

Pengaruh *Mechanical Cleaning* dan *Heat Treatment* Komposit Nikel-Grafit Hasil *Thermal Spray Coating* Terhadap *Bond Strength* dan Kekerasan pada Substrat Baja AISI 321

Sutarno^{a,*}, Alfian Restu Rizky^a, Djoko Hadi Prajitno^{a,b}

^aDepartemen Teknik Metalurgi, Fakultas Teknologi Manufaktur, Universitas Jenderal Achmad Yani
Alamat resmi Jl Terusan Gatot Soebroto Bandung, Jawa Barat - Indonesia

^bPSTNT-Badan Atom Nuklir Nasional

Alamat resmi Jl Tamansari No 71 Bandung, Jawa Barat – Indonesia

*E-mail: sutarno@lecture.unjani.ac.id

Abstract

Thermal spray coating (TSC) is one of the coating methods to prevent direct interaction between the surface of the substrate and the operating environment, which has the potential to degrade the function and lifetime of the component or even the system as a whole. In this study, an investigation of Ni-Al coating quality as a bondcoat and Ni-C as a topcoat on AISI 321 Steel substrate with 3 variations of the treatment of the specimen. Variation of treatment (treatment) ie the first specimen is directly tested for bond strength, while the second specimen is given heat treatment and the third specimen is subjected to mechanical cleaning. Both substrate, bond coat and top coat are characterized by testing bond strength, hardness, microstructure and chemical composition. Bond strength test results are 2042-5404 psi for specimens with heat treatment, 597-731 psi for specimens with mechanical cleaning, and 842 psi for specimens of thermal spray results, while the hardness value is 261-308 HVN for top coat, 333-HVN for specimens with mechanical cleaning, and 195-240 HVN for specimens with heat treatment.

Keywords: *Thermal spray coatings, Mechanical cleaning, Heat treatment, Bond strength.*

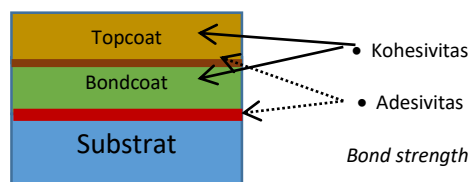
Abstrak

Thermal spray coating (TSC) merupakan salah satu metoda coating untuk mencegah interaksi langsung antara permukaan substrat dengan lingkungan operasi, yang berpotensi mendegradasi fungsi dan umur pakai komponen atau bahkan sistem secara keseluruhan. Pada penelitian ini, dilakukan investigasi kualitas coating Ni-Al sebagai bondcoat dan Ni-C sebagai topcoat pada substrat Baja AISI 321 dengan 3 variasi perlakuan terhadap spesimen. Variasi perlakuan (treatment) yaitu spesimen pertama langsung dilakukan pengujian bond strength, sedangkan spesimen kedua diberikan heat treatment dan spesimen ketiga dikenai mechanical cleaning. Baik substrate, bond coat dan top coat dikarakterisasi melalui pengujian bond strength, kekerasan, struktur mikro dan komposisi kimia. Hasil pengujian bond strength adalah 2042-5404 psi untuk spesimen dengan heat treatment, 597-731 psi untuk spesimen dengan mechanical cleaning, dan 842 psi untuk spesimen hasil thermal spray, sedangkan nilai kekerasan adalah 261-308 HVN untuk topcoat, 333-HVN untuk spesimen dengan mechanical cleaning, dan 195-240 HVN untuk spesimen dengan heat treatment.

Kata kunci: *Thermal spray coatings, Mechanical cleaning, Heat treatment, Bond strength.*

1. Pendahuluan

Interaksi antara permukaan komponen dengan kondisi dan lingkungan operasi berpotensi mendegradasi fungsi dan umur pakai suatu komponen atau bahkan sistem secara keseluruhan [1]. Dalam berbagai aplikasi, untuk mencegah interaksi langsung, permukaan komponen diberi coating, baik *ceramic coating*, *metal coating*, *organic coating* atau kombinasi dari ketiganya. Salah satu metoda coating adalah *thermal spray coating* (TSC), dimana metal dan nonmetal dalam kondisi cair disemprotkan ke permukaan substrat membentuk *bondcoat* dan/ atau *top coat* seperti diilustrasikan oleh Gambar 1.



Gambar 1. Ilustrasi Coating

Material *coating* dapat berupa serbuk, batangan, kawat [1, 2]. Aplikasi TSC ini bertujuan mencegah terjadinya korosi, keausan (*abrasive*, adesi, *fretting*, erosi, kavitasi, dampak), *thermal barrier coating* (TBC), kontrol dan restorasi dimensi, sifat listrik atau kombinasinya [1, 3].

Kualitas *coating* ditentukan oleh *bond strength* antarmuka substrat –*bondcoat* dan *bond coat-top coat*. Dengan kata lain, *bond strength* merupakan *critical to quality* (CTQ) yang menjamin kualitas dari aspek fungsi dan umur pakai komponen [4-6]. Kualitas *bond strength* ini dipengaruhi oleh ketebalan, porositas, mikrostruktur dan kekerasan serta fasa padatan tidak larut, dan retakan *coating* [5]. Porositas yang selalu ada pada setiap produk TSC berdampak kepada penurunan *bond strength* antarmuka *substrate-bond coat* dan *bond coat-top coat*. *Bond strength* antarmuka *substrate-coating* dikenal dengan istilah adhesivitas, sedangkan *bond strength inter coating* baik *bond coat* atau *top coat* dikenal dengan istilah kohesivitas [7]. Penurunan adhesivitas dan kohesivitas *coating* yang ditunjukkan oleh nilai *bond strength* dapat terjadi akibat difusi gas pada antarmuka [5, 6].

Secara sederhana, pengujian *bond strength* (σ_s) menggunakan prosedur ASTM C 633, yang mengindikasikan adhesivitas atau kohesivitas *coating*, dituliskan dengan persamaan (1.1)

$$\sigma_s = \frac{F}{A} \quad (1.1)$$

dimana F adalah gaya tarik terhadap *coating* dan A : luas penampang melintang. Laju pengujian tarik untuk *bond strength* berkisar antara 0,013-0,021 mm/detik. Adapun pengujian kekerasan *coating* digunakan Vicker Hardness (VHN) dan dituliskan [8]

$$VHN = \frac{1.854 P}{d^2} \quad (1.2)$$

dimana P adalah beban, dan d^2 adalah diagonal rata-rata.

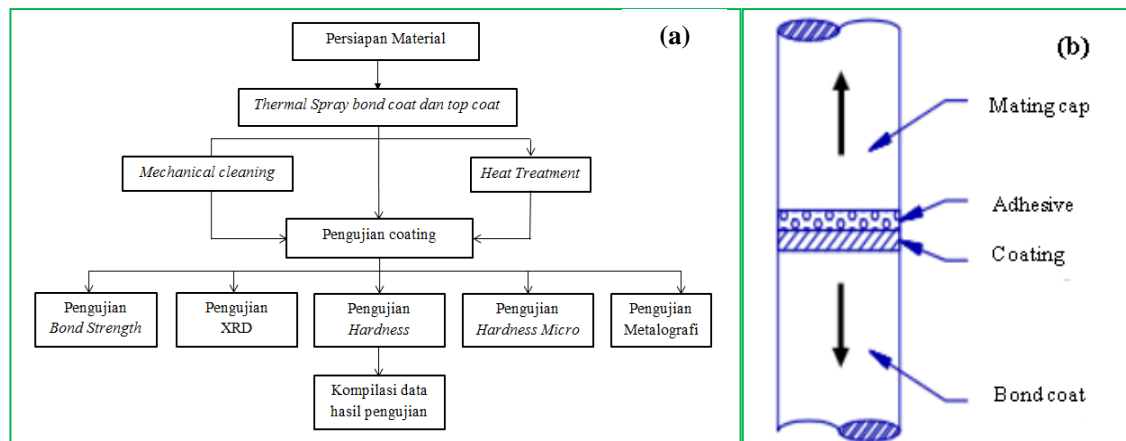
2. Material dan metode penelitian

2.1 Bahan dan alat

Pada penelitian ini, digunakan baja *Austenitic Stainless Steel*, AISI 321 sebagai substrat, serbuk Ni-Al produksi Metco dan Amdry 956 sebagai *bond coat* [9], dan serbuk Ni-C produk Metco 307NS-3 dengan komposisi 75% Nickel 25% *Graphite* sebagai *topcoat* [10]. Proses *coating* pada substrat menggunakan alat *Thermo Spray* tipe Gun 6P-II untuk *bond coat*, sedangkan proses *coating* pada *bond coat* menggunakan alat *Plasma Spray* tipe Gun 9 MB untuk *top coat*. Materil *Polyamide-epoxy FM 1000 Adhesive Film* digunakan untuk pengujian *bond strength coating* sesuai ASTM C633 dengan profil ditunjukkan oleh Gambar 2b. *Curing Adhesive polyamide-epoxy FM1000* pada rentang temperatur 164-176 °C dan selama 80-100 menit. Untuk pengujian kekerasan mikro digunakan *micro vicker hardness* METKON Tipe DUROLINE-M, morfologi dan komposisi dengan XRD, mikrostruktur tipe dengan mikroskop dan *bond strength* menggunakan *Universal Tensile Machine* HUNGTA, HT-8503, 100 kN kecepatan penarikan 2 mm per menit sesuai dengan standar ASTM C633, 2015.

2.2 Tata kerja

Sebelum proses *coating*, permukaan spesimen dibersihkan dengan *abrasive cleaning* dan *pre heating* pada temperatur 90-120°C. Proses *bond coating* menggunakan material serbuk Ni-Al produk Metco Amdry 956 dengan Nozel tipe 6P-7CK, sumber panas adalah campuran oksigen-asetilen dengan jarak *spray* 21.6 cm. Adapun proses *top coat* menggunakan *plasma spray* dengan serbuk Ni-C Metco 307NS-3 dengan gas Argon sebagai *carrier gas*, bertekanan 100 psi, dan jarak *spray* 12.7 cm. Adapun proses dan pengujian *coating* ditunjukkan oleh Gambar 2.



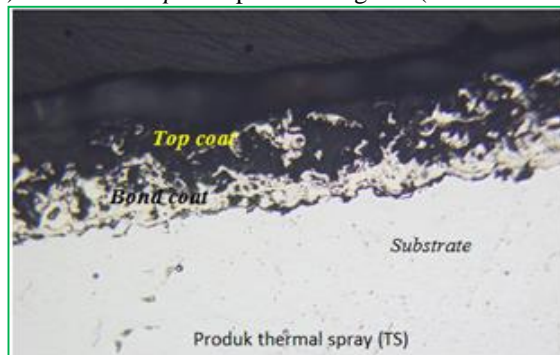
Gambar 2. (a) Diagram alir proses *thermal spray* dan pengujian *coating*; (b) Profil *bond strength*

Hasil proses *coating* membentuk *substrate-bondcoat-topcoat* dibagi menjadi 3 variasi perlakuan terhadap spesimen. Spesimen pertama, langsung dilakukan pengujian *bond strength*, sedangkan spesimen kedua mengalami *heat treatment* dalam tungku muffle pada 350°C selama 2 jam, dan spesimen ketiga mengalami *mechanical cleaning* dalam *blast chamber* sebelum dilakukan pengujian *bond strength*. Karakterisasi spesimen melalui pengujian kekerasan, metalografi, fasa dan unsur, dan *bond strength*. Hasil pengujian dikompilasi, diolah dalam bentuk grafik, dianalisis dan evaluasi serta disimpulkan.

3. Hasil dan pembahasan

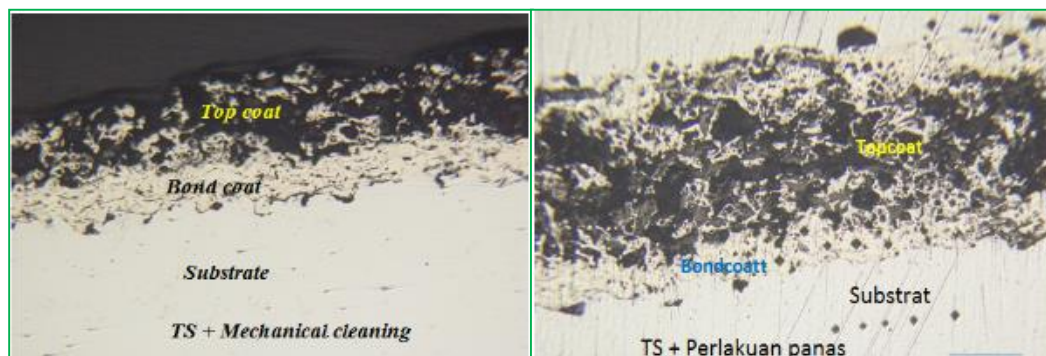
3.1 Metalografi *Coating*

Metalografi *substrate-bondcoat-topcoat* produk *thermal spray* (TS) ditunjukkan oleh Gambar 3. Berdasarkan Gambar 3 terlihat terdapat fasa yang ada dalam substrat adalah fasa austenit. Daerah *bond coat* dengan ketebalan 90-14 µm paduan Ni-Al (berwarna putih) dan daerah *top coat* paduan Ni-grafit (berwarna hitam) dengan ketebalan 180-340µm.



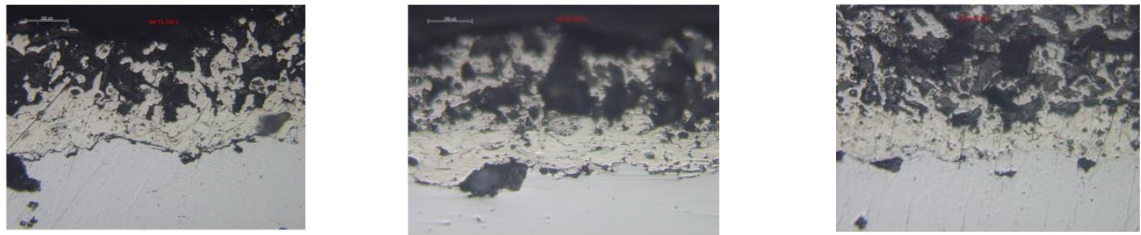
Gambar 3. Metalografi *substrate-bond coat-top coat*

Berbasis metalografi seperti terlihat pada Gambar 4, *thermal spray* (TS), TS + *mechanical cleaning* dan TS + *heat treatment* cenderung memberikan fasa berbeda. Hasil TS + *mechanical cleaning* pada *top coat* mengalami pepadatan, secara visual lebih kasar dan tertutupnya rongga pori. Sedangkan TS + *heat treatment* *top coat* cenderung memiliki struktur homogen dan ukuran porositas lebih besar dan reduksi tegangan sisa.



Gambar 4. Metalografi *coating* dengan perlakuan *thermal spray coating*

Pada Gambar 5 ditunjukkan bahwa antarmuka *substrate-bond coat* dan *top coat* terdapat rongga pori baik pada spesimen TS dan TS + *mechanical cleaning* dan TS + *heat treatment*. Pada TS + *mechanical cleaning*, rongga pori *top coat* tertutup dan cenderung menjadi kasar. Sebaliknya, pada TS + *heat treatment*, porositas cenderung membesar dan penurunan tegangan sisa.



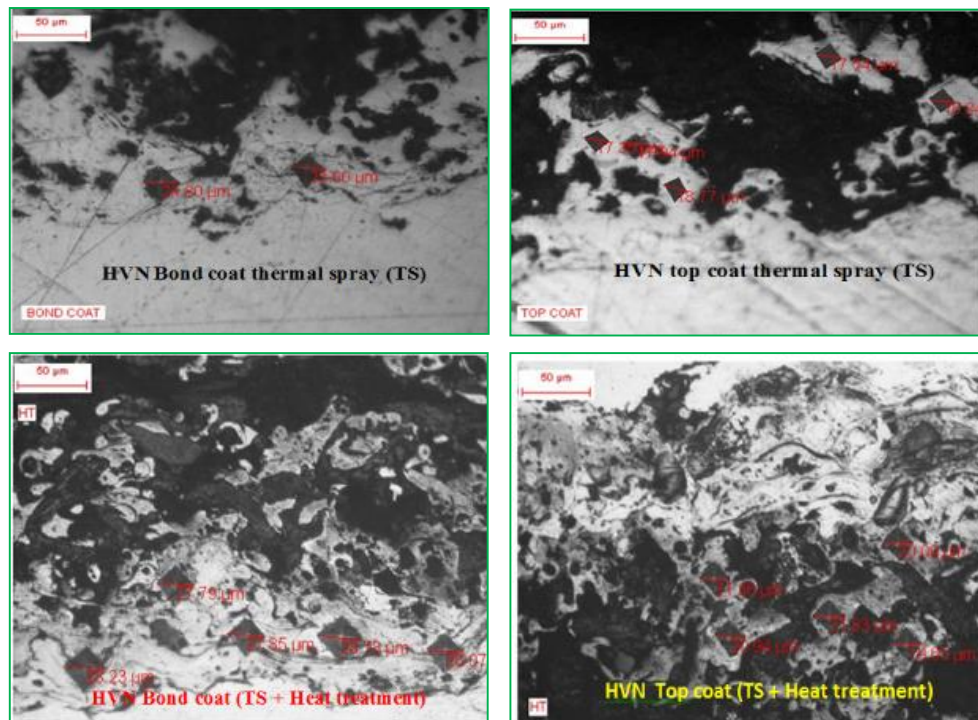
(a).Thermal Spray (TS) (200X) (b).TS + Mechanical cleaning (200X) (c).TS + Heat treatment (200X)

Gambar 5. Metalografi *substrate-bond coat-top coat* dengan pembesaran 200X

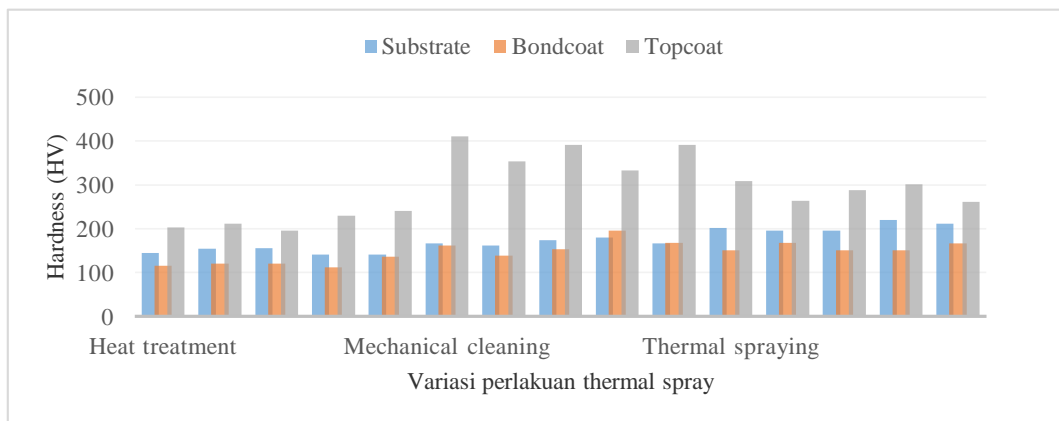
3.2 Kekerasan *substrate-bond* dan *coat-top*

Dari hasil pengujian kekerasan vicker spesimen seperti ditunjukkan pada Gambar 6, nilai kekerasan untuk *top coat* adalah 261-308 HVN, sedangkan pada spesimen *mechanical cleaning* adalah 333-415 HVN dan 195-240 HVN untuk spesimen *heat treatment*.

Spesimen *heat treatment* mempunyai nilai kekerasan paling rendah dibandingkan spesimen *thermal spray* (TS) dan TS + *mechanical cleaning*. Hal ini disebabkan karena spesimen *heat treatment* setelah dipanaskan dengan temperatur 350°C dan *holding time* selama 120 menit maka tegangan sisa yang terdapat pada permukaan *top coat* berkurang maka harga kekerasan permukaan *coating* pun menjadi 195 HVN, yang semula adalah 261 HVN. Berbeda dengan spesimen *mechanical cleaning* yang mempunyai nilai kekerasan 411 HVN. Hal ini mudah dimengerti, karena pada proses *mechanical cleaning* akan menyebabkan terjadi pengerasan permukaan pada *top coat* seperti pada proses *shot peening*, yaitu *strain hardening* yang secara lengkap ditunjukkan pada grafik Gambar 7.



Gambar 6. Profil hasil indentasi kekerasan pada *bondcoat* dan *top coat*



Gambar 7. Grafik Pengaruh variasi perlakuan *thermal spray* terhadap kekerasan

3.3 Bond strength substrate-bond coat-top coat

Bond strength merupakan *critical to quality coating* dan diuji menggunakan prosedur ASTM C633. Nilai *bond strength* mengindikasikan daya adhesivitas *substrate-bond coat* dan *bond coat-top coat*, sedangkan kohesivitas *coating* (*bond coat* dan *top coat*). Pengelupasan atau spalasi *coating* mengindikasikan adhesivitas rendah, sedangkan retak dan *chipping* pada *coating* mengindikasikan kohesivitas rendah [11]. Adesivitas antarmuka *substrate-bond coat-top coat* dan kohesivitas *coating* baik *bond coat* maupun *top coat* merupakan merupakan CTQ dari komponen atau sistem secara keseluruhan. Dengan demikian, integritas *coating* baik adhesivitas maupun kohesivitas yang baik dapat diartikan bahwa *coating* mempunyai fungsi dan umur pakai menjadi lebih lama yang berdampak kepada biaya perawatan dan restorasi rendah.

Berdasarkan hasil pengujian *bond strength* dimana spalasi selalu terjadi pada antarmuka *top coat*-adesif, penambahan *mechanical cleaning* akan menutup rongga pori yang terjadi pada *top coat* yang berdampak kepada penurunan *bond strength* seperti ditunjukkan oleh Tabel 1. Kenaikan *bond strength* pada spesimen TS + *heat treatment* mencapai 7-9 kali dari *coating* TS + *mechanical cleaning* atau 2,4-6,4 kali dari TS. Hal ini terjadi akibat pada proses *heat treatment*, pori pada *top coat* akan membesar sehingga penetrasi adesif menjadi lebih banyak dan lebih kuat.

Tabel 1. Hasil pengujian *bond strength*

| No. | Hasil pengujian <i>bond strength</i> (psi) | | | Standar <i>bond strength</i> minimum (psi) |
|-----|--|---------------------------------|----------------------------|--|
| | <i>Thermal spray</i> (TS) | TS + <i>Mechanical cleaning</i> | TS + <i>heat treatment</i> | |
| 1. | 842,51 | 597,25 | 2042,92 | 750 |
| 2. | | 731,91 | 5404,88 | |

Berdasarkan Tabel 1, hasil *bond strength* untuk *Thermal spray* (TS) dan TS *heat treatment* memenuhi persyaratan yang ditentukan (nilai pengujian lebih besar dari nilai standar), sedangkan TS + *mechanical cleaning* tidak memenuhi persyaratan yang ditentukan.

Seperti diketahui bahwa hasil TS *coating* selalu terjadi porositas. Porositas yang terjadi pada antarmuka *substrate-bond coat-top coat* akan menyebabkan penurunan adhesivitas, sedangkan porositas dalam *coating* akan menurunkan kohesivitas. Namun demikian porositas pada *top coat* akan menyebabkan terjadi penetrasi adesif yang berdampak kepada adhesivitas *top coat* dan adesif. Dalam kasus spalasi diatas, penambahan *mechanical cleaning* justru menyebabkan porositas tertutup sehingga adhesivitas menurun.

Dalam pengujian *bond strength* dapat diketahui apakah adhesivitas dan kohesivitas *coating* lebih besar atau lebih kecil dari adhesivitas adesif-*top coat*. Lebih dari itu, hasil pengujian *bond strength* juga dapat diketahui letak spalasi, retak, *chipping* atau cacat lain yang terjadi. Selain itu, selama pengujian *bond strength* perlu dikontrol temperatur, karena kenaikan temperatur akan menurunkan viskositas dan berdampak kepada ketebalan, termasuk kerataan adesif.

4. Kesimpulan

Thermal spray coating dilakukan dengan *atmospheric plasma spray* untuk *bond coat* menggunakan alat GP-II dan *thermo spray* untuk *top coat* menggunakan alat 9 MB. Hasil pengujian *bond strength* pada spesimen TS + *heat treatment*, yaitu 2042,92 - 5404,88 psi, sedangkan yang terendah pada spesimen dengan TS + *mechanical cleaning* sebesar 597,25 - 731,91 psi lebih rendah dari TS yaitu 842.21 psi sebagai dampak dari tertutupnya porositas pada *top coat*. Hasil uji struktur mikro dan XRD menunjukkan bahwa pada *substrate* didominasi oleh unsur Fe, sedangkan *bond coat* didominasi oleh unsur Ni dan *top coat* didominasi oleh C atau grafit. Nilai kekerasan *top coat* tertinggi terjadi pada spesimen *mechanical cleaning* yaitu 411,45 HVN dan yang terendah 240,08 HVN pada spesimen *heat treatment*.

Ucapan Terima Kasih

Peneliti secara khusus mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada PT. NTP beserta staf yang telah membantu memfasilitasi penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Baljit Singh. (2013). *Recent advancements in Thermal Spray Coatings*, IJRMET Vol. 3, Issue 2, May - Oct 2013, ISSN : 2249-5762 (Online) | ISSN : 2249-5770 (Print).
- [2] Frank J. Hermanek (2001). *Thermal Spray Terminology and Company Origins*, First Printing, ASM International, Materials Park, OH
- [3] International Thermal Spray Association (2008). Third Street, Fairport Harbor, Ohio 44077 USA voice: 440.357.5400 fax: 440.357.5430,
- [4] M. Hadad, G. Marot, Ph. Démarécaux, J. Lesage, J. Michler, S. Siegmann (2005). Adhesion tests for thermal spray coatings: Application range of tensile, shear and interfacial indentation methods, *Proceedings of ITSC Thermal Spray connects: Explore its surfacing potential*, p. 759-764, ISBN 3-87155-793-5
- [5] Mihailo MRDAK, Nikola BAJI, Darko VELJI, Marko RAKIN, Jasmina PEKEZ, Zoran KARASTOJKOVI. (2015). TESTING ADHESIVE BOND STRENGTH AND FRACTURE MECHANISMS OF THICKER AND POROUS PLASMA SPRAY COATINGS, ANNALS of Faculty Engineering Hunedoara – *International Journal of Engineering Tome XV* [2015] – Fascicule 1 [February] ISSN: 1584-2665 [print; online] ISSN: 1584-2673
- [6] Aleksandar Vencel, Saioa Arostegui, Gregory Favaro, Fatima Zivic, Mihailo Mrdak, Slobodan Mitrovic, Vladimir Popovic.(2011). *Evaluation of adhesion /cohesion bond strength of the thick plasma spray coatings by scratch testing on coatings cross-sections*, Tribology International 44 (2011) 1281-1288, Elsevier.
- [7] ASTM C633 (2015).“*Standard Test Method for Adhesion or Cohesion Strength of Thermal Spray Coatings*” is the baseline and mandatory process to follow for tensile testing of bond strength of thermal spray coatings.
- [8] ASTM E18 (2008). “*Standar test methods for Vicker hardness of metallic materials*”. ASTM International
- [9] DSMTS-0043-6, “*Thermally sprayed abrasable coating technology for sealing in gas turbines,*” Oerlikon, Metco.
- [10] DSMTS-0043, “*Optimization of 75% Nickel – 25% Graphite spray parameters to meet coating applications design criteria,*” Oerlikon, Metco.
- [11] Amardeep S Kang, Gurhinder Sing, Vikas Chawla, 2013, “*Some Problem Associated with Thermal Sprayed Ha Coating : a review,*” *International journal of Surface Engineering & Material Technology*, Vol 3 No 1 January-June 2013, ISSN 2249-7250.