

WEAR RESISTANCE OF ABRADABLE-CONDUCTIVE POWDER DEPOSITED BY USING HVOF WITH DIFFERENT SURFACE PREPARATION AND SPRAY DISTANCE

Hendy Roesma Wardhana¹, Raden Dadan Ramdan^{1,*}, Budi Prawara², Erie Martides², Riza Wirawan¹, Bambang Widyanto¹, Rochim Suratman¹, Irma Pratiwi¹, Bagas Indrasyach Pratama¹

¹Teknik Material, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung,
Jalan Ganesha 10, Coblong, Kota Bandung, Jawa Barat, 40132

²Pusat Tenaga Listrik dan Mekatronik, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia,
Jalan Sangkuriang, Komplek LIPI Gedung 20, Kota Bandung, Jawa Barat 40135

*E-mail: dadan@material.itb.ac.id

Diterima: 12-04-2021

Direvisi: 10-02-2022

Disetujui: 01-06-2022

ABSTRAK

Seiring dengan timbulnya berbagai kegagalan material yang diakibatkan oleh komponen baja yang aus, HVOF (*High Velocity Oxygen Fuel*) coating dengan bahan *abrasable* dapat menjadi solusi bagi permasalahan ini. Namun, bahan *abrasable-conductive* masih jarang digunakan untuk pelapisan material, maka hal tersebut masih memerlukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui parameter proses yang optimal. Pada penelitian ini, permukaan substrat diberi perlakuan yang berbeda yaitu *blasting*, *etching*, dan *blasting-etching* dengan tujuan untuk mendapatkan kekasaran permukaan yang berbeda. Parameter jarak penyemprotan divariasikan pada jarak 20 cm dan 30 cm. Proses *blasting-etching* mampu mendapatkan nilai kekasaran substrat yang tinggi. Sementara, proses pelapisan dengan jarak 20 cm memiliki ketebalan lapisan yang lebih tebal dibanding dengan material yang dilapisi pada jarak yang lebih jauh. Kombinasi antara proses *blasting-etching* dengan jarak semprot yang pendek, mampu menghasilkan ketahanan aus yang optimal seperti yang ditampilkan dalam hasil uji *pin-on-disc*.

Kata kunci: HVOF; *abrasable*; permukaan; aus.

ABSTRACT

Along with many material failures due to worn steel components, HVOF (*High Velocity Oxygen Fuel*) coating based *abrasable* material can be solution to overcome this problem. However, *abrasable-conductive* material is still rarely used for coating, therefore it needs investigation to find out the optimum parameters of process. In this work, the surface treatment on substrate was carried out by the different methods such *blasting*, *etching*, and *blasting-etching* to obtain the rough surface. The spraying distance of HVOF process was varied on 20 cm and 30 cm. *Blasting-etching* are able to achieve the roughest surface of substrate. Meanwhile, the spray distance of 20 cm produces thicker layer than the longer spray distance. The combination of *blasting-etching* and the shorter spray distance are able to reach the optimum wear resistance as presented in *pin-on-disc* test.

Keywords: HVOF, *abrasable*, surface, distance, wear

1. PENDAHULUAN

Baja merupakan material yang paling umum digunakan untuk komponen otomotif karena harganya yang relatif murah dan memiliki kekuatan mekanis yang baik [1]. Namun, material baja akan aus dalam waktu yang lama apabila dikenakan gaya gesek secara terus menerus [2]. Meskipun keausan adalah suatu hal yang pasti terjadi, tetapi hal ini dapat ditunda dengan meningkatkan kualitas permukaan material. Peningkatan ketahanan aus material dapat diperoleh dengan beberapa cara, salah satunya adalah pelapisan HVOF (*High Velocity Oxygen Fuel*) *thermal spray*.

Teknik pelapisan HVOF menjadi salah satu metode yang efisien dengan biaya terjangkau [3]. Proses ini dilakukan dengan menyemprotkan lelehan serbuk berukuran mikro untuk dideposisikan secara cepat menuju permukaan substrat. Meskipun demikian, proses ini dapat dilakukan pada temperatur kamar dengan memperhatikan beberapa parameter tertentu seperti jarak penyemprotan, kekasaran permukaan substrat, dan jenis serbuk [4].

Jarak penyemprotan mampu mempengaruhi efisiensi deposisi pada permukaan substrat karena proses ini menggunakan kecepatan penyemprotan yang tinggi. Selain faktor jarak, tingkat kekasaran permukaan substrat juga mampu memberikan hasil yang berbeda terhadap kualitas lapisan. Permukaan substrat yang kasar akan lebih mudah mengikat lelehan serbuk ketika dilakukan proses deposisi [5]. Namun, kedua faktor tersebut akan memiliki nilai optimal yang berbeda karena akan menyesuaikan jenis serbuk yang dipakai pada proses HVOF (*High Velocity Oxygen Fuel*) tersebut. Jenis serbuk mempengaruhi nilai optimal dari jarak penyemprotan dan kekasaran permukaan karena nilai densitas setiap serbuk akan berbeda pula. Terlebih jenis serbuk juga akan memberikan sifat mekanis pada permukaan material yang dilapisi, sehingga perlu didalami lebih lanjut.

Abradable material adalah salah satu jenis material yang memiliki karakter aus abrasif sehingga material ini tidak mengalami kegagalan atau *crack* secara spontan. Oleh

karena itu, serbuk material ini sangat tepat digunakan sebagai bahan utama pelapisan HVOF pada komponen otomotif. Selain itu, penambahan unsur konduktif pada serbuk *abradable material* mampu meningkatkan ketahanan abrasif material karena berperan sebagai penghantar panas, sehingga komponen akan terabrasi secara konstan meskipun bergesekan secara lama [6].

Pada penelitian ini, *abradable material* yang telah ditambahkan unsur konduktif aluminium akan digunakan sebagai bahan baku serbuk. Proses penyemprotan serbuk akan dilakukan pada jarak 20 cm dan 30 cm dari permukaan substrat. Proses pengasaran permukaan dilakukan dengan 3 variasi yaitu *blasting*, *etching*, dan gabungan antara *blasting* dengan *etching*. Pengujian mekanis dan karakterisasi material seperti metalografi, mikrovickers dan *pin-on-disc* akan dilakukan untuk memperkuat hasil pengujian yang diperoleh.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Bahan Baku

Pada penelitian ini, baja ST-37 digunakan sebagai substrat, sedangkan untuk bahan baku serbuk terdiri dari beberapa campuran jenis serbuk yang telah tertera pada tabel 1.

Tabel 1. Komposisi serbuk penyusun *abradable material*

Jenis serbuk	Kegunaan	Persentase (%)
Kaolin	Pengikat	25
Silika	Abrasif Material	20
Aluminium	Material Konduktif	11
Karbon	Friction Modifier	10
Barium Sulfat	Filler	10
<i>Vermiculite</i>	Filler	8
<i>Magnetite</i>	Filler	8
Kalium Hidroksida	Filler	8

Beberapa serbuk penyusun tersebut dicampur dengan menggunakan mesin *v-mixer* selama 8 jam agar mendapat persebaran yang maksimal.

2.2 Perlakuan Permukaan Substrat

Sebelum dilakukan proses pelapisan HVOF (*High Velocity Oxygen Fuel*), substrat diberi 3 perlakuan yang berbeda yaitu *blasting*, *etching*, dan *blasting-etching* yang bertujuan untuk memberikan hasil kekasaran permukaan yang berbeda. *Blasting* dilakukan dengan menggunakan mesin *grit-blasting* seperti pada gambar 1.



Gambar 1. Mesin *grit-blasting*

Parameter proses *grit blasting* dilakukan dengan sudut 30°, dengan jarak tembak sebesar 200 mm, dan menggunakan serbuk alumina abrasif sebesar 24 mesh. Sementara, untuk proses *etching* dilakukan selama 10 menit pada temperatur 60°C dengan menggunakan larutan campuran antara etanol 96% dan *orthophosphate* 85% pada perbandingan 66.7 : 33.3. Pada perlakuan *blasting-etching*, permukaan substrat diberi perlakuan *blasting* terlebih dahulu kemudian dilanjutkan perlakuan *etching*. Selanjutnya, sampel diberi nama dengan kode huruf sesuai dengan perlakuannya. Kode huruf B untuk sampel yang diberi perlakuan *blasting*, kode huruf E untuk *etching*, dan kode huruf BE untuk *blasting-etching*.

Setelah dilakukan proses pemberian kekasaran pada permukaan substrat, kekasaran permukaan diukur dengan alat ukur seperti yang tertera pada gambar 2



Gambar 2. Alat ukur kekasaran permukaan

Kemudian, substrat yang telah kasar diukur ketebalannya dengan mikrometer digital dengan ketelitian 0.001 mm.

2.3 Parameter Proses Pelapisan HVOF

Proses pelapisan HVOF (*High Velocity Oxygen Fuel*) dilakukan dengan menggunakan mesin Hipojet-2007, dengan memperhatikan beberapa parameter yang tertera pada tabel 2

Tabel 2. Parameter proses HVOF

Parameter	Nilai
Temperatur Substrat	100°C
Tekanan Udara	6.2 bar
Tekanan O ₂	8 bar
Tekanan N ₂	5 bar
Tekanan Gas Propana	5.5 bar
Laju Aliran O ₂	271 liter/menit
Laju Aliran N ₂	8 liter/menit
Laju Aliran Gas Propana	62.4 liter/menit
Sudut Penyemprotan	90°
Ukuran Serbuk	53-74 μm
Jarak Penyemprotan	20 cm dan 30 cm
Jumlah Lap	3 kali
Waktu per Lap	15 detik

Proses penyemprotan dilakukan dengan kondisi seperti pada gambar 3.



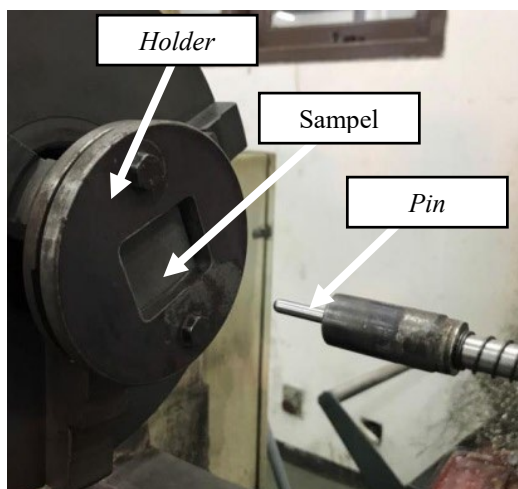
Gambar 3. Proses penyemprotan HVOF *thermal spray*

Setelah dilakukan proses penyemprotan, ketebalan sampel diukur pada beberapa titik dengan mikrometer digital agar didapatkan nilai rata-rata ketebalan lapisan.

2.4 Karakterisasi Lapisan

Karakterisasi dilakukan dengan tujuan mengetahui sifat dan profil lapisan baik secara makro maupun mikro. Beberapa aspek mikro seperti porositas lapisan diamati dengan alat mikroskop optik, sedangkan untuk nilai kekerasan mikro diperoleh dengan menggunakan mikrovickers dengan pemberian beban 0.5 kgf serta *dwelling time* selama 10 detik.

Pada aspek makro, uji ketahanan aus dilakukan dengan alat *pin-on-disc* dengan kondisi seperti pada gambar 4 berikut. Namun, sebelum dilakukan uji aus, sampel ditimbang terlebih dahulu untuk mengetahui massa awalnya.



Gambar 4. Mesin *pin-on-disc*

Pengujian ini dilakukan dengan mengatur posisi pin agar mengenai permukaan sampel yang telah terpasang di *holder*. *Holder* yang berisi sampel diputar dengan kecepatan 33 rpm selama 90 detik, kemudian sampel ditimbang dan dihitung perubahan beratnya. Pengujian ini dilakukan dengan pengulangan sebanyak 3 kali untuk satu sampel..

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Profil Lapisan

Profil lapisan meliputi berbagai hal seperti kekasaran permukaan, ketebalan, dan porositas lapisan. Nilai kekasaran permukaan dan ketebalan lapisan dari setiap variasi perlakuan telah ditampilkan pada tabel 3.

Tabel 3. Nilai kekasaran permukaan substrat dan lapisan *coating*

Nama Sampel	Nilai	
	Kekasaran Permukaan (Ra)	Ketebalan Lapisan (μm)
B20	3.004	173.4
B30		49.2
E20	0.714	163.3
E30		37
BE20	3.816	181.4
BE30		46.6

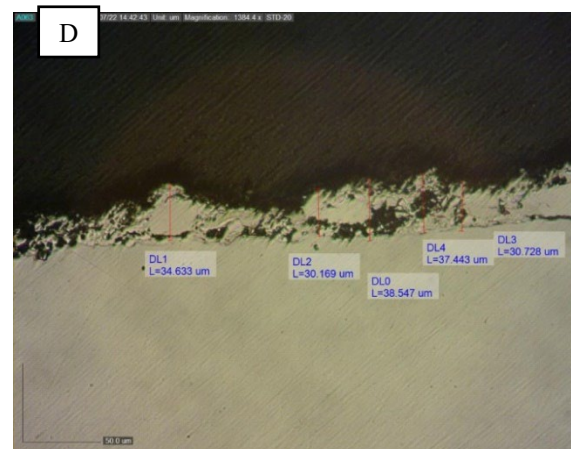
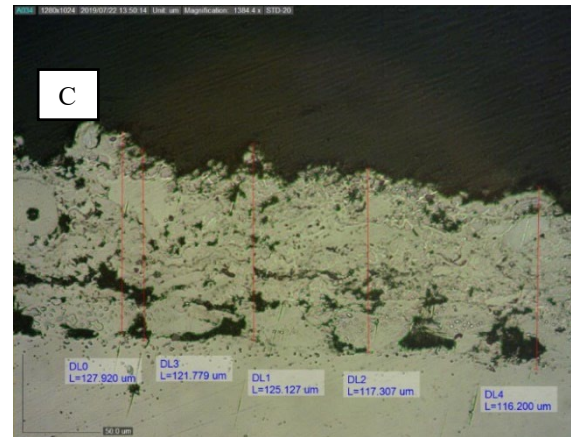
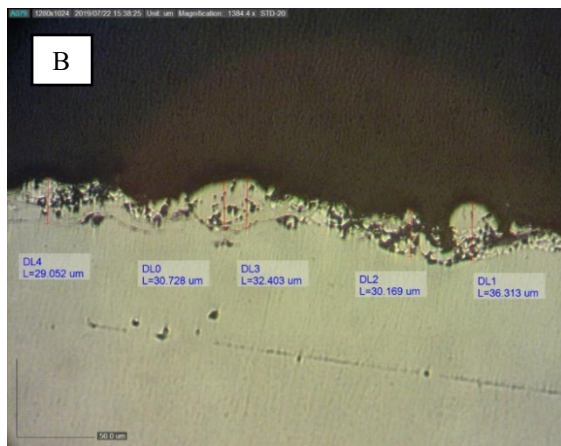
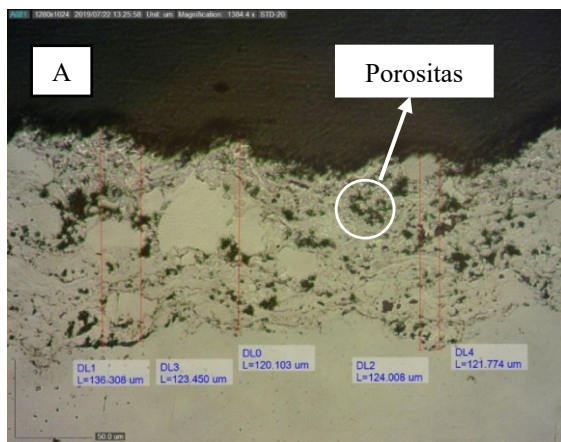
B20 : *Blasting*, jarak penyemprotan 20 cm
 B30 : *Blasting*, jarak penyemprotan 30 cm
 E20 : *Etching*, jarak penyemprotan 20 cm
 E30 : *Etching*, jarak penyemprotan 30 cm
 BE20 : *Blasting-etching*, jarak penyemprotan 20 cm
 BE30 : *Blasting-etching*, jarak penyemprotan 30 cm

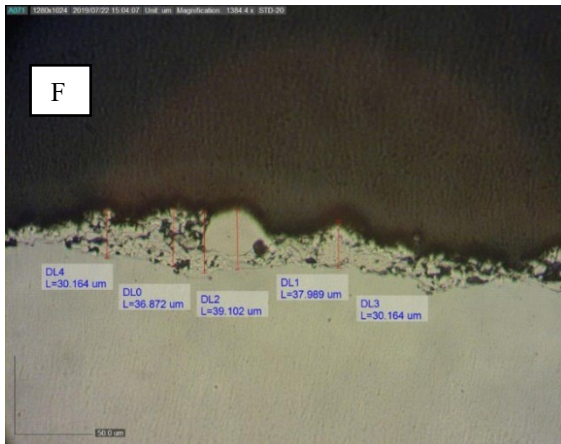
Berdasarkan tabel tersebut, sampel yang disemprot dengan jarak 20 cm memiliki ketebalan yang jauh lebih tinggi dibanding sampel yang disemprot dengan jarak 30 cm. Perbedaan ketebalan ini, dikarenakan banyaknya partikel serbuk yang tidak menempel pada permukaan sampel kode 30. Sementara, jarak penyemprotan yang lebih dekat membuat lelehan partikel menjadi cepat terdeposisi menuju substrat. Apabila lelehan partikel yang terlalu lama di udara, maka partikel mudah memadat dan sulit untuk menempel pada permukaan substrat [7].

Sementara, untuk perlakuan permukaan berupa *blasting-etching* memiliki tingkat kekasaran permukaan yang paling tinggi, diikuti

oleh perlakuan *blasting*, dan terakhir *etching*. Nilai kekasaran permukaan yang tinggi menghasilkan lapisan yang lebih tebal. Kekasaran permukaan yang tinggi mampu meningkatkan kekuatan ikatan antara lapisan dan substrat, sehingga lelehan partikel akan sangat mudah menempel pada permukaan substrat [8].

Berdasarkan hasil mikrostruktur yang ditampilkan pada gambar 5 berikut, berbagai perlakuan menghasilkan profil lapisan yang berbeda





Gambar 5. Profil lapisan: (a) B20, (b) B30, (c) E20, (d) E30, (e) BE20, dan (f) BE30 yang diamati dengan mikroskop optik.

Lapisan dari sampel yang ditampilkan pada gambar 5b, 5d, dan 5f memiliki ketebalan lapisan yang sangat kecil. Hal tersebut berbanding lurus dengan hasil pengukuran ketebalan secara makro dengan menggunakan mikrometer digital.

Apabila ditinjau dari tingkat porositasnya, sampel yang diberi perlakuan *blasting-etching* memiliki kadar porositas yang paling sedikit, sedangkan sampel yang diberi perlakuan *etching* memiliki kadar porositas yang lebih banyak dibanding *blasting* [8].

Sementara, pengaruh jarak penyemprotan terhadap porositas tidak terlalu terlihat, meskipun pada gambar 5e dan 5f menunjukkan bahwa sampel yang disemprot dengan jarak 20 cm memiliki porositas yang lebih sedikit. Faktor jarak secara langsung berkaitan dengan kecepatan penyemprotan, semakin dekat maka kecepatan akan semakin tinggi. Tingginya kecepatan lelehan partikel inilah yang akan menyebabkan porositas lapisan menjadi sedikit [9].

3.2 Kekerasan Lapisan

Nilai kekerasan didapatkan dengan 5 kali pengulangan, agar mendapat nilai rata-rata yang akurat. Hasil kekerasan lapisan pada masing-masing variasi sampel telah tercantum pada tabel 4.

Tabel 4. Nilai kekerasan lapisan *micro hardness*

Nama Sampel	Nilai (HV _{0,5})
B20	340.4
B30	264.8
E20	279.6
E30	189.4
BE20	396.8
BE30	277.8

Berdasarkan tabel 4, nilai kekerasan lapisan tertinggi diperoleh sampel yang diberi perlakuan *blasting-etching* dan diikuti oleh sampel *blasting* lalu sampel *etching*. Nilai kekerasan lapisan tersebut berbanding terbalik dengan kadar porositas. Sampel dengan kandungan porositas yang sedikit memiliki kekerasan yang tinggi. Tingginya kekerasan lapisan, juga dipengaruhi oleh kecepatan deposisi, yang mana dalam kasus ini dipengaruhi oleh jarak penyemprotan [10].

Selain itu, besarnya ketebalan juga menjadi salah satu faktor yang mampu meningkatkan kekerasan lapisan, maka sampel yang disemprotkan pada jarak 30 cm memiliki kekerasan yang lebih kecil dibanding sampel yang disemprot dengan jarak 20 cm karena perbedaan ketebalan lapisan.

3.3 Ketahanan Aus Abrasif

Sifat ketahanan aus ditunjukkan dengan kemampuan sampel untuk mempertahankan massa material pada saat pengujian *pin-on-disc*. Perubahan massa sampel pada setiap siklus diamati dan dilakukan penjumlahan secara keseluruhan. Nilai perubahan massa pada setiap sampel telah tertera pada tabel 5 berikut.

Tabel 5. Nilai perubahan massa pada saat pengujian *pin-on-disc*

Nama Sampel	Massa yang hilang (g)		
	Siklus 1	Siklus 2	Siklus 3
B20	0.01216	0.01354	0.01450
B30	0.00248	0.00326	0.00392
E20	0.01302	0.01398	0.01512
E30	0.00406	0.00512	0.00564
BE20	0.01201	0.01318	0.01432
BE30	0.00198	0.00264	0.00326

Berdasarkan tabel 5 tersebut, sampel dengan jarak penyemprotan sejauh 30 cm mengalami perubahan massa yang lebih rendah dibanding

sampel yang disemprotkan dengan jarak 20 cm. Berdasarkan hasil penelitian lain, ketahanan aus akan meningkat seiring dengan besarnya ketebalan lapisan *coating* [11]. Hasil dari penelitian ini, tentu berbanding terbalik dengan teori yang berkembang, karena sampel dengan kode 30 memiliki ketebalan yang lebih tipis dibanding sampel dengan kode 20. Hal tersebut dapat terjadi karena pengujian *pin-on-disc* menggunakan perhitungan perubahan massa untuk melihat ketahanan aus material, sehingga pada sampel kode 30 yang mana memiliki lapisan tipis tentu menghasilkan perubahan massa yang lebih sedikit.

Sementara, pada sampel yang diberi perlakuan *blasting-etching* memiliki ketahanan aus paling baik yang ditandai dengan nilai kehilangan massa yang paling sedikit. Sedangkan, sampel dengan perlakuan *etching* memiliki kehilangan massa yang paling banyak dibanding sampel yang diberi perlakuan *blasting*. Tingginya ketahanan aus dari sampel kode BE ini dipengaruhi oleh kadar porositas lapisan yang rendah dan juga nilai kekerasan mikro yang tinggi [12]. Hasil ini berbanding lurus dengan teori yang berkembang, karena sifat kekerasan pada permukaan akan menunjukkan performa ketahanan aus yang baik [10].

4, KESIMPULAN

Penelitian mengenai ketahanan aus material dengan menggunakan metode HVOF (*High Velocity Oxygen Fuel*) *thermal spray* telah berhasil dilakukan dengan memvariasikan parameter berupa jarak penyemprotan dan jenis perlakuan kekasaran permukaan.

Pada sampel yang disemprot dengan jarak 20 cm memiliki lapisan *coating* yang lebih tebal dibanding sampel yang disemprot pada jarak 30 cm. Sampel yang dikenai perlakuan kekasaran *blasting-etching* memiliki kekasaran permukaan paling tinggi, diikuti dengan sampel *blasting* kemudian sampel *etching*. Urutan tersebut juga berlaku pada nilai kekerasan dan kualitas ketahanan aus lapisan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] De la Fuente D, Díaz I, Simancas J, Chico B, Morcillo M. Long-term atmospheric corrosion of mild steel. *Corrosion Science*. 2011;53(2):604-17.
- [2] Pei X, Pu W, Zhang Y, Huang L. Surface topography and friction coefficient evolution during sliding wear in a mixed lubricated rolling-sliding contact. *Tribology International*. 2019;137:303-12.
- [3] Lima C, Guilemany J. Adhesion improvements of thermal barrier coatings with HVOF thermally sprayed bond coats. *Surface and Coatings Technology*. 2007;201(8):4694-701.
- [4] Pukasiewicz A, De Boer H, Sucharski G, Vaz R, Procopiak L. The influence of HVOF spraying parameters on the microstructure, residual stress and cavitation resistance of FeMnCrSi coatings. *Surface and Coatings Technology*. 2017;327:158-66.
- [5] Zoei MS, Sadeghi MH, Salehi M. Effect of grinding parameters on the wear resistance and residual stress of HVOF-deposited WC-10Co-4Cr coating. *Surface and Coatings Technology*. 2016;307:886-91.
- [6] Zhang B, Marshall M. Investigating material removal mechanism of Al-Si base abrasible coating in labyrinth seal system. *Wear*. 2019;426:239-49.
- [7] Peng Y, Zhang C, Zhou H, Liu L. On the bonding strength in thermally sprayed Fe-based amorphous coatings. *Surface and Coatings Technology*. 2013;218:17-22.
- [8] Gawne D. Splat morphology and adhesion of thermally sprayed coatings. *Proc of ITSC'95*. 1995;2:779-84.
- [9] García-Rodríguez S, Torres B, López A, Otero E, Rams J. Characterization and mechanical properties of stainless steel coatings deposited by HVOF on ZE41 magnesium alloy. *Surface and Coatings Technology*. 2019;359:73-84.
- [10] Picas J, Punset M, Baile MT, Martín E, Forn A. Effect of oxygen/fuel ratio on the in-flight particle parameters and properties of HVOF WC-CoCr coatings. *Surface and Coatings Technology*. 2011;205:S364-S8.
- [11] Siu JH, Li LK. An investigation of the effect of surface roughness and coating thickness on the friction and wear behaviour of a commercial MoS₂-metal coating on AISI 400C steel. *Wear*. 2000;237(2):283-7.
- [12] Zamani P, Valefi Z, Mirjani M. Effect of grinding and lubricating post-treatment on wear performance of plasma sprayed Cr₂O₃-Al₂O₃ composite coatings. *Surfaces and Interfaces*. 2019;16:206-14.