 g/cm³, 538 MPa, 1,88 10⁻⁶ mm³/mm dan 23,3% pada fraksi berat ini. Akan tetapi, peningkatan fraksi berat grafit di atas 1,0 wt% (1,5 wt% C dan 2,0 wt% C dalam penelitian ini) dapat menurunkan kekerasan, densitas dan kuat tekan tetapi meningkatkan laju keausan dan nilai porositas.
3. Berdasarkan pengamatan mikrostruktur, ukuran pori tampak mengecil seiring dengan peningkatan fraksi berat grafit yang mencapai 1,0%. Selanjutnya, pori membesar karena adanya densifikasi dan difusi Sn dan Zn (fase cair) dalam Cu dan grafit. Sn dan Zn berperan sebagai agen pembasah, yang dapat meningkatkan kekuatan material.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Chaira, Powder metallurgy routes for composite materials production, Encyclopedia of Materials: Composites 2 (2021) 588-604.
- [2] ASM Handbook Volume 2, Properties and Selection: Nonferrous Alloy and Special-Purpose Materials, USA: ASM International, 1990, pp. 392-530.
- [3] Metal Powder Industries Federation, Powder Metallurgy Design Manual 2nd Edition, Priceton USA, 1995, pp. 74-76.
- [4] P. Suman, P. K. Bannaravuri, G. Baburao, S. R. Kandavalli, S. Alam, M. S. Raju, K. S. Pulisheru, Integrity on properties of Cu-based composites with the addition of reinforcement: a review. In Press: Materials Today: Proceedings (2021).
- [5] B. S. Unlu, Tribological and mechanical properties of PM journal bearings. Powder Metallurgy 54(3) (2011) 338-342.
- [6] A. Kumar, P. Kumar, An application of short bearing theory to analyse the effect of variable permeability on steady state performance of turbulent hydrodynamic porous journal bearings. 1996
- [7] A. Tavakoli, R. Liu, X. Wu, Improved mechanical and tribological properties of tin-bronze journal bearing materials with newly developed tribology alloy additive. Materials Science and Engineering A 489 (1-2) 389-402.

- [8] K. Güngör, I. Ozsert, A. Demirer, F. Ficici. A. Demir . Experimental optimization of wear parameters of sintered bronze based materials, *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences* 22 (2015) 288-296.
- [9] M. Bram, N. Daudt, H. Balzer, *Porous Metals From Powder Metallurgy Techniques*. In book: *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering* 2021.
- [10] E. Durak, F. Duran, Fazlı. Tribological and fatigue failure properties of porous P/M bearing. *International Journal of Fatigue* 30(4) (2008) 745-755.
- [11] T. Pelletiers, A. Nadkarni, R. Ijeoma, T. Murphy, Improving performance from self-lubricating bronze bearings. *Metal Powder Report* 62(4) (2007) 26-31.
- [12] B. S. Ünlü, E. Atik, Evaluation of effect of alloy elements in copper based CuSn10 and CuZn30 bearings on tribological and mechanical properties. *Journal of Alloys and Compounds* 489(1) (2010) 262-268.
- [13] W. B. Eisen B. L. Ferguson, R. M. German, R. Iacocca, P. W. Lee, D. Madan, K. Moyer, H. Sanderow, Y. Trudel, *ASM Handbook, Volume 7: Vol. 7 Powder metal technologies and applications*. 1998.
- [14] M. K. Singh, R. K. Gautam, G. Ji, Mechanical properties and corrosion behavior of copper based hybrid composites synthesized by stir casting. *Results in Physics* 13 (2019) 102319.
- [15] J-F. Silvain, J-M. Heintz, A. Veillere, L. Constantin, Y. F. Lu, A review of processing of Cu/C base plate composites for interfacial control and improved properties. *International Journal of Extreme Manufacturing* 2 (2020), 1-21.
- [16] B. Parveez, M. F. Wani, Tribological behaviour of nano-zirconia reinforced iron-based self-lubricating composites for bearing applications. *Tribology International* 159 (2021), 106969, 1-11.
- [17] R. M. German, *Sintering: from empirical observations to scientific principles*. Butterworth-Heinemann, 2014.
- [18] J. Pan, J. Yin, Y. Xia, D. Yao, H. Liang, K. Zuo, Y. Zeng, The microstructure and properties of bronze matrix composites with surface-modified graphite by titanium carbide adhesion. *Tribology International* 140 (2019), 105892, 1-7.
- [19] J. M. Zhu, J. W. Li, T. Liu, Z. Chen, H. C. Fang, P. Xio, F. Kong, Differences in mechanical behaviors and characteristics between natural graphite/copper composites and carbon-coated graphite/copper composites. *Materials Characterization* 162 (2020), 110195,
- [20] G. Kou, L-J. Guo, Z-Q. Li, J. Peng, J. Tian, C-X. Huo, Microstructure and flexural properties of C/C-Cu composites strengthened with in-situ grown carbon nanotubes. *Journal of Alloys and Compounds* 694 C (2017) 1054-1060.
- [21] B. Bashir, W. Shaheen, M. Asghar, M. F. Warsi, M. A. Khan, S. Haider, I. Shakir, M. Shahid, Copper doped manganese ferrites nanoparticles anchored on graphene

- nano-sheets for high performance energy storage applications. *Journal of Alloys and Compounds* 695 (2017), 881-887.
- [22] L. Ran, M. Y. L. Yang, Ablation property of a C/C–Cu composite prepared by pressureless infiltration. *Materials Letters* 65(13) (2011), 2076-2078.
- [23] L. Zhu, M. Yi, L. Wang, S. Chen, Effects of foam copper on the mechanical properties and tribological properties of graphite/copper composites. *Tribology International* 148 (2020), 106164.
- [24] X. Peng, Y. Huang, X. Han, R. Fan, High volume fraction of copper coated graphite flake\ Nitrogen doped carbon fiber reinforced aluminum matrix composites. *Journal of Alloys and Compounds* 822 (2020), 153584.
- [25] R. M., German, Powder metallurgy science. Metal Powder Industries Federation, 105 College Rd. E, Princeton, N. J. 08540, U. S. A, 1984. 279, 1984.
- [26] D. B. Miracle, S. L. Donaldson, ASM handbook. Materials Park, OH: ASM international, 2001.
- [27] Z. Tao, The wettability and interface thermal resistance of copper/graphite system with an addition of chromium. *Materials Chemistry and Physics* 128 (1-2) (2011), 228-232.