

KARAKTERISTIK SIFAT MEKANIS DAN STRUKTUR MIKRO MATERIAL HASIL PROSES FORGING

Sunardi¹, Rina Lusiani², Asep Shendy Irawan³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Mesin, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Jl. Jendral Sudirman KM 03 Cilegon 42435

Tel: (0254) 395502, Fax: (0254) 395440, E-mail: parikesit_ka@yahoo.co.id

Abstract

In the present work, a comparative study on mechanical properties and microstructure of stainless steel austenitic 316L had been forged. The microstructure of specimens had been forged was more finer than the untreated specimen. It is caused by plastic deformation in the material. The refining of grain microstructure will effect the material properties. From this research can be found that the decreasing of specimen thickness will increase the mechanical properties of material (i.e. hardness and tensile strength). The untreated specimen hardness is 74,3 HRB and the thickness reduction 52% is 88,7 HRB. The increasing of specimens hardness and tensile strength were caused by refinement of microstructure.

Keywords: *mechanical properties, microstructure, forging, stainless steel 316*

Abstrak

Pada paper ini akan dibahas tentang perbandingan sifat mekanis dan struktur mikro baja tahan karat austenitic 316L yang diberikan perlakuan forging. Ukuran butiran struktur mikro pada material yang diberikan forging lebih halus jika dibandingkan dengan yang tanpa perlakuan. Hal ini disebabkan oleh terjadinya deformasi plastis dalam material. Penghalusan struktur mikro akan memberikan dampak pada sifat mekanis materialnya. Dari riset ini diperoleh bahwa penurunan tebal spesimen akan meningkatkan sifat mekanis material, seperti kekerasan dan kekuatan tarikannya. Kekerasan material tanpa perlakuan adalah 74,3 HRB, sedangkan yang diberikan pengurangan tebal hingga 52% mencapai 88,7 HRB. Peningkatan kekerasan dan kekuatan tarik disebabkan oleh penghalusan struktur mikronya.

Keywords: *sifat mekanis, struktur mikro, forging, stainless steel 316L*

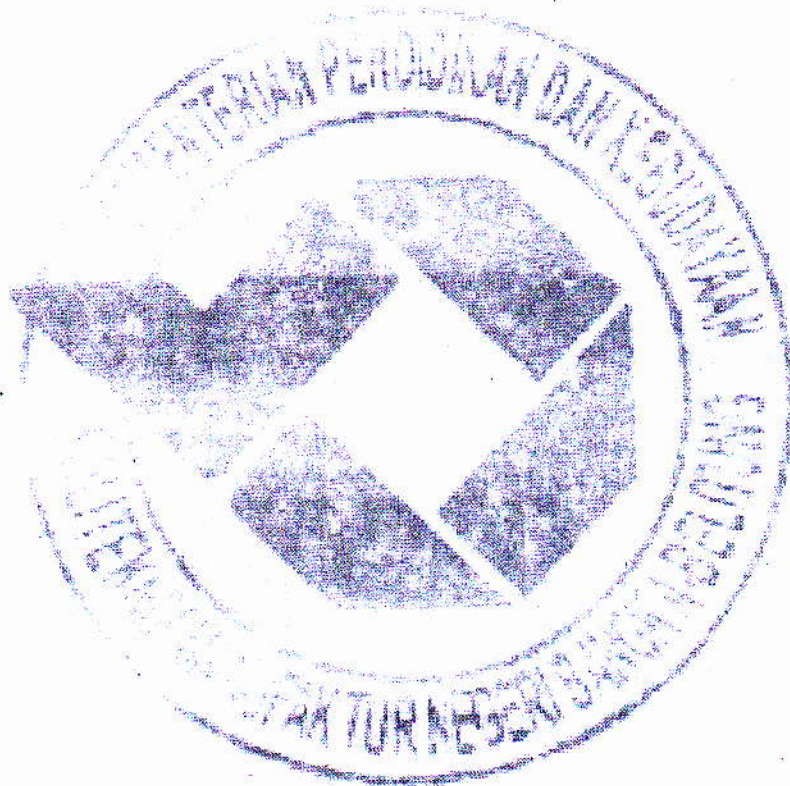
1. PENDAHULUAN

Peningkatan sifat mekanis material dapat dilakukan pada saat material masih cair dan dalam kondisi sudah dingin. Jika material masih cair, maka dapat dilakukan dengan penambahan paduan atau dengan memodifikasi teknologi pembekuannya. Sedangkan jika material sudah dalam keadaan dingin, maka sifat mekanis material masih dapat diperbaiki dengan memberikan deformasi plastis, seperti *forging*, rolling dan proses dingin lainnya. Proses-proses dingin tersebut mempengaruhi karakteristik struktur mikronya. Perubahan ukuran butiran struktur mikro akan berdampak pada sifat mekanis material, seperti kekuatan tarik, ketangguhan, kekerasan dan keuletannya.

Butiran struktur mikro yang semakin halus dapat memperbaiki kekerasan dan kekuatan tarikannya. Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk memperhalus butiran struktur mikro, seperti *forging*, ekstrusi atau rolling. Metode yang digunakan dalam riset ini adalah *forging* dingin, artinya material diberikan perlakuan mekanis pada suhu kamar. Dalam paper ini akan dibahas seberapa besar pengaruh proses *forging* terhadap sifat mekanis dan struktur mikro material.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. D. Jandova, R. Divisova, L. Skalova, J. Drnek, "Refinement of steel microstructure by free-forging", *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, Vol. 16, No.1, 2006, pp 17 - 24
- [2]. D. G. Mallapur, K. Rajendra Udupa, S.A. Kori, "Influence of grain refiner and modifier on the microstructure and mechanical properties of A356 alloy", *International Journal of Engineering Science and Technology*, Vol. 2(9), 2010, pp 4487-4493.
- [3]. S. O. Adeosun, S.A. Balogun, O.I. Sekunowo, M.A. Usman, "Effects of heat treatment on strength and ductility of rolled and forged aluminum 6063 alloy", *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*, Vol. 9, No.8, 2010, pp 763-773.



(K4-44-09)

STUDI KOMPARASI SERBUK *NICKEL CHROMIUM ALUMINUM METCO 443NS* DAN *NICKEL ALUMINUM METCO 450NS* TERHADAP SIFAT MEKANIS PERMUKAAN PADA PROSES *THERMAL SPRAYING*

Sunardi, Ipick Setiawan, Saepuloh

Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Jurusan Teknik Mesin, Cilegon 42435

E-mail: parikesit_ka@yahoo.co.id

Abstrak

Pelapisan dengan metode thermal spraying memiliki peranan penting dalam meningkatkan sifat mekanis permukaan material. Metode ini digunakan untuk melindungi logam induk dari pengaruh lingkungan. Sifat permukaan lapisan yang dikehendaki adalah memiliki kekerasan dan kekuatan ikatan yang tinggi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh jenis serbuk terhadap karakteristik permukaan, seperti kekerasan, kekuatan ikatan dan struktur mikronya. Serbuk yang digunakan dalam penelitian ini adalah nickel chromium aluminum METCO 443NS dan nickel aluminum METCO 450NS. Parameter proses yang bisa digunakan sebagai variabelnya adalah kecepatan pelapisan, jarak spray dan suhu awal material logam induk. Tiga parameter ini memiliki dampak yang berbeda, seperti kekerasan permukaan, kekuatan ikatan dan struktur mikronya. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa suhu preheating pada proses *thermal spraying* berpengaruh secara signifikan terhadap sifat mekanisnya. Peningkatan suhu pemanasan awal pada proses ini dapat meningkatkan kekerasan permukaannya. Sedangkan pada serbuk METCO 443NS, kekerasan mengalami penurunan pada suhu 160°C. Hal ini disebabkan oleh jumlah porositas yang berlebih pada lapisan permukaan material ini. Persentase porositas memiliki pengaruh signifikan pada kekerasan lapisan. Hasil lain menunjukkan bahwa kekuatan ikatan antara lapisan serbuk dengan logam induk meningkat seiring dengan peningkatan suhu preheating.

Kata kunci: *thermal spray coating*, kekerasan permukaan, METCO 443NS, METCO 450NS.

Abstract

Thermal spraying method has role to increase the mechanical properties at material surface. This method to protect the base material from the effects of environment. The desired coating layer are high hardness and bonding strength. The purpose of this paper is to know the effect of powder type toward characteristic of surface layer, such as hardness, bonding strength and microstructure. The powder used in this research were nickel chromium aluminum METCO 443NS and nickel aluminum METCO 450NS. Three parameters as process variable are coating speed, distance of spraying and preheating temperature. Three parameter have the difference effect on surface hardness, bonding strength and microstructure. The result of this research show that preheating temperature of thermal spraying process has effect to the mechanical properties significantly. The increasing of preheat temperature in this process able to increase the hardness of its surface. However, for the powder METCO 443NS, the hardness is decrease at temperature 160°C. It is caused by excessive porosity in this layer surface of material. Percentage of porosity have significant effect to the layer hardness. Another result show that bonding strength between coating layer and base material is increase as preheating temperature.

Keywords: *thermal spray coating*, surface hardness, METCO 443NS, METCO 450NS.

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan sumber energi yang semakin tinggi menuntut sebuah sistem pembangkit daya yang mampu melayani temperatur kerja yang tinggi pula. Tuntutan lain adalah kehandalan material terhadap pengaruh buruk lingkungan dan fluida kerja yang bersinggungan.

Rekayasa dan teknologi material mengalami perkembangan yang sangat pesat dan memegang

peranan penting dalam menjawab persoalan-persoalan di atas. Metode coating, perlakuan panas, nano material dan modifikasi teknologi pembekuan merupakan contoh-contoh usaha yang dilakukan para insinyur untuk memperoleh sifat-sifat material yang diinginkan. Metode coating (pelapisan) merupakan salah satu metode yang cukup populer digunakan di lapangan. Banyak sekali produk-produk hasil pelapisan yang digunakan dalam



bidang teknik, mulai dari persyaratan teknis sederhana hingga persyaratan-persyaratan khusus. Peralatan dan pemik-pemik rumah tangga, bodi kendaraan bermotor dan sudu-sudu turbin pesawat memerlukan proses pelapisan material.

Pelapisan material bertujuan untuk melindungi material dari serangan korosi dan menghasilkan sifat-sifat mekanis tertentu pada permukaannya, seperti kekerasan, laju keausan, kekasaran permukaan, porositas dan ketahanan terhadap suhu tinggi. Pada paper ini akan dipaparkan karakteristik lapisan permukaan hasil proses *thermal spray coating*. Pengaruh jenis serbuk terhadap kekerasan, kekuatan ikatan antara material induk dengan lapisan yang terbentuk sebagai fungsi serbuk serta struktur mikro lapisan *coating*. Serbuk yang digunakan dalam riset ini adalah METCO 443 NS dan METCO 450NS.

Tujuan dari riset ini adalah untuk mengetahui pengaruh perbedaan tipe serbuk dan suhu pemanasan awal logam induk terhadap karakteristik permukaan lapisan yang dihasilkan. Karakteristik permukaan yang dimaksud adalah kekerasan lapisan permukaan, kekuatan ikatan sambungan antara logam induk dengan lapisan serbuk serta struktur mikro yang dibentuk.

1.1 Proses thermal spraying

Thermal spray coating adalah proses pelapisan dimana terdapat material yang dilelehkan atau dipanaskan dan disemurkan ke permukaan material induk. Dengan proses *thermal spraying* dapat diperoleh ketebalan antara 20 μm hingga beberapa milimeter tergantung proses dan sumber panas yang digunakan. Material pelapisan dapat berupa logam, paduan, keramik, plastik maupun komposit. Material pelapis tersebut dapat berupa serbuk atau kawat. Kualitas pelapisan dicirikan oleh besaran porositas, kekerasan, kekuatan ikatan atom, kandungan oksida dan kekasaran permukaannya. Kualitas pelapisan ditentukan juga oleh proses *thermal spraying*, seperti kecepatan dan jarak *spraying* serta temperatur pemanasan awal.

Proses *thermal spray coating* banyak digunakan di lapangan dengan beberapa alasan sebagai berikut:

1. Lapisan yang terbentuk minimal 20 μm .
2. Memiliki umur pelapisan yang relatif lama, di atas 40 tahun.
3. Kekuatan ikatan antara material induk dengan material lapisan sangat baik.
4. Tingkat porositas lapisan sangat rendah.
5. Ketahanan terhadap korosi tergantung pada ketebalan lapisan. Artinya semakin tebal lapisan yang terbentuk, semakin lama ketahanan material terhadap serangan korosi.

Sifat lapisan yang terbentuk pada proses *thermal spray coating* dipengaruhi oleh beberapa

parameter spray, seperti: komposisi kimia, struktur fase, ukuran kristal serbuk, suhu substrat, gas plasma, sudut spray dan jarak spray [1]. Dari riset yang sama diketahui bahwa penurunan aliran gas H_2 dari 9,5 L/min menjadi 8,6 L/min dapat menurunkan kandungan H_2 sebesar 2%. Penurunan jarak spray dari 130 mm menjadi 75 mm menyebabkan suhu substrat meningkat.

Kekasaran permukaan substrat memiliki pengaruh terhadap kekerasan mikro, porositas dan kekasaran lapisan. Semakin tinggi kekasaran substrat memiliki kecenderungan menurunkan kekerasan mikro, meningkatkan porositas dan kekasaran permukaan lapisan. Kekerasan mikro, porositas dan kekasaran lapisan titik balik pada jarak 12 cm [2]. Porositas lapisan pada umumnya meningkat jika terjadi penurunan laju aliran gas hidrogen dan daya spray. Kekerasan mikro dan modulus Young lapisan mengalami penurunan seiring dengan peningkatan porositas lapisan [3].

Pada riset ini, kualitas lapisan permukaan hasil proses *thermal spray coating* ditentukan berdasarkan kekerasan dan kekuatan ikatannya. Cacat atau retakan yang terbentuk antarmuka lapisan tidak boleh melebihi standar yang sudah ditetapkan. Kualitas lapisan permukaan juga ditentukan oleh ada atau tidaknya *crack* pada permukaan yang mengalami bending pada *qualitatif bend test* [4].

1.2 METCO 443NS dan METCO 450NS

Metco 443NS memiliki rumus kimia (NiCr) 6 Al dengan ukuran partikel antara -125 +45 μm (-120 +325 mesh) [5]. Pada proses *thermal spray coating*, material ini tidak dapat mengikat sendiri tetapi digunakan sebagai pelapisan yang dapat melicinkan. Serbuk Metco 443NS direkomendasikan untuk pelapisan material pada kondisi khusus seperti ketahanan terhadap oksidasi dan korosi pada suhu tinggi. Pelapisan ini juga digunakan sebagai pelapisan dasar untuk keramik.

Metco 450NS memiliki rumus kimia Ni 5Al dengan ukuran partikel -90 +45 μm (-170 +325 mesh) [5]. Pelapisan yang dihasilkan dari serbuk ini relatif padat dan tebal dan tahan terhadap oksidasi dan abrasi. Serbuk ini digunakan sebagai pelapisan ikatan tahan oksidasi dan dapat digunakan hingga suhu 800°C. pengikatan sendiri dan melayani rekasi eksotermis selama penyemprotan, yang menghasilkan ikatan ke substrat yang sangat baik.

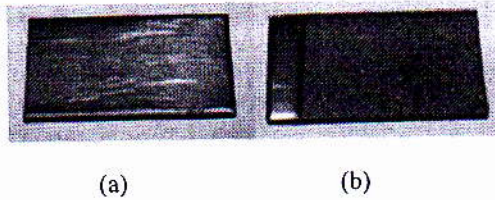
2. METODE PENELITIAN

2.1 Material induk dan serbuk lapisan

Material dasar (*base material*) yang digunakan sebagai substrat adalah paduan nikel chromium dengan dimensi 40 x 18 x 2 mm. Menurut CES Edupack, komposisi kimia dan



spesifikasi material induk adalah (14-46)%Cr, (54-86)%Ni, (100-600) HV, kekuatan tarik (330-2300) MPa dan modulus geser (55-100) GPa [5].



Gambar 1. Spesimen paduan nickel chromium (a) sebelum pelapisan dan (b) sesudah pelapisan

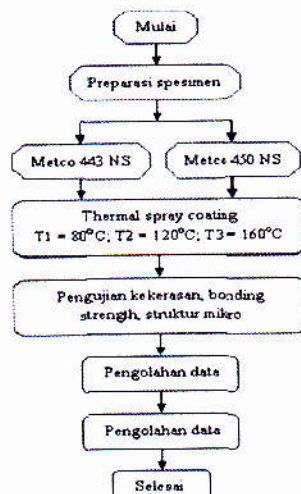
2.2 Parameter proses thermal spray coating

Seperti yang dinyatakan sebelumnya bahwa parameter proses pengerjaan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap sifat dan karakteristik permukaan lapisan. Dalam riset ini, parameter proses yang menjadi variabel tetap adalah jarak dan kecepatan spray, sedangkan suhu pemanasan awal pada logam induknya merupakan variabel bebasnya. Kecepatan dan jarak spray masing-masing 51b/jam dan 5 inci.

Tujuan pemanasan awal logam induk adalah untuk menghilangkan uap air pada permukaan substrat, meningkatkan kekuatan ikatan antara substrat dengan material coating dan mengontrol perbedaan ekspansi panas sebagai akibat perbedaan material. Temperatur preheating yang digunakan dalam penelitian ini terbagi atas 80°C, 120°C dan 160°C.

2.3 Diagram Alir

Agar proses penelitian ini dapat berjalan dengan baik, maka diperlukan sebuah alur kerja seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2 di bawah ini.

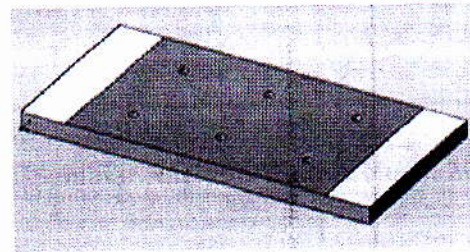


Gambar 2 Diagram alir penelitian

2.4 Pengujian kekerasan dan kekuatan ikatan

2.4.1 Uji kekerasan

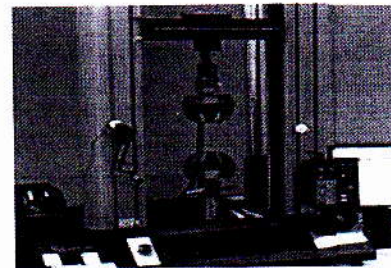
Uji kekerasan dilakukan pada skala mikro dengan indentor berbentuk piramida intan yang memiliki sudut diagonal 136°. Besar beban yang digunakan adalah 300 gram. Pengambilan data dilakukan di setiap sesimen pada 6 titik spesimen dengan waktu tahan 30detik.



Gambar 3. Titik pengujian kekerasan mikro

2.4.2 Uji kekuatan ikatan

Pengujian kekuatan ikatan (*bonding strength*) antara material induk dengan material pelapis permukaan mengacu pada standar ASTM C633-01 tentang metode pengujian standar untuk kekuatan adhesi atau kohesi pada *thermal spray coatings*.



Gambar 4. Mesin uji tarik (*bonding strength*)

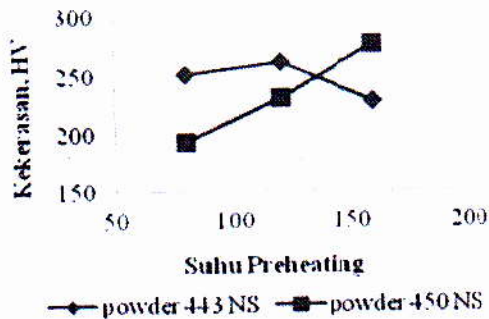
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hubungan antara suhu preheating dan kekerasan permukaan lapisan

Gambar 5 menunjukkan perilaku lapisan serbuk pada proses *thermal spray coating* terhadap kekerasan permukaan lapisan. Suhu preheating memiliki pengaruh yang cukup signifikan terhadap kekerasan lapisan permukaan yang dihasilkan dari serbuk Metco 443NS dan Metco 450NS.

Kekerasan lapisan permukaan yang dihasilkan oleh serbuk Metco 450NS cenderung mengalami peningkatan seiring dengan naiknya suhu preheating. Peningkatan kekerasan dari suhu 80°C ke 120°C sebesar 19,10% dan peningkatan kekerasan dari 120°C menjadi 160°C terjadi peningkatan sebesar 19,77%. Kekerasan lapisan

permukaan pada suhu preheating 80°C, 120°C dan 160°C masing-masing sebesar 193,7 HV, 230,7 HV dan 276,3 HV.



Gambar 5. Hubungan suhu preheating dengan kekerasan material

Sedangkan pada serbuk Metco 443NS mengalami peningkatan kekerasan hingga suhu 120°C dan selanjutnya mengalami penurunan. Kekerasan lapisan permukaan pada suhu 80°C, 120°C dan 160°C masing-masing adalah 251 HV, 261,5 HV dan 228,3 HV. Peningkatan kekerasan ini sebesar 4,18% dan langsung terjadi penurunan kekerasan yang cukup signifikan sebesar 12,70%. Penurunan kekerasan ini disebabkan terjadinya peningkatan prosentase porositas lapisan. Lapisan dengan porositas tinggi memiliki kecenderungan densitas yang rendah.

3.2 Hubungan antara suhu preheating dan kekuatan ikatan lapisan dengan material induk

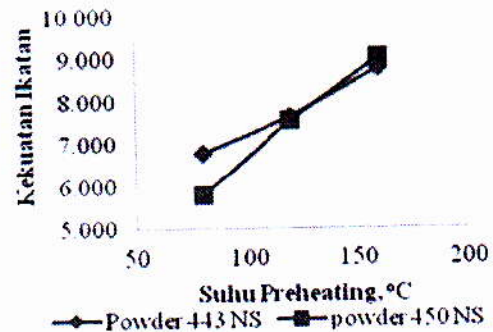
Kedua jenis serbuk, baik Metco 443NS dan Metco 450NS memiliki kecenderungan yang sama, yakni kekuatan ikatan antara material induk dengan lapisan hasil *coating* mengalami peningkatan seiring dengan naiknya suhu preheating. Yang menarik adalah pada suhu 120°C, kedua jenis serbuk memiliki kekuatan ikatan yang hampir sama.

kekuatan ikatan (*bonding strength*)

Kekuatan tarik antara material induk dengan lapisan permukaan yang dibentuk oleh serbuk Metco 443NS pada suhu 80°C, 120°C dan 160°C masing-masing adalah 6.775,9 psi, 7.626,8 psi dan 8.756,2 psi. Sedangkan untuk serbuk Metco 450NS pada suhu 80°C, 120°C dan 160°C masing-masing adalah 5.790,4 psi, 7.548,2 psi, dan 9.005,5 psi.

Kekuatan ikatan semakin tinggi berkaitan dengan waktu pembekuan material serbuk. Artinya, semakin lama waktu pembekuan memungkinkan terbentuknya stabilitas atom yang baik. Hal ini ditunjukkan oleh semakin kecilnya cacat (*defect*)

pada lapisan batas antara material induk dengan lapisan serbuk pelapis.



Gambar 6 Hubungan suhu preheating dengan

Semakin tinggi kekerasan lapisan permukaan memiliki kecenderungan menurunkan kekuatan ikatannya pada serbuk Metco 443NS. Hal ini disebabkan prosentase cacat semakin tinggi dengan bertambahnya suhu preheating. Sehingga *pore* atau *microvoid* ini dapat menjadi retakan awal pada lapisan *coating*. Sedangkan serbuk Metco NS 450NS memiliki kecenderungan sebaliknya.

3.3 Struktur mikro

Dari Gambar 7 dapat dilihat bahwa prosentase dan diameter rata-rata porositas pada suhu 120°C cenderung lebih kecil jika dibandingkan dengan kondisi pada suhu 80°C dan 160°C. Hal ini yang menyebabkan terjadinya perbedaan kekerasan dan kekuatan ikatan atom.



Gambar 7 Struktur mikro lapisan permukaan serbuk Metco 443NS pada suhu preheating yang bervariasi (pembesaran 200x)

Struktur mikro yang terbentuk antara dua permukaan material pada suhu 120°C menunjukkan terbentuknya *interface defect*. Cacat seperti ini memiliki pengaruh terhadap kekuatan ikatan antar permukaan. Sedangkan porous cukup banyak terbentuk pada spesimen pada suhu 160°C. Kondisi ini memungkinkan terjadinya penurunan kekerasan lapisan permukaan.

Hal berbeda terjadi pada lapisan permukaan hasil thermal spray coating dengan serbuk Metco 450NS. Dari Gambar 7 dan Gambar 8 terlihat jelas bahwa *interface defect* pada lapisan

batas relatif lebih baik jika dibandingkan dengan serbuk Metco 450NS.



Gambar 8 Struktur mikro lapisan permukaan serbuk Metco 450NS pada suhu preheating yang bervariasi (pembesaran 200x)

4. KESIMPULAN

Temperatur preheating mempengaruhi karakteristik permukaan lapisan hasil proses *thermal spray coating*. Ada beberapa hal yang dapat disimpulkan dari riset ini, antara lain:

1. Semakin tinggi suhu preheating memiliki kecenderungan meningkatkan kekerasan dan kekuatan ikatan antar lapisan permukaan.
2. Pada suhu preheating di atas 160°C, kecenderungan serbuk Metco 450NS memiliki kekerasan dan kekuatan ikatan yang lebih baik jika dibandingkan dengan serbuk Metco 443NS.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M.S. Morsi, S.A.A. El Gwad, M.A. Shoeib, K.F. Ahmed, Effect of Air Plasma Sprays Parameters on Coating Performance in Zirconia-Based Thermal Barrier Coating, 2012, *International Journal Electrochemical Science*, Vol. 7 (2012), 2811-2831.
- [2] A. Sarikaya, 2005, Effect of some parameters on microstructure and hardness of alumina coatings prepared by the air plasma spraying process, *Surface & Coating Technology* 190 (2005), 388-393.
- [3] X.C. Zhang, B.S. Fu, F.Z. Xuan, S.T. Tu, H.D. Wang, Y.X. Fu, 2009, Porosity and effective mechanical properties of plasma-sprayed Ni-based alloy coatings, *Applied Surface Science* 255 (2009), 4362-4371.
- [4] A. Bhatia, 1999, Thermal Spraying Technology and Applications, Continuing Education and Development, Inc., New York.
- [5] Sulzer Metco, 2006, Thermal Spray Material Guide, Sulzer.