



P-ISSN 0126-3188

E-ISSN 2443-3926

LIPI

METALURGI

MAJALAH ILMU DAN TEKNOLOGI

VOLUME 36 Nomor 1, APRIL 2021

AKREDITASI JURNAL ILMIAH NO.3/E/KPT/2019

*The Product Characteristics of Treated Ferronickel Slag
Produced by Alkali Fusion and Carbothermic Process*

*Damage Investigation on Weld Aluminum Component of a Compressor
After-Cooler*

Calcium Carbonate Deposition on Ti-6Al-6Mo Alloy

*Study on Microstructure and Mechanical Properties of Mg-Zn-Fe-Cu-Co
as High Entropy Alloys for Ureteral Implant*

Pengaruh Penempaan dan Perlakuan Panas terhadap Sifat Mekanik
dan Ketahanan Korosi pada Modifikasi Baja Laterit A-588

Pusat Penelitian Metalurgi dan Material
Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia



METALURGI

VOLUME 36 NOMOR 1, APRIL 2021

P-ISSN 0126-3188

E-ISSN 2443-3926

Penanggung Jawab :

Kapuslit Metalurgi dan Material – LIPI

Ketua Dewan Redaksi :

Dr. Ika Kartika, S.T, M.T, P2MM - LIPI

Dewan Editor :

Prof. Dr. Ir. F. Firdiyono (P2MM – LIPI)

Dr. Ir. Rudi Subagja (P2MM - LIPI)

Prof. Dr. Ir. Akhmad Herman Yuwono,
M.Phil. Eng (Teknik Metalurgi dan Material,
Universitas Indonesia)

Prof. Dr. mont. Mohammad Zaki Mubarak,
S.T, M.T (Teknik Metalurgi, Institut
Teknologi Bandung)

Dr. I Nyoman Jujur, M.Eng (BPPT-BRIN)

Mitra Bestari :

Dr. Anawati, M.Sc (Fakultas MIPA,
Universitas Indonesia)

Dr. Yuliati Herbani, M.Sc (Pusat Penelitian
Fisika - LIPI)

Dr. Asep Ridwan S. (Teknik Mesin, Institut
Teknologi Bandung)

Nofrijon Sofyan, Ph. D (Teknik Metalurgi dan
Material, Universitas Indonesia, Universitas
Indonesia)

Dr. Deni Shidqi Khaerudini (Pusat Penelitian
Fisika-LIPI)

Prof. Dr. Timotius Pasang (Oregon Institute
of Technology, United States)

Dr. Witha Berlian Kesuma Putri S.Si, M.Si
(Pusat Penelitian Fisika – LIPI)

Redaksi :

Lia Andriyah, M.Si

Tri Arini, M.T

Nadia Natasha, M.T

Disain Grafis :

Arif Nurhakim, M.A

Website :

Daniel Panghuhutan, M.Si

Adi Noer Syahid, A.Md

Galih Senopati, M.T

Sekretariat dan Penerbit :

Pusat Penelitian Metalurgi dan Material –
LIPI Ged. 470, Kawasan Puspipstek Serpong,
Tangerang Selatan, 15343

Telp: (021) 7560911

E-mail:

jurnalmetalurgi@mail.lipi.go.id

Majalah ilmu dan teknologi terbit berkala setiap
tahun, satu volume terdiri atas 3 nomor

AKREDITASI : SK No. 3/E/KPT/2019

Pengantar

Redaksi.....iii

Abstrak.....v

***The Product Characteristics of Treated
Ferronickel Slag Produced by Alkali Fusion
and Carbothermic Process***

Reza Miftahul Ulum, dkk.....1-6

***Damage Investigation on Weld Aluminum
Component of a Compressor After-Cooler***

Dewa Nvoman Adnyana.....7-16

***Calcium Carbonate Deposition on Ti-6Al-6Mo
Alloy***

Made Subekti Dwijaya dkk17-24

***Study on Microstructure and Mechanical
Properties of Mg-Zn-Fe-Cu-Co as High
Entropy Alloys for Ureteral Implant***

Andi Mulva Ashari, dkk.....25-32

***Pengaruh Penempaan dan Perlakuan Panas
terhadap Sifat Mekanik dan Ketahanan
Korosi pada Modifikasi Baja Laterit A-588***

Miftakhur Rohmah, dkk.....33-42

Indeks

PENGANTAR REDAKSI

Puji syukur Majalah Metalurgi Volume 36 Nomor 1, April 2021 kali ini dapat menampilkan 5 buah karya tulis ilmiah.

Tulisan pertama disampaikan oleh Reza Miftahul Ulum dan kawan-kawan mengenai *The Product Characteristics of Treated Ferronickel Slag Produced by Alkali Fusion and Carbothermic Process*. Tulisan kedua berjudul *Damage Investigation on Weld Aluminum Component of a Compressor After-Cooler* yang ditulis oleh Dewa Nyoman Adnyana. Tulisan selanjutnya yang ditulis oleh Made Subekti Dwijaya dan kawan-kawan dengan judul *Calcium Carbonate Deposition on Ti-6Al-6Mo Alloy*. Untuk tulisan keempat ditulis oleh Andi Mulya Anshari dan kawan-kawan menyampaikan tema *Study on Microstructure and Mechanical Properties of Mg-Zn-Fe-Cu-Co as High Entropy Alloys for Ureteral Implant*. Pada tulisan kelima, Miftakhur Rohmah dan kawan-kawan dengan judul Pengaruh Penempaan dan Perlakuan Panas terhadap Sifat Mekanik dan Ketahanan Korosi pada Modifikasi Baja Laterit A-588.

Semoga penerbitan Majalah Metalurgi volume ini dapat bermanfaat bagi perkembangan dunia penelitian di Indonesia.

REDAKSI

UDC (OXDCF) 620.18

Reza Miftahul Ulum 1, Burhanuddin As-Siraj¹, Latifa Hanum Lalasari², Wahyu Mayangsari² (¹Departemen Teknik Metalurgi dan Material-Universitas Indonesia, ²Pusat Penelitian Metalurgi dan Material-LIPI)

Karakteristik Produk Terak Feronikel yang dihasilkan dengan Perlakuan Fusi Alkali dan Karbotermik

Metalurgi, Vol. 36 No. 1 April 2021

Pemanfaatan terak sebagai sumber daya sekunder umumnya diolah dengan proses reduksi dengan reduktor batubara atau dengan pelindian. Namun, pada penelitian kali ini digunakan reduktor cangkang kelapa sawit sebagai alternatif pengganti batu bara. Reduktor ini dipilih karena ketersediannya di Indonesia yang memadai. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh reduktor cangkang kelapa sawit dan konsentrasinya terhadap proses reduksi terak feronikel yang telah dilakukan fusi alkali sebelumnya. Sampel awal merupakan terak feronikel yang telah dihaluskan kemudian dilakukan proses fusi alkali dengan ditambahkan 20 % berat aditif natrium karbonat (Na_2CO_3) kemudian dilakukan roasting. Sampel tersebut kemudian dicampurkan dengan reduktor cangkang kelapa sawit dengan perbandingan (reduktor : sampel) yaitu 15:85, 20:80, dan 25:75 dalam persen berat. Sampel yang telah dicampur kemudian dikompaksi. Proses reduksi dilakukan dengan menggunakan tube furnace pada temperatur 1100 °C selama 60 menit dengan laju pemanasan 10°C/menit. Cangkang kelapa sawit dianalisis dengan menggunakan ultimate dan proximate analysis, sedangkan produk hasil reduksi kemudian dilakukan penghalusan dan pemisahan magnet secara manual. Produk hasil yang bersifat magnet dikarakterisasi dengan SEM-EDS (scanning electron microscope-energy dispersive spectroscopy) dan XRD (x-ray diffraction). Pada penelitian ini didapatkan bahwa proses reduksi menggunakan reduktor cangkang kelapa sawit menghasilkan produk berupa natrium silikat, hematit, magnetit dan logam besi. Konsentrasi reduktor optimum dalam penelitian ini adalah 15 % berat reduktor.

Kata Kunci: Terak feronikel, fusi alkali, proses karbotermik

The Product Characteristics of Treated Ferronickel Slag Produced by Alkali Fusion and Carbothermic Process

The utilization of slag as a secondary resource is usually processed by a reduction process with coal reducing agents or by a leaching process. However, this study will use palm kernel shell as an alternative reducing agent to substitute coal. Palm kernel shell was chosen as an alternative reducing agent because of their availability in Indonesia. The purpose of this study is to determine the effect of palm kernel shell as a reducing agent and its concentration (wt.%) on the ferronickel slag reduction process. The initial sample is the ground-ferronickel slag, which had been proceeded by alkali fusion by adding 20 wt.% sodium carbonate (Na_2CO_3) as an additive and then roasted. The roasted product is then mixed with palm kernel shell reductant by the ratio (reductant : sample), which are 15:85, 20:80, and 25:75 in weight percent. Samples that have been mixed are then compacted. The reduction process is then carried out using a tube furnace at a temperature of 1100 °C for 60 minutes with a heating rate of 10°C/minute. The palm kernel shells were analyzed using ultimate and proximate analysis, while the reduced product was characterized ground and manually separated magnetically. The magnetic samples were then characterized by SEM-EDS (scanning electron microscope-energy dispersive spectroscopy) and XRD (x-ray diffraction). In this study, it was found that the reduction process using palm kernel shell produces products in the form of natrium silicate, hematite, magnetite, and iron metal. The optimum reducing agent concentration in this study is by adding 15 wt.% reductants.

Keywords: Ferronickel slag, alkali fusion, carbothermic process

UDC (OXDCF) 669.722

Dewa Nyoman Adnyana (Department of Mechanical Engineering-The National Institute of Science and Technology (ISTN))

Investigasi Kerusakan pada Sambungan Las Komponen Aluminium Sebuah Alat Penukar Kalor Kompresor

Metalurgi, Vol. 36 No. 1 April 2021

Studi ini dilakukan pada sebuah alat penukar kalor kompresor yang mengalami kebocoran pada bagian sambungan las komponen yang terbuat dari paduan aluminium tanpa pengerasan perlakuan panas. Tujuan dari studi ini adalah menentukan jenis dan faktor penyebab serta mekanisme kegagalan/kerusakan dalam kaitannya dengan struktur metalurgi yang terjadi. Dalam studi ini sejumlah pengujian telah dilakukan meliputi pemeriksaan visual dan makroskopik, pengujian metalografi dan kekerasan, serta analisa SEM (scanning electron microscope) yang dilengkapi dengan EDS (energy dispersive spectroscopy). Hasil studi yang diperoleh menunjukkan bahwa jenis kegagalan yang terjadi pada alat penukar kalor kompresor adalah korosi antar-butir akibat peristiwa sensitisasi yang terjadi. Disamping itu, kerusakan yang terjadi kemungkinan juga dipengaruhi oleh cacat las yang terbentuk yaitu berupa gas porositas.

Kata Kunci: Alat penukar kalor kompresor, investigasi kerusakan, korosi antar-butir, paduan aluminium tanpa pengerasan perlakuan panas, sensitisasi, porositas gas

Damage Investigation on Weld Aluminum Component of a Compressor After-Cooler

This study was carried out on a compressor heat exchanger (after-cooler) which leaked in the welded joint of a component made of non-heat-treatable aluminum alloys. The purpose of this study is to determine the type, cause, and mechanism of failure/damage with the metallurgical structure that occurs. In this study, several tests were carried out including visual and macroscopic examinations, metallographic and hardness testing, and SEM (scanning electron microscope) analysis equipped with EDS (energy dispersive spectroscopy). The results show that the type of failure that occurs in the compressor after-cooler is intergranular corrosion due to the sensitization that occurred in the microstructure. Besides, the damage that occurs may also be influenced by the weld defect in the form of gas porosity.

Keywords: Compressor heat exchanger, damage investigation, intergranular corrosion, non-heat treatable aluminum alloys, sensitization, gas porosity

UDC (OXDCF) 546.38

Made Subekti Dwijaya^a, Muhammad Satrio Utomo^a, Syafira A Ramadhani^b, Fendy Rokhmanto^a, Ibrahim Purawiardi^a, Galih Senopati^a, Aprilia Erryani^a (^aResearch Center for Metallurgy and Materials-Indonesian Institute of Sciences, ^bSumbawa University of Technology)

Deposisi Kalsium Karbonat pada Paduan Ti-6Al-6Mo

Metalurgi, Vol. 36 No. 1 April 2021

Oseointegrasi adalah salah satu properti penting dalam pengembangan material untuk aplikasi implan tulang. Meskipun material logam biokompatibel seperti paduan titanium sudah memiliki properti biokompatibel bawaan yang sudah mencukupi sebagai material implan tulang, sifat oseointegrasi masih dapat ditingkatkan dengan pelapisan biokeramik. Kalsium karbonat (CaCO_3) dan hidroksiapatit adalah dua biokeramik utama pada tulang yang dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan sifat oseointegrasi pada material implan. Tantangan saat ini pada pelapisan biokeramik pada material implan adalah memperoleh metode pelapisan yang mudah diterapkan dan ekonomis untuk selanjutnya diterapkan di industri. Pada penelitian ini dilakukan sebuah metode yang sederhana untuk mendeposisi kalsium karbonat pada permukaan Ti-6Al-6Mo. Pada kegiatan ini digunakan dua larutan biomimetik yang sudah secara luas digunakan, yaitu PBS (phosphate buffer saline) dan SCS (supersaturated calcification solution) untuk membuat pembentukan kalsium karbonat pada permukaan Ti-6Al-6Mo. Pengamatan struktur mikro dan elemental dengan SEM (scanning electron microscope) – EDS (energy dispersive spectroscopy) menunjukkan keberadaan deposit kalsium karbonat pada permukaan Ti-6Al-6Mo. Lebih lanjut, analisa kristalografi dengan difraksi sinar-x (XRD) juga menguatkan keberadaan deposit kalsium karbonat pada permukaan Ti-6Al-6Mo. Metode yang diajukan juga diterapkan pada Ti murni (>95%) sebagai perbandingan dan diperoleh hasil yang serupa. Pengaruh durasi perendaman juga diamati dalam penelitian ini. Hasil dari imersi dengan durasi 7 dan 10 hari tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan.

Kata Kunci: Kalsium karbonat, implan, larutan kalsifikasi lewat jenuh (SCS), paduan Ti-6Al-6Mo

Calcium Carbonate Deposition on Ti-6Al-6Mo Alloy

Osseointegration is one of the important properties in the development of implant materials for orthopedic applications. While biocompatible metallic materials such as titanium alloys should already have adequate biocompatibility properties as implant materials, their osseointegration property could be further improved by bioceramic coating. Calcium carbonate (CaCO_3) and hydroxyapatite are two major bioceramics in bones that can be utilized to improve the osseointegration property of metallic implant materials. The current challenge on bioceramic coating of metallic implant materials is to obtain a coating method that is facile and economically feasible for implementation in the industry. The current activity proposes a simple and straightforward method to deposit calcium carbonate on Ti-6Al-6Mo. Two common biomimetic solutions were utilized in current activity: PBS (phosphate buffer saline) and SCS (supersaturated calcification solution) to induce the calcium carbonate formation on the Ti-6Al-6Mo surface. Microstructural and elemental observations by SEM (scanning electron microscope) – EDS (energy dispersive spectroscopy) has shown the presence of calcium carbonate on the surface of the Ti-6Al-6Mo. Moreover, the crystallography analysis by XRD (x-ray diffraction) also confirmed the formation of calcium carbonate on the surface of Ti-6Al-6Mo. We also studied the proposed method on pure Ti (>95%) as a comparison and similar outcomes were also observed. The effect on the duration of immersion was also accounted for in the current setting. The outcomes of immersion duration for 7 and 10 days were not significantly different.

Keywords: calcium carbonate, implant, supersaturated calcification solution (SCS), Ti-6Al-6Mo alloy

UDC (OXDCF) 620.18

Andi Mulya Ashari^a, Franciska Pramuji Lestari^b, Rahma Nisa Hakim^b, Inti Mulyati^b, Yudi Nugraha Thaha^b, Ika Kartika^b, Eddy Agus Basuki^a (^a Departement of Metallurgical Engineering-Bandung Institute of Technology, ^bResearch Center for Metallurgy and Materials-Indonesian Institute of Sciences)

Studi Mikrostruktur dan Sifat Mekanik Mg-Zn-Fe-Cu-Co sebagai Paduan Entropi Tinggi untuk Implan Ureteral

Metalurgi, Vol. 36 No. 1 April 2021

Magnesium dan paduannya merupakan kandidat yang menjanjikan untuk bahan yang dapat terdegradasi dengan sifat biokompatibilitas yang baik. Paduan berdasarkan komposisi Mg-Zn-Fe-Cu-Co dirancang dengan metode equiatomic paduan entropi tinggi. Makalah ini membahas struktur mikro dan sifat mekanik dari paduan entropi tinggi. Serbuk Mg (60 μm), Zn (45 μm), Fe (10 μm), Cu (63 μm), dan Co (1 μm) dicampur dan digiling menggunakan shaker mill pada 700 rpm selama 30 menit di atmosfer udara pada temperatur kamar. Serbuk logam hasil gilingan yang dihasilkan dipadatkan dan disinter pada tekanan 300 MPa selama 180 detik dan 600 MPa selama 120 detik. Sintering dilakukan pada suhu 700 °C selama 2 jam dalam tungku vakum dengan laju pemanasan 5 °C / menit pada kondisi atmosfer argon dengan kemurnian tinggi. Pengaruh variasi kandungan magnesium terhadap struktur mikro dan sifat mekanik paduan Mg-Zn-Fe-Cu-Co dilakukan dengan SEM-EDS (scanning electron microscope-energy dispersive spectroscopy), XRD (x-ray diffraction) dan uji keras secara mikro. Paduannya pada dasarnya multifase dan kristal. Paduan 20Mg-20Zn-20Fe-20Cu-20Co terdiri dari fase HCP (hexagonal closed packed) dan fase kubik. Sifat fisik dan mekanik Mg-Zn-Fe-Cu-Co dipengaruhi oleh kandungan magnesium dalam paduan matriks. Adanya pori-pori mengindikasikan pematangan dan proses sintering yang belum tuntas. Paduan memiliki kekerasan sedang antara 286,06 HV - 80,98 HV, sedangkan densitas paduan relatif sedang pada kisaran 3,057 g.cm⁻³ sampai 1,71 g.cm⁻³. Larutan padat dan penguatan presipitasi intermetalik diyakini sebagai mekanisme penguatan utama paduan. Disimpulkan bahwa entropi tinggi adalah metode yang menjanjikan untuk pemrosesan paduan Mg. Paduan dengan komposisi kimia 20Mg-20Zn-20Fe-20Cu-20Co memiliki sifat mekanik optimal yang memenuhi persyaratan minimum paduan entropi tinggi sebagai kandidat aplikasi implan ureter.

Kata Kunci: Logam mampu luruh, paduan entropi tinggi, sifat mekanik, metalurgi serbuk, magnesium

Study on Microstructure and Mechanical Properties of Mg-Zn-Fe-Cu-Co as High Entropy Alloys for Ureteral Implant

Magnesium and its alloys are promising candidates for degradable materials with good biocompatibility. Alloys based on Mg-Zn-Fe-Cu-Co compositions were designed using equiatomic method of high entropy alloy. This paper discusses the microstructure and mechanical properties of these new high entropy alloy. Pure Magnesium (60 μm), Zinc (45 μm), Fe (10 μm), Cu (63 μm), and Co (1 μm) powder were mixed and milled using a shaker mill at 700 rpm for 30 minutes in air atmosphere at room temperature. The resulting milled powders were compacted and sintered at 300 MPa for 180 s and 600 MPa for 120 s. Sintering was performed at 700 °C for 2 hours in a tube vacuum furnace at 5 °C/min heating rate under high purity argon atmosphere. The effect of variations in magnesium content on the microstructure (SEM-EDS and XRD) and mechanical properties (micro hardness tester) of the Mg-Zn-Fe-Cu-Co alloy were performed. The alloys were basically multiphase and crystalline. The 20Mg-20Zn-20Fe-20Cu-20Co alloy consisted of HCP (hexagonal closed packed) phase and cubic phase. The physical and mechanical properties of Mg-Zn-Fe-Cu-Co were affected by the magnesium content in the matrix alloys. The presence of pores indicated uncomplete compaction and sintering process. The alloys have a medium hardness of between 286.06 HV - 80.98 HV, while the densities of the alloys were relatively moderate in the range of 3.057 g.cm⁻³ to 1.71 g.cm⁻³. Solid solution and intermetallic precipitation strengthening were believed the primary strengthening mechanics of the alloys. It is concluded that high entropy is a promising method for the processing of Mg alloys. Alloy with chemical composition of 20Mg-20Zn-20Fe-20Cu-20Co had optimal mechanical properties that meet the minimum requirements of high entropy alloys as candidate for ureteral implant applications.

Keywords: Biodegradable metal, high entropy alloy, mechanical properties, powder metallurgy, magnesium

UDC (OXDCF) 620.112

Miftakur Rohmah, Dedi Irawan, Toni Bambang Romijarso (Pusat Penelitian Metalurgi dan Material-LIPI)

Pengaruh Penempaan dan Perlakuan Panas terhadap Sifat Mekanik dan Ketahanan Korosi pada Modifikasi Baja Laterit A-588

Metalurgi, Vol. 36 No. 1 April 2021

Baja paduan rendah berkekuatan tinggi yang diaplikasikan menjadi baja tahan cuaca merupakan terobosan terbaru untuk menghasilkan sifat mekanik dan ketahanan korosi yang tinggi. Modifikasi baja laterit dengan penambahan kadar nikel yang diterapkan proses termomekanikal terkontrol (TMCP) berupa kombinasi proses penempaan panas dan perlakuan panas menjadi fokus penelitian ini, dimana nikel berfungsi sebagai penstabil austenit. Sampel yang digunakan merupakan baja laterit A-588 hasil *investment casting* yang ditambahkan 1, 2, dan 3 %berat nikel, kemudian diproses penempaan panas dengan pembebanan 100 ton pada temperatur 1050 °C. Variabel perlakuan panas yang digunakan yakni (1) langsung pendinginan udara, (2) dilanjutkan proses pemanasan pada temperatur 750 °C yang diikuti pendinginan cepat. Karakterisasi material menggunakan uji metalografi, uji keras, uji tarik, dan uji polarisasi. Pada hasil tempa panas+pendinginan udara, penambahan kadar nikel hingga 3 %massa mempengaruhi nilai fraksi fasa ferit-perlit yang terbentuk, penambahan ukuran butir hingga $\pm 0,1$ mm, penurunan kekerasan hingga 185,22 BHN, penurunan kekuatan hingga 554 MPa, dan penambahan regangan sebesar 29,1%. Sedangkan pada hasil tempa panas+perlakuan panas dengan pendinginan air, penambahan nikel hingga 3 %massa menyebabkan terbentuknya fasa dislokasi bilah martensit + ferit + austenit sisa, penurunan kekerasan hingga 236,18 BHN, penurunan kekuatan hingga 852 MPa, penurunan regangan hingga 24,7%. Fasa austenit sisa (*retained austenite*) memiliki efek merusak pada sifat mekanis.

Kata Kunci: Baja laterit A-588, austenit sisa, modifikasi baja laterit, tempa panas

Effect of Forging and Heat Treatment on the Mechanical Properties and Corrosion Resistance in A-588 Lateritic Steel Modified

The application of HSLA (high-strength low alloy) for weathering steels is the newest innovation to produce high mechanical and corrosion resistance properties. Modification of laterite steel by nickel addition with a TMCP (thermomechanical control process) in the form of a combination of hot forging and heat treatment processes is the focus of this study, in which a nickel acts as an austenite stabilizer. The sample used was A-588 Lateritic Steel, resulting from investment casting, which has added nickel content of 1, 2, and 3%, then processed by hot forging with 100 tons loading at 1050 °C. Heat treatment variables used were (1) direct air cooling and (2) followed by a heating process at a temperature of 750 °C followed by a rapid cooling process. Material characterization was using a metallographic test, hardness test, tensile test, and polarization test. In hot forging + air cooling samples, the increase in nickel content up to 3 %mass affects the value of the ferrite-pearlite phase fraction formed, the increase in grain size up to $\pm 0,1$ mm, the decrease in hardness is up to 185.22 BHN, the decline in strength is up to 554 MPa, and the elongation increase is 29.1%. Whereas in the hot forging sample + heat treatment with water cooling, the rise in nickel up to 3 %mass causes the formation of martensite + ferrite + retained austenite lath dislocation phase, a decrease in hardness to 236.18 BHN, a reduction in strength to 852 MPa, a decrease in elongation up to 24.7%. The retained austenite phase has a detrimental effect on mechanical properties.

Keywords: Lateritic steel A-588, retained austenite, lateritic steel modification, hot forging