

Morfologi dan Distribusi Partikel TiC pada MMC

Muhammad Budi Haryono^{1*}, Wikan Budi Utami², Fikri Aulia³

¹Program Studi Teknik Mesin, Universitas PGRI Semarang
Jl. Sidodadi Timur Nomor 24 - Dr. Cipto Semarang

²Program Studi Pendidikan Matematika, Universitas Pancasakti Tegal
Jl. Halmahera Km.1 Kota Tegal

³Program Studi Bimbingan dan Konseling, Universitas Pancasakti Tegal
Jl. Halmahera Km.1 Kota Tegal

*E-mail: muhammadbudiharyono@upgris.ac.id

Diterima: 31-03-2020; Direvisi: 22-08-2020; Dipublikasi: 01-09-2020

Abstrak

Diketahui secara luas bahwa performa special dari komposit dengan penguat skala nano ditentukan oleh morfologi dan distribusi dari partikel penguat. Titanium karbida (TiC) memiliki potensi yang sangat baik untuk dikembangkan, dan telah menarik perhatian dari banyak peneliti untuk dikembangkan. Morfologi partikel TiC dibagi menjadi tiga morfologi: *one-dimensional nanostructure*, *two-dimensional nanosheets*, dan *three-dimensional* nanopartikel. Selain morfologi, model distribusi dari TiC partikel patut dipertimbangkan sebagai sarana meningkatkan performa dari komposit. Model distribusi dari partikel TiC sebagai berikut: *Isolated*, *laminated*, *network* dengan partikel terisolasi, *network* dengan *interconnected particles*, *nacre-like structure*, dan distribusi seragam.

Kata kunci: Model Distribusi; Morfologi; TiC

Abstract

It is widely to known that the special performance of composites with nanoscale reinforcement is determined by the morphologies and distribution model of the reinforcing particles. Titanium carbide (TiC) has excellent potential to be developed, and attracted the attention of many researchers to be developed. The morphologies of TiC particles is divided into three morphologies: *one-dimensional nanostructure*, *two-dimensional nanosheets*, and *three-dimensional nanoparticles*. In addition to morphology, the distribution model of TiC particles should be considered as a means of increasing the performance of composites. The distribution model of TiC particles is as follows: *isolated*, *laminated*, *network with isolated particles*, *network with interconnected particles*, *nacre-like structure*, and *uniform distribution*.

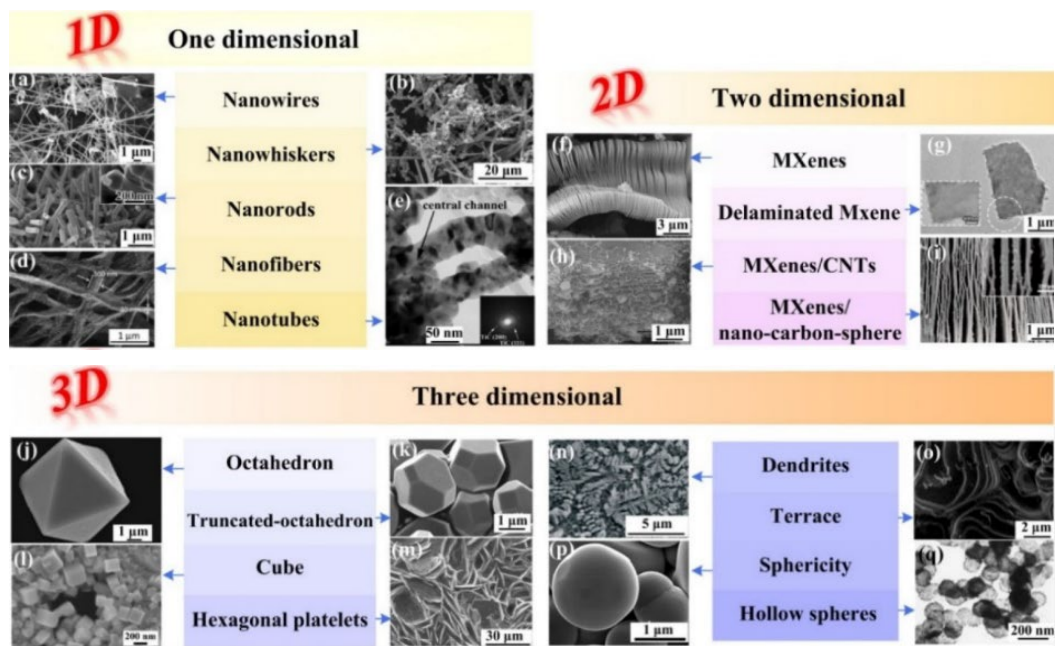
Keywords: Distribution Model; Morphology; TiC

1. Pendahuluan

Komposit merupakan kandidat untuk aplikasi dikarenakan ringan serta memiliki kombinasi dari kekuatan dan *plasticity* yang dibutuhkan. *Metal matrix composites (MMC)* dengan penguat partikel keramik memiliki ketahanan aus yang sangat baik, ketahanan korosi dan tahan retak pada temperature tinggi [1-3]. TiC merupakan senyawa yang sangat penting antara transisi *metal carbides*, disebabkan memiliki kekuatan fisik yang diharapkan, seperti temperature leleh yang tinggi (3140°C), temperature didih yang tinggi (4820°C), kekerasan *Vickers* yang tinggi (25-35 Gpa), Young modulus yang tinggi (410-450 Gpa) kepadatan yang rendah (4,93g-cm³), kekuatan *flexural* yang tinggi (240-400 N/mm²), konduktivitas *thermal* yang baik (21W/m²XK). Ketahanan yang tinggi untuk korosi dan oksidasi, ketahanan abrasi yang tinggi. Dan ketahanan *thermal shock* yang tinggi [4-5]. MMC dengan penguat TiC merupakan komposit yang unik. Komposit memiliki kekuatan yang special seperti kekuatan yang tetap dipertahankan pada temperature tinggi dan peningkatan *machinability* pada kondisi *annealed*. Penggunaan komposit ini dibatasi hanya untuk aplikasi yang sangat spesifik dikarenakan proses fabrikasi yang kompleks, sifat formabilitas yang terbatas serta ditambah biaya karbida [6]. Pada ringkasan jurnal ini untuk meningkatkan pengetahuan tentang morfologi dan distribusi dari partikel TiC pada komposit.

2. Morfologi TiC

Titanium merupakan logam transisi yang signifikan, dan keramik karbida menunjukkan beberapa karakteristik komprehensif yang unggul. Titanium karbida mendorong kemajuan pada manufaktur material ringan, penyerapan gelombang mikro, teknologi perlindungan elektromagnetik, konversi energi, dan sintesis yang dikatalis. Keramik titanium karbida menunjukkan morfologi khusus untuk mengikuti penerapan lebih lanjut. Aplikasi mereka dapat sangat baik dengan mengontrol karakteristik ekstrinsik mereka, terutama ukuran dan morfologi pertumbuhan. TiC memiliki berbagai morfologi *one-dimensional nanowires, nanorods, nanofibers, nanowhiskers* dan *nanotubes*; *two-dimensional nanosheets*; *three-dimensional sphericities, octahedrons, truncated octahedrons, cubes, hexagonal structures, dendrites*, dan *terraces* [7-10]. Morfologi TiC dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Variasi morfologi TiC dengan perbedaan dimensi [7]

3. Pertumbuhan Partikel TiC

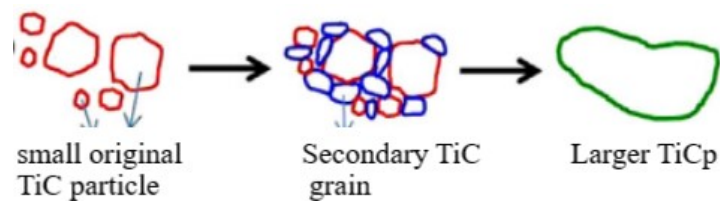
3.1. Mekanisme dari formasi butir TiC oktahedral

Butir TiC berbentuk oktahedral merupakan tipe bentuk untuk pertumbuhan butir TiC pada temperature pembakaran yang rendah. Akan tetapi, menurut urutan energi bebas dari perbedaan permukaan TiC ($\gamma_{111} > \gamma_{110} > \gamma_{100}$). Permukaan (100) merupakan permukaan paling stabil dan bentuk pertumbuhan equilibrium harus kubus, yang jelas tidak konsisten dengan hasil pengamatan eksperimental. Mekanisme pembentukan butiran TiC oktahedral terbentuk pada suhu rendah ($T_c < 1750^\circ\text{C}$) masih belum jelas [11–14].

3.2. Mekanisme Perubahan bentuk dari butir TiC

Evolusi bentuk dari TiC dapat terjadi selama proses pemanasan. Bentuk dari oktahedral ke bentuk lain seperti bola dan lainnya disebabkan oleh perbedaan temperatur. Perubahan bentuk TiC dapat terjadi disebabkan oleh mekanisme *reprecipitation*. Proses perlakuan panas dapat menyebabkan pertumbuhan butir TiC disebabkan TiC memiliki gaya apung pada matriks, partikel TiC akan terdistribusi kembali atau terserap kedalam matriks akan tetapi bertabrakan dengan partikel lainnya sehingga TiC bergabung dengan yang lain membuat partikel yang lebih besar dengan densitas yang lebih rendah

(Gambar 2) [13–15]. Butir TiC dapat berevolusi pada temperature antara $T_{227^{\circ}-727^{\circ}\text{C}}$ serta tergantung pada waktu penahanan. Merhanov dan khina membuat teori *after burned step* dimana partikel TiC dan karbon berdifusi terjadi selama proses pendinginan (dimana temperature turun dari angka maksimal ke angka karakteristik)[16–18].



Gambar 2. Skematik pertumbuhan partikel TiC[20]

3.3. Pengaruh dari Stoichiometry pada Pertumbuhan TiC

TiC memiliki *stoichiometry* yang luas, dari $x=0.47$ hingga 0.98 . *Stoichiometry* TiC memiliki effect yang sangat signifikan pada sifat fisik, seperti modulus, kekerasan dan keterbasahan dengan larutan metal. Hal tersebut mengindikasikan variasi pada *stoichiometry* dapat menjadi faktor utama dalam perubahan signifikan dari ikatan atom. Sangat memungkinkan untuk membuat asumsi bahwa *stoichiometry* dari TiC dapat mengakibatkan pertumbuhan bentuk dari TiC [19–22].

4. Permukaan Matrix-TiC

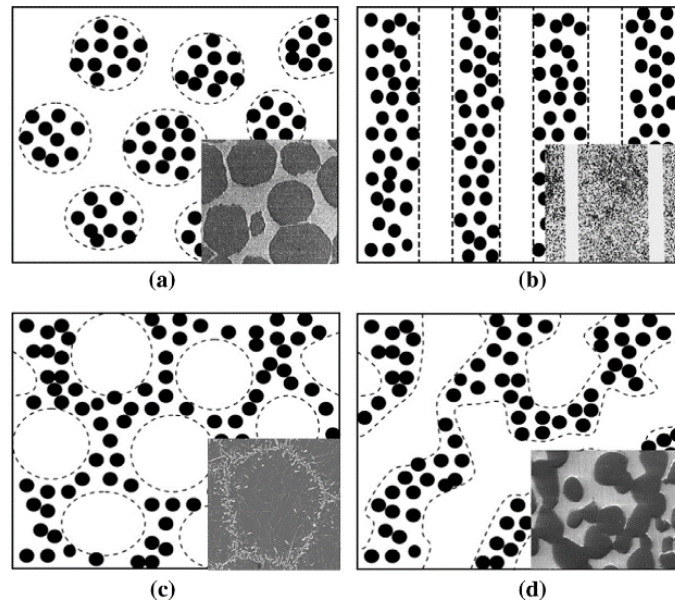
Partikel TiC yang kecil didistribusikan dalam matriks merupakan sumber penguatan komposit. Ikatan yang memadai dan koheren antara matriks dan partikel TiC sangat penting untuk memungkinkan karbida menghasilkan kekuatan yang maksimum. Pengelompokan ikatan antarmuka berdasarkan jenis reaksi kimia antara partikel dan matriks [6, 22], sebagai berikut:

- Ikatan mekanik: Partikel dan matriks saling tidak reaktif, tidak larut dan perkembangan ikatan tanpa adanya reaksi kimia,
- Peleburan dan ikatan keterbasahan: Partikel dan matriks saling tidak reaktif tetapi larut dan ikatan berkembang pada pembasahan dan karakteristik peleburan partikel dan matriks. Untuk pembasahan yang baik, sudut kontak harus kurang dari 90 derajat,
- Ikatan reaksi: Partikel dan matriks bereaksi untuk membentuk senyawa baru atau senyawa pada permukaan.

5. Model Distribusi Partikel TiC

Distribusi partikel TiC-komposit dapat dibagi menjadi *homogeneous dan inhomogeneous* secara efektif memiliki dua region: daerah ramping atau tidak ada penguat (yang menunjukkan daerah lunak pada komposit) dan daerah kaya penguat (menunjukkan daerah yang kuat) [23]. Berdasarkan pengelompokan daerah yang kaya akan penguat dapat dibagi menjadi beberapa model distribusi dapat dilihat pada Gambar 3.

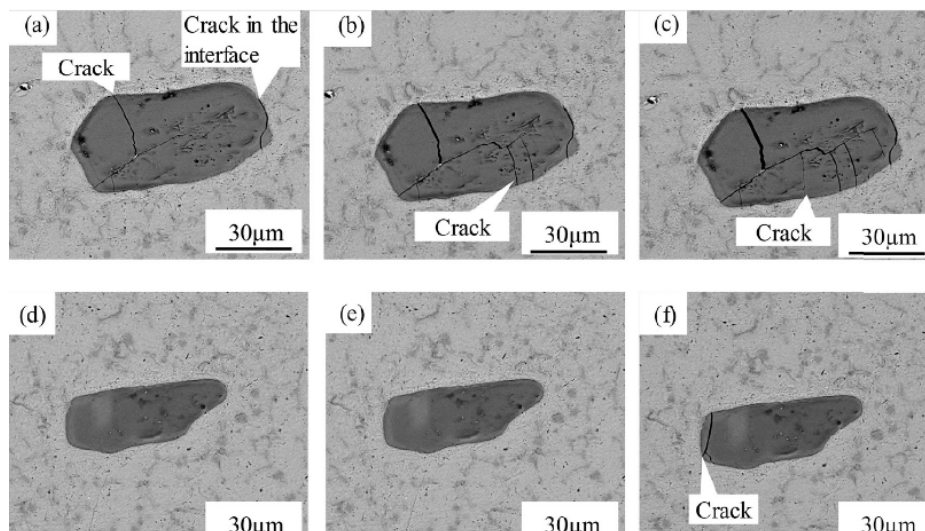
- Isolated*
- Laminated (threadness)*
- Network* dengan partikel terisolasi
- Network* dengan *interconnected particles*
- Nacre-like structure.*
- Distribusi seragam*



Gambar 3. Model distribusi partikel TiC. (a) Model A: *Isolated*, (b) Model B: *Threadness*, (c) Model C: Network dengan partikel terisolasi, dan (d) Model D: network dengan *interconnected particles* [23].

6. Kekuatan Mekanik

Komposit Ti berpenguat partikel TiB diproduksi menggunakan hot-isostatic pressing(HIP). Model distribusi yang dihasilkan adalah struktur *network* dan meningkatkan kekuatan tarik dari 904 MPa ke 1284 MPa [24]. Yang dkk. menginvestigasi model *laminated* pada komposit TiC-Al yang diproduksi dengan pengecoran. Dengan model distribusi *laminated* kekuatan tarik meningkat dari 430 menjadi 550 MPa serta elongasi meningkat dari 9,8% menjadi 15,5%. kekuatan kompresive meningkat dari 1025 menjadi 1350 MPa [25]. Matriks Ti berpenguat TiC yang dibuat dengan pengecoran dan tiga tahap perlakuan panas untuk merubah distribusi partikel TiC. Model distribusi partikel TiC berubah dari distribusi acak menjadi distribusi *network* dengan *isolated particles*. Kekuatan tarik dan elongasi meningkat dari 1092 menjadi 1115,6 MPa, dan elongasi meningkat dari 2.66% menjadi 5.86% setelah tiga tahap proses perlakuan panas [26]. Yang H dkk mempelajari model distribusi *network* dari matrix Al berpenguat TiC yang diproduksi dengan *stir-casting*.



Gambar 4. Proses retakan pada komposit TiCp/Ti6Al4V [28]

Model distribusi *network* memiliki kekuatan tarik yang tinggi pada 392 MPa dan elongasi 1,5%, lebih tinggi dari model distribusi acak [27]. Wang J dkk mempelajari pengaruh dari ukuran partikel TiC pada komposit TiCp/Ti6Al4V yang diproduksi menggunakan *laser melting deposition*. Kekuatan tarik dan elongasi tertinggi adalah komposit dengan penguat sangat kecil ($<10\mu\text{m}$). Komposit dengan kekuatan tarik terendah adalah komposit yang diproduksi menggunakan partikel TiC yang berukuran besar. Dikarenakan partikel TiC besar cenderung mudah retak dan laju rendah sangat memungkinkan terjadi dapat dilihat pada Gambar 4 [27, 28].

7. Aplikasi

Banyak aplikasi yang telah menggunakan kelompok peralatan berbahan komposit. Seperti pisau *palletized*, *mould insert* dan *mould gates* pada *industry plastic: guide, roller, worm heading punches* dan *extrusion dies* pada industry pengerjaan panas; rotor and *pressure plates* untuk membuat pompa bahan bakar; komponen *landing gear* pada industry penerbangan dan cetakan untuk *stamping, forging* dan *swaging* pada pembuatan metal. Penggunaan penguat TiC pada komposisi dalam aplikasi teknologi yang tinggi merupakan hal utama karena memiliki banyak sifat yang baik dan sifat keausan [29-31].

8. Kesimpulan

Partikel TiC memiliki banyak bentuk morfologi. TiC partikel dapat tumbuh dan berubah bentuk dengan pengaruh temperature diatas 227°C dan lamanya waktu penahan. Diketahui secara umum bahwa pertumbuhan partikel TiC kebentuk yang lebih besar dapat merusak kekuatan mekanis dikarenakan partikel TiC yang lebih besar cenderung retak terlebih dahulu selama proses deformasi. Model *inhomogeneous* dari distribusi partikel TiC memiliki pengaruh yang layak dipertimbangkan untuk meningkatkan kekuatan mekanik dari komposit. Untuk pemanfaatan yang lebih maksimal dari komposit berpenguat TiC dapat memperhitungkan bentuk morfologi dan model distribusi dari partikel.

Daftar Pustaka

- [1] Srinivasa, K., Prajwal, A.S., Parashivamurthy, K.I., Rakshith, N. Review on Fe-TiC Composites for Industries, International Research Journal of Engineering and Technology, pp. 394-405, 2016.
- [2] Cen, Q., Jiang, Y., Zhou, R., Xu, Y., Wang, J., Study on in situ synthesis of tic particle reinforced iron matrix composite, Journal of Materials Engineering and Performance, vol. 20, no. 8, pp. 1447–1450, 2011.
- [3] Persson, P., Jarfors, A.E.W., Savage, S., Self-propagating high-temperature synthesis and liquid-phase sintering of TiC/Fe composites, Journal Matererials Processing Technology., vol. 127, no. 2, pp. 131-139, 2002.
- [4] Shin, Y., X. S. Li, C. Wang, J. R. Coleman, and G. J. Exarhos, Synthesis of hierarchical titanium carbide from titania-coated cellulose paper, Advanced Materials., vol. 16, no. 14, pp. 1212–1215, 2004.
- [5] Chen, Y., Deng, Y., Zhang, H., Wang, L., Ma, J. A Novel and Simple Route to Synthesis Nanocrystalline Titanium Carbide Via the Reaction of Titanium Dioxide and Different Carbon Source, Materials Science Application., vol. 02, no. 11, pp. 1622–1626, 2011.
- [6] Parashivamurthy, K.I., Kumar, R.K., Seetharamu, S., Chandrasekharaiah, M.N., Review on TiC reinforced steel composites, Journal Materials Science., vol. 36, no. 18, pp. 4519-4530, 2001.
- [7] Dong, B.X., Qiu, F., Li, Q., Shu, S.L., Yang, H.Y., Jiang, Q.C., The synthesis, structure, morphology characterizations and evolution mechanisms of nanosized titanium carbides and their further applications, Nanomaterials," Nanomaterials., vol. 9, no. 8, 2019.

- [8] Yang, H., Gao, T., Wu, Y., Zhang, H., Nie, J., Liu, X. Microstructure and mechanical properties at both room and high temperature of in-situ TiC reinforced Al-4.5Cu matrix nanocomposite, *Journal Alloys Compounds.*, vol. 767, pp. 606–616, 2018.
- [9] Dai, B., et al., Novel two-dimensional Ti₃C₂T_x MXenes/nano-carbon sphere hybrids for high-performance microwave absorption, *Journal Materials Chemistry C*, vol. 6, no. 21, pp. 5690–5697, 2018.
- [10] Gao, Y.Y., Qiu, F., Liu, T.S., Chu, J.G., Zhao, Q.L., Jiang, Q.C., Effects of carbon source TiC particles' distribution, tensile, and abrasive wear properties of in situ TiC/Al-Cu nanocomposites prepared in the Al-Ti-C system, *Nanomaterials*, vol. 8, no. 8, 2018.
- [11] Higashi, I., et al., Crystal Growth of Borides and Carbides of Transition Metals From, *Journal of Crystal Growth*, vol. 33, 1976.
- [12] Zaima, S. et al., Atomic chemical composition and reactivity of the TiC(111) surface, *Surface Science.*, vol. 157, no. 2–3, pp. 380–392, 1985.
- [13] Jin, S., Shen, P., Lin, Q., Zhan, L., Jiang, Q., Growth mechanism of TiC_x during self-propagating high-temperature synthesis in an Al-Ti-C System, *Crystal Growth Des.*, vol. 10, no. 4, pp. 1590–1597, 2010.
- [14] Song, M.S., et al., Growth of TiC octahedron obtained by self-propagating reaction, *Journal Crystal Growth*, vol. 311, no. 2, pp. 378–382, 2009.
- [15] Jam, A., Nikzad, L., Razavi, M., TiC-based cermet prepared by high-energy ball-milling and reactive spark plasma sintering, *Ceramics International* vol. 43, no. 2. Elsevier, 2017.
- [16] Choi, Y., Rhee, S.W., Effect of iron and cobalt addition on TiC combustion synthesis, *Journal of Materials Research.*, vol. 8, no. 12, pp. 3202–3209, 1993.
- [17] Messing, G.L., Hirano, S.I., Gauckler, L., Ceramic processing science, *Journal of American Ceramic Society.*, vol. 89, no. 6, pp. 1769–1770, 2006.
- [18] Ding, L., Xiang, D.P., Pan, Y.L., Zhang, T.M., Wu, Z.Y., In situ synthesis of TiC cermet by spark plasma reaction sintering, *Journal Alloys Compounds.*, vol. 661, pp. 136-140, 2016.
- [19] Wang, Z., He, X., Lin, T., Guo, Y., Shao, H., Qu, X., Effects of the TiC and sintering process on the TiC-steel composite, *Materials Science Technology. (United Kingdom)*, vol. 33, no. 15, pp. 1796–1805, 2017.
- [20] Ma, Y., Bao, C., Song, S., Lei, J., Effects of TiC addition on microstructures, mechanical properties and fracture behaviors of porous titanium carbide ceramics, *Ceramic International.*, vol. 44, no. 16, pp. 19919–19925, 2018.
- [21] Holleck, H., Material selection for hard coatings, *Journal of Vacuum Science and Technology A Vacuum, Surfaces, Film.*, vol. 4, no. 6, pp. 2661–2669, 1986.
- [22] Howe, J.M., Bonding, structure, and properties of metal/ceramic interfaces: Part I chemical bonding, chemical reaction, and interfacial structure, *International Materials Reviews.*, vol. 38, no. 5, pp. 233-256, 1993.
- [23] Huang, L.J., Geng, L., Peng, H.X., Microstructurally inhomogeneous composites: Is a homogeneous reinforcement distribution optimal?, *Progress in Materials Science.*, vol. 71, pp. 93-168, 2015.
- [24] Cai, C., et al., In-situ TiB/Ti-6Al-4V composites with a tailored architecture produced by hot isostatic pressing: Microstructure evolution, enhanced tensile properties and strengthening mechanisms, *Composites Part B Eng.*, vol. 164, no. January, pp. 546–558, 2019.
- [25] Yang, H., et al., Simultaneously improving strength and ductility for Al–Cu–Mg alloy via threadiness array of TiC nanoparticles, *Materialia*, vol. 6, no. April, p. 100333, 2019.
- [26] Qi, J.Q., et al., Superior ductility in as-cast TiC/near- α Ti composite obtained by three-step heat treatment,” *Vacuum*,

vol. 126, pp. 1-4, 2016.

- [27] Yang, H., et al., High-temperature mechanical properties of 2024 Al matrix nanocomposite reinforced by TiC network architecture, *Materials Science and Engineering A*, vol. 763, no. July, p. 138121, 2019.
- [28] Wang, J., Li, L., Tan, C., Liu, H., Lin, P., Microstructure and tensile properties of TiCp/Ti6Al4V titanium matrix composites manufactured by laser melting deposition, *Journal Materials Processing Technol.*, vol. 252, no. May 2017, pp. 524–536, 2018.
- [29] Shen, Y.L., Fishencord, E., Chawla, N., Correlating macrohardness and tensile behavior in discontinuously reinforced metal matrix composites, *Scripta Materelia.*, vol. 42, no. 5, pp. 427–432, 2000.
- [30] Ibrahim, I.A., Mohamed, F.A., Lavernia, E.J., Particulate reinforced metal matrix composites - a review, *Journal Materials Science.*, vol. 26, no. 5, pp. 1137–1156, 1991.
- [31] Srivatsan, T.S., Annigeri, R., Prakash, A., Tensile deformation and fracture behaviour of a tool-steel-based metal-matrix composite, *Composites Part A Applied Science and Manufacture.*, vol. 28, no. 4, pp. 377–385, 1997.