

PENGARUH IMPLANTASI ION ARGON PADA STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN BAJA AISI 430 UNTUK BAHAN STRUKTUR REAKTOR

Agus Hadi Ismoyo, B. Bandriyana dan Parikin

Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju (PSTBM) - BATAN

Kawasan Puspiptek, Serpong 15314, Tangerang Selatan

E-mail: agus_hismoyo@batan.go.id

Diterima: 09 November 2015 Diperbaiki: 21 Desember 2015 Disetujui: 15 Januari 2016

ABSTRAK

PENGARUH IMPLANTASI ION ARGON PADA STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN BAJA AISI 430 UNTUK BAHAN STRUKTUR REAKTOR. Rekayasa permukaan dengan teknik implantasi ion argon (Ar^+) dapat meningkatkan sifat bahan terutama kekerasannya. Implantasi ion argon ini dilakukan pada baja komersial AISI 430 untuk aplikasi bahan komponen reaktor. Perubahan struktur mikro dan kekerasan setelah implantasi diteliti untuk analisis perubahan sifat mekanik bahan. Proses implantasi ion dilakukan pada energi percepatan sebesar 100 keV dengan arus ion 10 mA dan waktu implantasi divariasikan 30, 60 dan 90 menit. Pengamatan struktur mikro dan fasa dilakukan dengan pengujian mikroskop optik dan uji XRD (*X-ray diffraction*), sedang pengujian kekerasan dilakukan dengan metode pengukuran Vickers. Hasil uji mikroskop optik menunjukkan terjadi proses difusi ion argon ke permukaan baja komersial AISI 430 dengan kedalaman difusi sekitar 0,5 mikron untuk waktu implantasi 60 menit dan 2 mikron untuk 90 menit implantasi. Hasil uji XRD untuk sampel sebelum dan sesudah implantasi menunjukkan identifikasi refleksi puncak bidang (110), (200) dan (211) berturut-turut muncul pada sudut difraksi $2\theta = 44,57^\circ$; $64,86^\circ$ dan $82,11^\circ$. Implantasi ion tidak menumbuhkan puncak dan fasa baru yang menunjukkan hanya terjadi proses substitusi dan bukan interstisi argon terhadap atom besi atau atom krom pada kisi kristal BCC. Hal ini disebabkan karena jari-jari atom argon 0,987 Å hampir sama dengan jari-jari kovalen besi yaitu 1,17 Å seperti ini ditunjukkan pada pergeseran sudut difraksi. Perubahan kekerasan terjadi pada proses implantasi sesuai dengan dosis ion Argon melalui penambahan waktu implantasi. Nilai kekerasan baja meningkat setelah diimplantasi ion argon, semakin lama proses implantasi semakin tinggi kekerasannya. Mula-mula saat baja komersial AISI 430 diimplantasi dengan ion argon selama 30 menit kekerasannya adalah 190,78 HV, kemudian setelah baja komersial AISI 430 diimplantasi dengan ion argon selama 60 menit kekerasannya menjadi 222,53 HV dan setelah baja komersial AISI 430 diimplantasi dengan ion argon selama 90 menit kekerasannya menjadi 241,46 HV.

Kata kunci: Implantasi ion Ar^+ , Struktur mikro, Kekerasan

ABSTRACT

EFFECTS OF Ar -ION IMPLANTATION ON MICROSTRUCTURE AND HARDNESS OF AISI 430 STEEL FOR REACTOR STRUCTURE MATERIAL. Surface engineering by using implantation technique of argon (Ar^+) ion may improve the performance of materials especially the hardness. The AISI 430 commercial steels were implanted by using argon ion to be utilized for reactor component materials applications. The change of microstructure and hardness after implantation was investigated to analyze the change of mechanical properties. Ion implantation was carried out at acceleration energy of 100 keV and ion current of 10 mA for 30, 60 and 90 minutes. Observation of the micro structure and phase were performed by an optical microscope showed the diffusion process of ion argon to the surface of commercial steel of AISI 430, and the XRD (*X-ray diffraction*), the hardness test was carried out by Vickers method. Results of the optical microscope test showed that the depth of argon diffusion was around 0.5 micron for 60 minutes and 2 micron for 90 minutes implantation. The test results showed XRD reflection peak identification field of (110), (200) and (211) successively appear at diffraction angles $2\theta = 44,57^\circ$; $64,86^\circ$; and $82,11^\circ$. Ion implantation does not rise a new peak and phase which shows only a process of substitution and not interstitials of argon to the iron matrix at the BCC crystals lattice, because the radii of argon atom is 0,987 Å, a level with covalent radii of iron is

1.17 Å, it is shown in diffraction angle shift. Hardness changes occur in the process according to the dose ion implantation Argon through the addition of implantation time. At the time of 30 minutes implantation argon ion to the commercial steel AISI 430, the hardness is 190,78 HV, after 60 minutes implantation the hardness is 222,53 HV, and after 90 minutes implantation argon ion to the commercial steel AISI 430, the hardness becomes 241,46 HV.

Key words: *Ar⁺ ion implantation, Synthesis, Microstructure, Hardness*

PENDAHULUAN

Implantasi ion adalah kasus khusus dari radiasi partikel. Setiap ion pada umumnya adalah atom tunggal atau molekul sehingga dengan demikian jumlah aktual bahan yang di-implan di target adalah integral dari waktu ke waktu dari arus ion. Jumlah ini disebut dengan dosis. Arus yang terjadi pada implantasi biasanya kecil dalam orde *microampere* sehingga dosis yang dapat ditanamkan dalam kurun waktu tertentu relatif kecil. Oleh karena itu, implantasi ion merupakan aplikasi dalam proses rekayasa permukaan zat padat di mana jumlah perubahan kimia yang diperlukan sangat kecil. Salah satu keunggulan proses implantasi ion adalah kedalaman difusi ion dapat diatur dengan akurat dengan mengatur arus dan waktu implantasi sehingga daya lekat dan ikatan bahan implan ke permukaan bahan lebih kuat.

Energi ion, jenis ion dan komposisi target menentukan kedalaman penetrasi ion pada zat padat di mana berkas ion monoenergi umumnya akan memiliki distribusi kedalaman yang luas. Kedalaman penetrasi rerata tersebut disebut kisaran ion. Rentang karakteristik ion adalah antara 10 nanometer dan 1 mikrometer. Dengan demikian, implantasi ion ini sangat berguna dalam proses perancangan rekayasa perubahan sifat mekanik, struktur mikro dan kristal pada permukaan material target. Efisiensi dan efektifitas teknik implantasi ion bergantung pada energi (arus) yang diterapkan dan atom yang diimplankan.

Pada sitem akselerator implantasi ion umumnya diklasifikasikan ke dalam arus medium (10 µA sampai dengan 2 mA), arus tinggi (mencapai ~30 mA), energi tinggi bila energi ion antara 200 keV sampai 10 MeV. Hal ini dapat mempengaruhi kualitas proses implantasi. Dalam implantasi ion, penggunaan ion Ar⁺ dapat mempermudah proses implantasi secara substitusi, oleh karena ukuran atomnya mendekati ukuran atom matrik dan tidak merubah struktur kristal bahan. Adapun keunggulannya adalah mampu memperkuat sifat mekanik, karena ion Ar⁺ pada permukaan matrik baja dapat menghambat pergerakan dislokasi.

Pada penelitian ini dilakukan perlakuan implantasi ion argon (Ar⁺) terhadap baja komersial AISI 430 yang diharapkan dapat meningkatkan sifat mekanik baik kekerasan, kekuatan dan ketahanan korosi suhu tinggi sehingga dapat diaplikasikan sebagai kandidat bahan struktur reaktor HTGR (*High Temperature Gas Reactor*) [1,2] maupun GT-MHR (*Gas Turbin Modular Helium Reactor*). Bahan struktur reaktor ini harus aman beroperasi selama minimal 60.000 jam dan kekuatan

tariknya harus lebih besar atau sama dengan 225 MPa pada temperatur operasi 850°C [3].

Hipotesis awal diasumsikan bahwa tahap implantasi ion argon (Ar⁺) pada baja komersial AISI 430 akan terjadi proses substitusi dan tidak terjadi proses interstisi oleh ion argon terhadap atom besi atau atom krom pada struktur kristal feritik baja komersial AISI 430. Hal ini disebabkan karena ukuran jari-jari atom argon, besi dan krom hampir sama yaitu jari-jari atom argon 0,987 Å dan jari-jari atom besi 1,19 Å dan jari-jari atom krom 1,17 Å [4]. Proses interstisi ini akan mengakibatkan terjadinya perubahan sifat mekanik (kekerasan) dan struktur mikro. Demikian juga dengan kedalaman proses difusi ion argon dengan variasi waktu implantasi juga akan mengakibatkan perubahan sifat mekanik (kekerasan) struktur kristal dan struktur mikro permukaan baja yang diimplan [5,6].

Pada penelitian ini akan dibahas tentang pengaruh implantasi ion argon (Ar⁺) pada baja komersial AISI 430 yang diharapkan dapat diaplikasikan pada bahan komponen reaktor nuklir. Analisis dan pengamatan dilakukan pada perubahan kekerasan, struktur mikro dan struktur kristal yang signifikan serta terjadinya pelebaran dan pergeseran puncak pola difraksi pada fasa yang terbentuk sebelum dan sesudah implantasi [7].

METODE PERCOBAAN

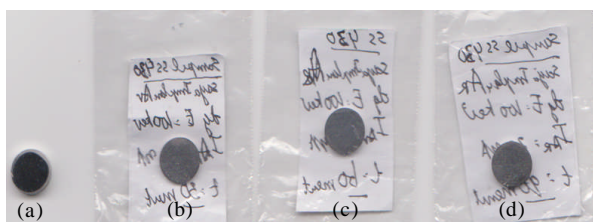
Pada percobaan implantasi ion ini mula mula baja komersial AISI 430 berbentuk batangan dipotong menjadi pelet menggunakan *diamond cutting* masing-masing dengan diameter 10 mm dan ketebalan 2 mm. Selanjutnya permukaan baja yang akan diimplantasi ion argon diratakan dan dihaluskan dengan cara dipoles menggunakan kertas ampelas dimulai dari yang kasar dengan grid 100 mesh sampai dengan yang halus dengan grid 2800 mesh. Setelah permukaan baja komersial AISI 430 mengkilat seperti cermin implantasi ion dilakukan pada energi percepatan sebesar 100 keV dengan arus ion 10 mA [8-10] dan waktu implantasi divariasi 30, 60 dan 90 menit. Komposisi kimia baja AISI430 ini ditunjukkan pada Tabel 1 [11].

Kemudian dilakukan pengamatan kedalaman implantasi dan struktur mikro serta struktur kristal dan fasa masing-masing dilakukan dengan mikroskop optik dan uji XRD (*X-ray diffraction*), sedang pengujian kekerasan dilakukan dengan metode pengukuran Vickers. Tahapan pekerjaan hasil preparasi setelah proses pemotongan dengan

Tabel 1. Komposisi unsur (% berat) baja AISI 430

No.	Sampel	SS430
1	C	0,26
2	Mn	0,61
3	Si	0,27
4	Cr	14,49
5	P	0,19
6	Ni	0,27
7	S	0,004
8	Mo	0,85
9	Ti	-
10	Fe	balance

pemotong *diamond blade* yang dilanjutkan dengan pemolesan dan implantasi ion argon ini dapat dilihat seperti foto yang tampak dalam Gambar 1 sebagai berikut:

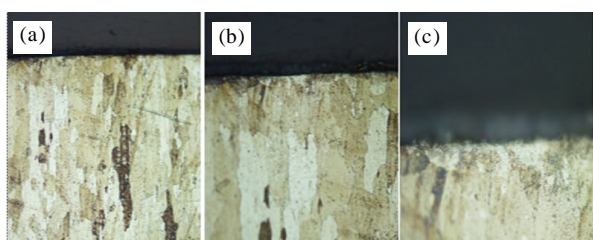


Gambar 1. Foto sampel baja komersial AISI 430 setelah diimplantasi ion Argon, masing-masing dengan waktu implantasi (a). 0 menit, (b). 30 menit, (c). 60 menit dan (d). 90 menit.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Struktur mikro

Struktur mikro baja komersial AISI 430 seperti tertera pada Gambar 2 yaitu berupa struktur feritik warna terang dengan bentuk memanjang. Daerah di bagian bawah yang berwarna terang merupakan daerah yang kaya akan krom, sedangkan daerah gelap merupakan daerah baja komersial AISI 430 yang diimplantasi dengan ion argon.



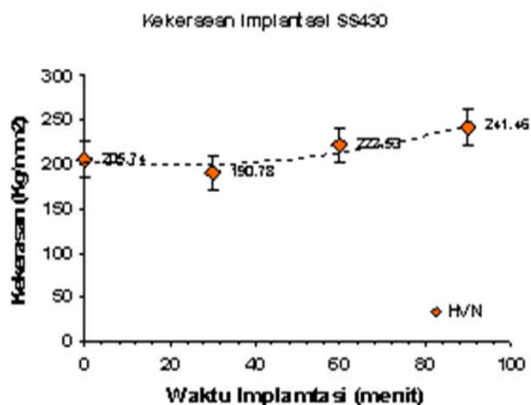
Gambar 2. Struktur mikro ketebalan pelapisan pada permukaan baja AISI 430; (a). 0 m (30 menit), (b). 0.5 m (60 menit) dan (c). 2 m (90 menit).

Pada daerah yang diimplantasi dengan ion argon terjadi proses difusi ion argon ke permukaan baja dengan kedalaman difusi sekitar 0,5 mikron setelah diimplan 60 menit dan menjadi 2 mikron setelah diimplan selama 90 menit. Dengan kondisi proses implantasi ion argon [12] yang dilakukan pada berbagai energi percepatan dan

besar arus ion sekitar 10 mA diperoleh hasil sifat mekanik yang lebih baik dengan sistem pelapisan (*coating*) [13,14] yang tidak mengalami proses difusi.

Kekerasan

Hasil uji kekerasan yang dilakukan dengan alat *Microhardness Tester* model HV-100 menunjukkan terjadinya peningkatan kekerasan seperti ditunjukkan pada grafik Gambar 3. Semakin lama proses implantasi semakin meningkat kekerasan, oleh karena ion implan dapat menghambat pergerakan dislokasi bidang *slip* [15]. Mula-mula saat baja komersial AISI 430 diimplantasi dengan ion argon selama 30 menit kekerasannya sedikit turun menjadi 190,78 HV atau turun 5%, hal ini terjadi karena kemungkinan proses implantasi dengan ion argon pada 30 menit pertama permukaan baja komersial AISI 430 mengalami proses penghilangan tegangan sisa akibat efek proses pemanasan saja dan belum terjadi proses implantasi.

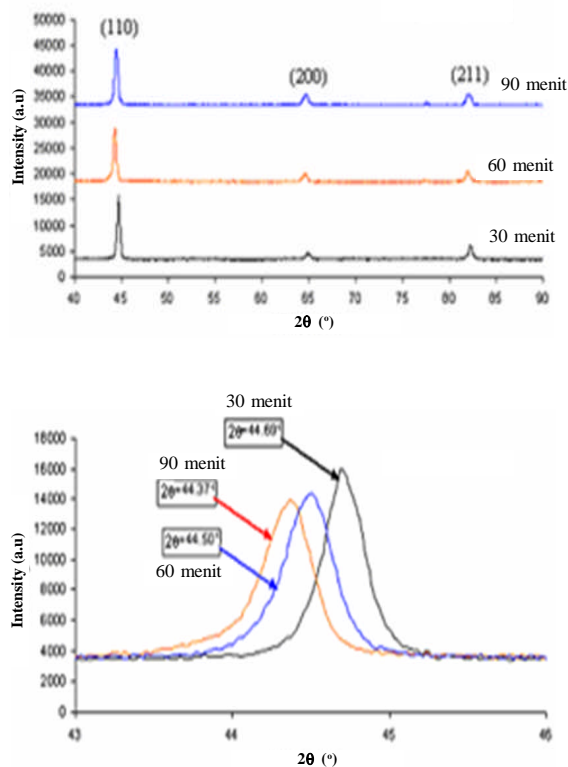


Gambar 3. Grafik hasil uji kekerasan

Kemudian setelah baja komersial AISI 430 diimplantasi dengan ion argon selama 60 menit kekerasannya naik menjadi 222,53 HV dan setelah baja komersial AISI 430 diimplantasi dengan ion argon selama 90 menit kekerasannya menjadi 241,46 HV. Hal ini terjadi karena baja komersial AISI 430 yang diimplantasi dengan ion argon telah terjadi peningkatan ketebalan implan. Dalam hal ini terjadi proses substitusi oleh ion argon menggantikan sebagian matrik Fe kisi kristal BCC (fasa feritik) dan bukan proses interstisi. Ion argon dapat menghambat pergerakan dislokasi bidang *slip* bcc pada permukaan baja AISI 430. Setelah baja komersial AISI 430 diimplantasi dengan ion argon selama 90 menit kekerasannya mengalami kenaikan pada kisaran lebih dari 20 %.

Struktur Kristal

Hasil uji XRD dalam Gambar 4 memperlihatkan identifikasi refleksi puncak bidang (110), (200) dan (211) berturut-turut muncul pada sudut-sudut difraksi 2θ yaitu $44,57^\circ$; $64,86^\circ$ dan $82,11^\circ$.



Gambar 4. Pola difraksi sinar-X (a). implantasi dengan ion Ar dan (b). pergeseran bidang (110).

Implantasi ion tidak menimbulkan puncak dan fasa baru yang menunjukkan hanya terjadi proses substitusi dan bukan interstisi argon terhadap atom besi atau atom krom pada kisi kristal BCC pada fasa feritik, karena jari-jari atom argon 0,987 Å yang besarnya hampir sama dengan jari-jari atom besi 1,19 Å dan jari-jari atom krom 1,17 Å. Oleh karena ion argon bermuatan positif maka dalam kisi terjadi gaya tolak menolak akibatnya jarak antar kisi kristal meregang, oleh efek medan listrik tersubstitusi dalam kisi kristal BCC. Sehingga pola difraksi feritik mengalami pergeseran puncak ke arah kiri (*d-spacing* membesar). Hasil uji XRD menunjukkan identifikasi refleksi puncak bidang (110), (200) dan (211) berturut-turut muncul pada sudut-sudut difraksi 2θ yaitu $44,57^\circ$; $64,86^\circ$ dan $82,11^\circ$.

KESIMPULAN

Implantasi ion tidak menumbuhkan puncak dan fasa baru yang terjadi hanya proses substitusi ion argon menggantikan atom besi atau atom krom pada kisi kristal BCC pada fasa feritik. Hasil uji mikroskop optik menunjukkan terjadi proses difusi ion argon ke permukaan baja komersial AISI 430 dengan kedalaman difusi sekitar 0,5 mikron (60 menit) dan 2 mikron (90 menit). Nilai kekerasan baja meningkat setelah diimplantasi ion argon. Semakin lama proses implantasi semakin tinggi kekerasannya, dan sebanding dengan bertambahnya ketebalan lapisan implan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih pada Kepala Bidang Sains Bahan Maju dan Kepala Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju atas arahannya, Drs. Tjipto Suyitno M.T dalam keterlibatan proses implantasi ion, Drs. Bambang Sugeng, M.T., Imam Wahyono A.Md. dan Sumaryo, A.Md. atas bantuan pengambilan data XRD dan Mikroskop Optik.

DAFTARACUAN

- [1]. R Couturier, C. Escaravage. "High Temperature Alloys For The HTGR Gas Turbine: Required Properties and Development Needs". CEREM, CEA-Grenoble, 2010, pp. 163-166.
- [2]. D. Buckthorpe, R. Couturier, B. v.d. Schaaf, *et.al.*, "Material for the High Temperature Alloys For The HTGR Gas Turbine: Required Properties and Development Needs". in *Transaction SMIRT16*, Washington D.C, paper #1943 (2001), pp. 1-8.
- [3]. William D. Callister, Jr. and David G. Rethwisch. *Materials Science and Engineering*, SI Version. John Wiley & Sons, Inc., 2011, pp. 319-335
- [4]. W. F. Lee, C.Y. Wu, C.T. Lin, *et.al.*, "The effect of nitrogen addition to Ar/CH₄ gas mixture on microstructural characterization of nanocrystalline diamond". *Journal of Polymer Engineering*, 34-3, pp. 253-258, 2014.
- [5]. A. E. Amrani, R. S. Kaddour, M. Maoudj, *et.al.*, "Investigation of rapid thermal oxide/ silicon nitride passivation stack of n⁺ emitter". *Current Applied Physics*, 15-12, pp. 1563-1567, 2015.
- [6]. C.F. Wolle, M.A. Vasconsellos, R.Hinrichs, A.N. Becker, F.B. Barletta and J Endod., "The effect of argon and nitrogen ion implantation on nickel-titanium rotary instruments", 35-11 (2009) 1558-62.
- [7]. F. Djurabekova, K. Nordlund, J. Räisänen and T. Sajavaara. "Transformation of YSZ under high fluence argon ion implantation". in *Proc. 17th International Conference on Radiation Effects in Insulators (REI)*, 2014, Vol. 326, pp. 283-288.
- [8]. F.L. Deng, S.W. Zhu, L.J. Wu, B.J. Cheng. "Effects of low-energy argon ion implantation on the dynamic organization of the actin cytoskeleton during maize pollen germination". *Genet Mol Res.*, 9-2, pp. 785-796, 2010.
- [9]. F.Z. Fang, Y.H. Chen, X.D. Zhang, X.T. Hu., G.X. Zhang. "Nanometric cutting of single crystal silicon surfaces modified by ion implantation". *CIRP Annals Manufacturing Technology*, 60-1, pp. 527-530, 2011.
- [10]. Y.H. Chen, Z.W. Xu, F.Z. Fang, Y.H. Chen, *et.al.*, "Surface modification for brittle monocrystalline materials by MeV ions". *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 272, pp. 433-436, 2012.

- [11]. I. Wahyono, R. Salam, A. Dimiyati, Parikin. "Karakterisasi strukturmikro menggunakan SEM dan XRD pada ketahanan korosi baja komersial SS430 dan baja non komersial F1". dalam *Pros. Sem. Nas. XI SDM TN - Yogyakarta*, 2015, hal. 112-117.
- [12]. C.E. Dubé, B.T.D Buzby, R. Tavares, *et.al.*, "High efficiency selective emitter cells using patterned ion implantation". in *Proc. of The 1st International Confr. on Crystalline Silicon Photovoltaics*, 2011.
- [13]. M. Braic, M. Balaceanu, A. Vladescu, *et.al.*, "Deposition and characterization of multi-principal-element (CuSiTiYZr)C coatings". *Applied Surface Science*, 284, pp. 671-678, 2013.
- [14]. V. Braic, M. Balaceanu, M. Braic, *et.al.*, "Characterization of multi-principal-element (TiZrNbHfTa)N and (TiZrNbHfTa)C coatings for biomedical applications". *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 10, pp. 197-205, 2012.
- [15]. C. Jagadish, S. J. Pearton. "Ion Implantation into ZnO in Technology & Engineering". *Charon Tech., Chennai India*, pp. 285-313, 2011.