

Pengaruh Post Bending Heat Treatment Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Material Superheater Tube SA-335 Grade P91

Subowo¹, Gathot Dwi Winarto², Indra Sidharta¹, Sutikno¹

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
²Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS)
Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
E-mail: subowo.its@gmail.com

Abstrak

Superheater tube merupakan komponen yang banyak digunakan dalam peralatan pembangkitan listrik, seperti boiler, dan *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG). Fabrikasi superheater tube pada peralatan-peralatan tersebut melibatkan proses cold working (*bending*) dengan sudut *bending* yang bervariasi. Proses *bending* yang dilakukan dapat menyebabkan kenaikan kekerasan pada daerah yang mengalami deformasi plastis, sehingga apabila tube tersebut bekerja pada temperatur tinggi, tekanan tinggi dan lingkungan yang korosif kecenderungan terjadinya kerusakan pada daerah tersebut semakin tinggi. Oleh karena itu diperlukan suatu proses tambahan, seperti perlakuan panas (heat treatment) untuk memperbaiki pengaruh proses *bending*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh proses post *bending* heat treatment (PBHT) terhadap kekerasan dan struktur mikro dari material superheater tube. Proses hot *bending* dilakukan pada material tube SA-335 Grade P91 dengan sudut *bending* 180° pada temperatur 178°C. Spesimen diambil dari material tube pada daerah 45°-90°. Selanjutnya dilakukan proses heat treatment pada spesimen dengan variasi temperatur 600°C, 700°C, dan 800°C dengan holding time selama 1 jam. Spesimen selanjutnya didinginkan didalam dapur pemanas, lalu dilanjutkan dengan pendinginan di udara ambien setelah spesimen mencapai temperatur 300°C sampai temperatur kamar. Pengujian kekerasan Vickers dan metalografi dilakukan pada daerah extrados untuk mengetahui pengaruh PBHT terhadap kekerasan dan struktur mikro spesimen tube. Hasil pengujian menunjukkan bahwa PBHT menyebabkan penurunan kekerasan pada spesimen tube, dimana semakin tinggi temperatur pemanasan yang digunakan, maka kekerasannya semakin menurun. Selama proses heat treatment, material tube mengalami pembesaran ukuran butiran (grain growth). Hal tersebut ditunjukkan pada kenaikan ASTM *grain size* number seiring dengan kenaikan temperatur pemanasan. Proses grain growth merupakan efek dari cold working yang dialami oleh spesimen, dimana pertambahan dislokasi akibat cold working menjadi driving force untuk proses grain growth. Morfologi butiran pada spesimen setelah diberi PBHT relatif tetap bila dibandingkan dengan material tanpa PBHT, namun memiliki ukuran yang lebih besar. Selain itu, pengaruh deformasi plastis pada butiran spesimen yang mengalami PBHT menurun

Keywords: Superheater tube, cold working, Post *Bending* Heat Treatment (PBHT), kekerasan, ukuran butiran.

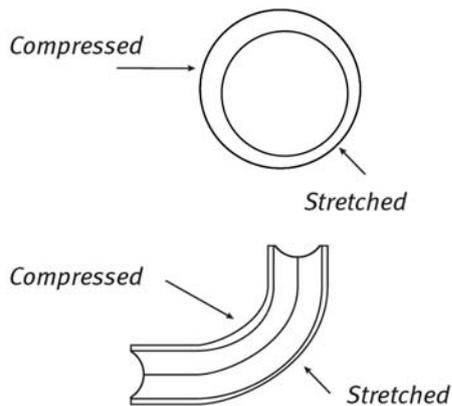
Pendahuluan

Superheater tube merupakan komponen yang banyak digunakan dalam peralatan pembangkitan listrik, seperti boiler, dan Heat Recovery Steam Generator (HRSG). Proses fabrikasi peralatan-peralatan tersebut melibatkan proses deformasi plastis pada komponen superheater tube. Komponen superheater tube ditekuk dengan menggunakan proses *bending* yang menggunakan parameter sudut *bending* yang bervariasi menyesuaikan dengan desain dari peralatan terkait.

Pada saat proses *bending*, daerah pada bagian luar permukaan (Extrados) mengalami tegangan tarik

yang mengakibatkan terjadinya pengurangan ketebalan dan daerah pada bagian dalam permukaan (Intrados) mengalami tegangan tekan yang mengakibatkan ketebalan dinding bertambah, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Deformasi plastis yang terjadi setelah proses *bending* akan menaikkan kekerasan dan menurunkan keuletan dari daerah-daerah tersebut (Callister, 2007, Caminada, 2009). Pengaruh dari deformasi plastis dapat mengakibatkan kegagalan prematur yang terjadi pada daerah-daerah yang mengalami proses *bending*, terutama apabila komponen tube dioperasikan pada temperature dan tekanan yang relatif tinggi. Kegagalan material akibat pengaruh deformasi plastis

telah dilaporkan pada beberapa publikasi (Asahi, 1993, Slade, 2005), dimana kenaikan kekerasan, dan tegangan sisa menjadi penyebab awal terjadinya keretakan dan korosi pada daerah intrados dan extrados tube. Oleh karena itu diperlukan suatu proses tambahan, seperti perlakuan panas (heat treatment) untuk memperbaiki pengaruh deformasi plastis. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh proses post *bending* heat treatment (PBHT) terhadap kekerasan dan struktur mikro dari material superheater tube



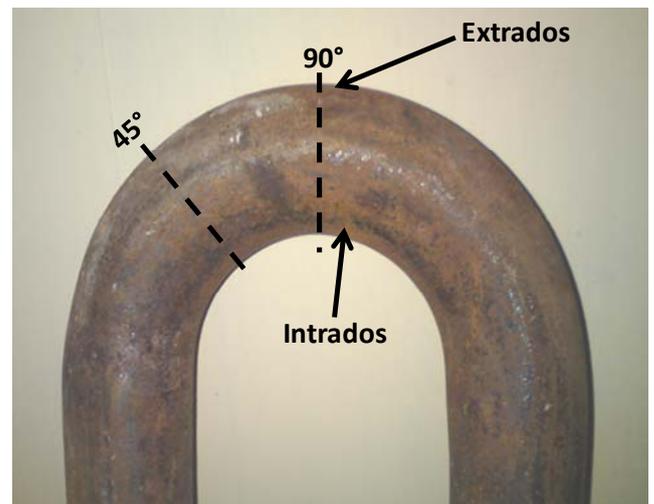
Gambar 1. Pengaruh proses *bending* pada ketebalan dinding tube (Kosmač, 2012).

Metoda Eksperimen

Material SA-335 Grade P91 (seamless ferritic alloy steel pipe) digunakan sebagai material eksperimen. Komposisi kimia dari material SA-335 Grade P91 ditunjukkan pada Tabel 1. Proses hot *bending* dilakukan pada material tube SA-335 Grade P91 dengan sudut *bending* 180° dan radius *bending* 70 pada temperatur 178°C. Spesimen diambil dari daerah tube yang mengalami *bending* pada area 45°-90°, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.

Proses heat treatment dilakukan dengan memanaskan spesimen pada variasi temperatur 600°C, 700°C, dan 800°C dalam dapur pemanas dengan laju pemanasan 300°C/jam dan holding time selama 1 jam. Selanjutnya didinginkan didalam dapur pemanas dengan laju pendinginan sebesar 150°C/jam, lalu dilanjutkan dengan pendinginan di udara ambien setelah spesimen mencapai temperatur 300°C sampai temperatur kamar.

Investigasi dan pengujian dilakukan pada spesimen awal, spesimen tanpa PBHT dan spesimen dengan PBHT didaerah extrados. Pengujian kekerasan dilakukan pada masing-masing spesimen dengan menggunakan metode kekerasan Vickers. Investigasi terhadap struktur mikro dilakukan dengan prosedur standar metalografi yang melibatkan proses grinding dan polishing. Proses etsa menggunakan aqua regia dilakukan untuk mendukung proses pengamatan struktur mikro.



Gambar 2. Tube SA-335 Grade P91 setelah proses *bending*. Spesimen diambil dari area 45° - 90°.

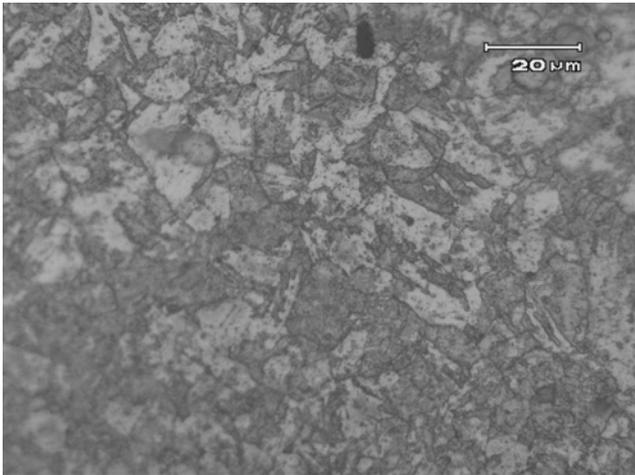
Hasil dan Pembahasan

Struktur mikro spesimen awal ditunjukkan pada Gambar 3. Spesimen awal terdiri dari struktur *ferrite* dan *pearlite* yang mengandung beberapa *ferrite plate*. Morfologi dari struktur mikro spesimen awal menunjukkan bahwa spesimen tube telah diberi perlakuan panas annealing setelah proses cold drawing. Pengaruh cold drawing terhadap struktur mikro spesimen awal hanya tersisa sedikit, ditunjukkan dengan adanya beberapa butiran yang memiliki bentuk pipih memanjang.

Hasil pengamatan terhadap struktur mikro spesimen tanpa PBHT, spesimen dengan PBHT 600°C, 700°C dan 800°C ditunjukkan pada Gambar 4. Pengaruh dari proses *bending* terlihat jelas pada spesimen tanpa PBHT (Gambar 4(a)). Pada spesimen batas butir antara *ferrite* dan *pearlite*, sedangkan pada spesimen tanpa PBHT batas tersebut tidak tampak. Selain itu, struktur *pearlite* tidak terlihat sebagai akibat pengaruh deformasi plastis. Deformasi plastis menyebabkan *pearlite* terdekomposisi, dimana cementite akan mulai terlarut didalam *ferrite* dan mengalami pengecilan ukuran (Fu, 2005). Tidak terlihat indikasi terjadinya

Tabel 1. Komposisi kimia SA-335 Grade P91 yang digunakan dalam eksperimen dalam % berat.

<i>Elemen</i>	<i>Jumlah</i>
C	0.1
Si	0.31
Mn	0.44
P	0.016
S	0.002
Cr	8.49
Mo	0.93
Ni	0.12
Cu	0.09
Al	0.015



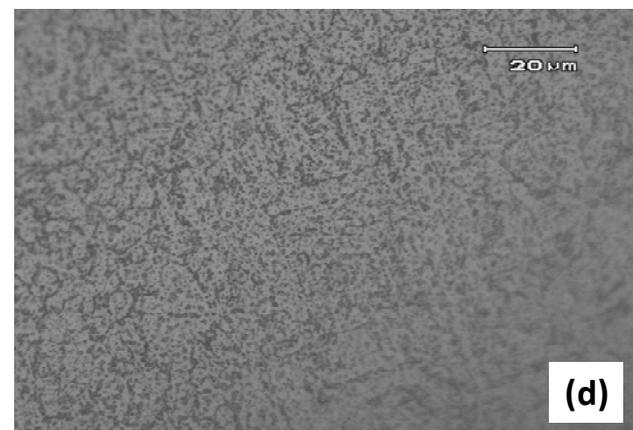
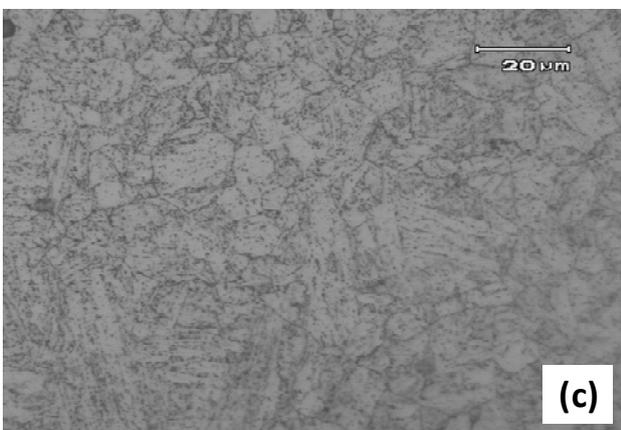
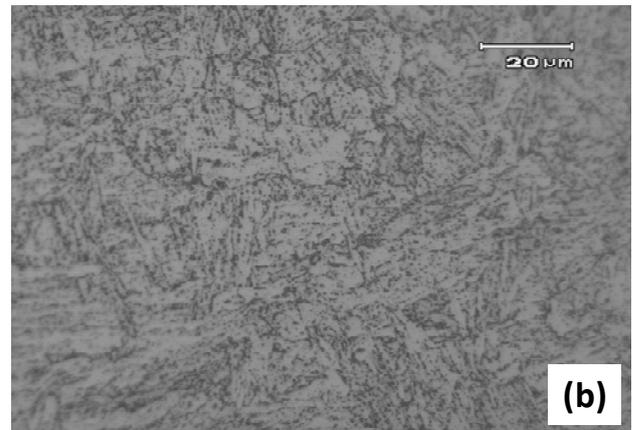
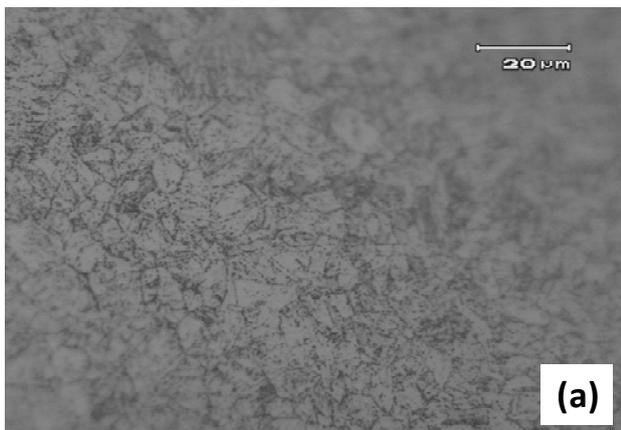
Gambar 3. Struktur mikro spesimen awal.

rekristalisasi yang menunjukkan bahwa proses *bending* dilakukan pada temperatur dibawah temperatur rekristalisasi dari baja.

PBHT dengan temperatur 600°C menghasilkan struktur mikro (Gambar 4(b)) yang relatif serupa dengan dengan spesimen tanpa PBHT. Demikian juga pada spesimen PBHT temperatur 700°C, dimana struktur mikro yang dihasilkan tidak mengalami perubahan yang signifikan. Pada kedua spesimen tersebut mulai terlihat partikel karbida dalam ukuran

yang kecil. Perlakuan panas pada temperatur 600°C dan 700°C yang dilakukan setelah proses *bending* tidak menyebabkan transformasi struktur mikro dari spesimen, karena parameter temperatur yang digunakan masih dibawah temperatur kritis 723°C.

Perubahan struktur mikro terlihat jelas pada spesimen yang diberi perlakuan PBHT pada temperatur 800°C (Gambar 4(d)). Partikel karbida dengan ukuran yang relatif lebih besar tersebar pada matriks *ferrite*. Partikel karbida tersebut merupakan akibat pengaruh unsure paduan yang ada didalam spesimen dan temperatur pemanasan. Temperatur pemanasan yang digunakan melebihi temperatur kritis 723°C, sehingga terjadi transformasi dimana *pearlite* akan terdekomposisi menjadi *austenite* (sebagian besar karbon terlarut dalam *austenite*). Pada saat penahanan di temperatur 800°C terjadi presipitasi partikel karbida, dimana kemungkinan partikel karbida yang terbentuk mengandung elemen Fe, Cr, Mo dan C (Kalandyk, 2008). Partikel karbida yang terbentuk tersebut relatif stabil dan terus bertahan meskipun temperatur sudah berada dibawah 723°C. Oleh karena hanya sedikit karbon yang berada didalam *austenite*, sehingga ketika melewati temperatur kritis 723°C, *pearlite* yang terbentuk jumlahnya sangat sedikit.

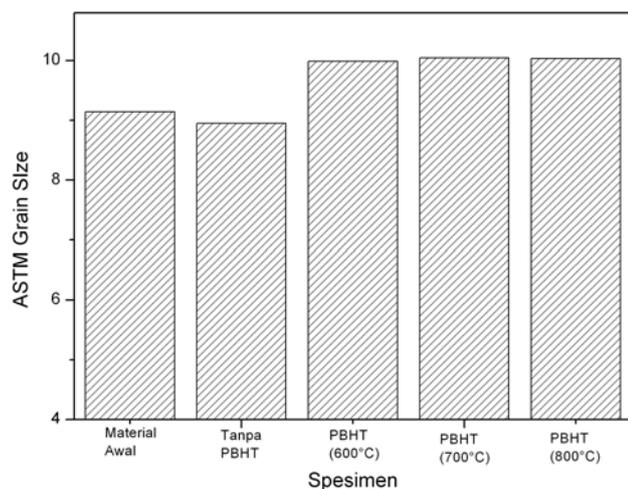


Gambar 4. Struktur mikro dari spesimen yang digunakan dalam eksperimen. (a) Spesimen tanpa PBHT. (b) Spesimen dengan PBHT 600°C. (c) Spesimen dengan PBHT 700°C. (d) Spesimen dengan PBHT 800°C.

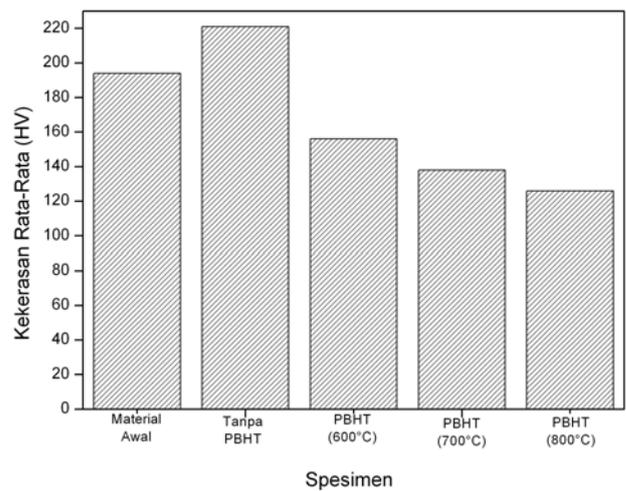
Identifikasi ukuran butiran (*grain size*) dari spesimen juga dilakukan berdasarkan ASTM *Grain size* Number. Gambar 5 menunjukkan *grain size* dari semua spesimen. Spesimen tanpa PBHT memiliki *grain size* yang relatif lebih kecil dibandingkan dengan spesimen awal. Setelah dilakukan perlakuan panas, *grain size* mengalami kenaikan bila dibandingkan dengan *grain size* spesimen tanpa PBHT. Perbedaan temperatur pemanasan mengakibatkan kenaikan *grain size* seiring dengan meningkatnya temperatur pemanasan, namun kenaikan yang terjadi tidak signifikan.

Hasil pengujian kekerasan pada spesimen awal, spesimen tanpa PBHT, dan spesimen setelah PBHT ditunjukkan pada Gambar 6. Spesimen tanpa PBHT mengalami kenaikan nilai kekerasan setelah proses *bending*. Selama proses *bending*, deformasi plastik menyebabkan kenaikan jumlah dislokasi (*dislocation multiplication*) didalam spesimen. Dislokasi-dislokasi tersebut akan berinteraksi satu sama lain sehingga dapat menghambat pergerakan dislokasi dan pada akhirnya kekuatan dan kekerasan akan meningkat (Callister, 2007).

Setelah dilakukan perlakuan panas, terjadi penurunan kekerasan. Kekerasan spesimen cenderung menurun seiring dengan kenaikan temperatur pemanasan yang digunakan. Penurunan nilai kekerasan tersebut disebabkan oleh terjadinya kenaikan *grain size* dari spesimen setelah diberi perlakuan panas, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Proses perlakuan panas setelah logam menerima deformasi plastis dapat menyebabkan terjadinya mekanisme pertumbuhan ukuran butiran (*grain growth*). Mekanisme *grain growth* didahului oleh tahap *recovery* dan *recrystallization* dimana sifat mekanik dari logam mengalami penurunan karena jumlah dislokasi didalam logam mengalami penurunan. Penurunan kekerasan yang paling besar terjadi pada spesimen dengan PBHT 800°C.



Gambar 5. ASTM *Grain size* Number dari spesimen yang digunakan dalam eksperimen.



Gambar 6. Kekerasan rata-rata spesimen yang digunakan dalam eksperimen.

Pada struktur mikro ketiga spesimen yang diberi PBHT tidak terlihat indikasi adanya tahap *recrystallization*. Terdapat kemungkinan bahwa *recrystallization* yang terjadi hanya bersifat parsial (Ferry, 2001). Selain itu, temperatur *recrystallization* pada low carbon steel bervariasi tergantung dari besarnya derajat deformasi plastis yang diterima (Verhoeven, 2007). Struktur mikro ketiga spesimen dengan PBHT mengindikasikan bahwa derajat deformasi plastis akibat *bending* hanya menghasilkan temperatur *recrystallization* sekitar 800°C. Oleh karena itulah hanya terjadi *recrystallization* secara parsial. Jika *recrystallization* hanya terjadi secara parsial maka proses *grain growth* akan berjalan secara lambat. Hal tersebut ditunjukkan pada Gambar 5 dimana kenaikan *grain size* setelah PBHT tidak terlalu besar.

Mekanisme lain yang dapat menyebabkan terjadinya penurunan kekerasan adalah terjadinya kenaikan ukuran partikel karbida dalam matriks *ferrite*. Pada Gambar 4(b) - 4(d) dapat dilihat bahwa ukuran partikel karbida yang terbentuk mengalami kenaikan seiring dengan meningkatnya temperatur pemanasan yang digunakan. Kombinasi antara kenaikan *grain size*, berkurangnya jumlah dislokasi dan kenaikan ukuran partikel karbida dapat menyebabkan penurunan kekerasan pada spesimen.

Kesimpulan

Post Bending Heat Treatment (PBHT) yang diaplikasikan pada material tube SA 335 Grade P91 setelah proses *bending* mempengaruhi struktur mikro dan sifat mekanik material tersebut. Struktur mikro dari spesimen mengalami perubahan dimana pada temperatur pemanasan 800°C *grain size* dan ukuran partikel karbida mengalami kenaikan. Kekerasan dari spesimen mengalami penurunan setelah PBHT diaplikasikan. Penurunan kekerasan dapat dihubungkan dengan perubahan struktur mikro yang

terjadi setelah spesimen diberi perlakuan panas. Kenaikan *grain size*, berkurangnya jumlah dislokasi serta kenaikan ukuran partikel karbida menyebabkan terjadinya penurunan kekerasan tersebut.

Referensi

Callister W. D., *Materials Science and Engineering: An Introduction*, 7th ed., John Wiley & Sons, Inc., (2007).

Caminada S., Cumino G., Cipolla L. & Gianfrancesco A. D., Cold bending of advanced ferritic steels: ASTM grades T23, T91, T92, *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, Vol. 86, 853-861, (2009).

Asahi H. & Ueno M., Effect of Cold-Working on Sulfide Stress Cracking Resistance of Low Alloy Martensitic Steels, *ISIJ International*, Vol. 33, 1275-1280, (1993).

Slade J. P. & Gendron T. S., Flow Accelerated Corrosion and Cracking of Carbon Steel Piping in Primary Water - Operating Experience at the Point Lepreau Generating Station, 12th International Conference on Environmental Degradation of Materials in Nuclear Power System – Water Reactors, 773-782, (2005).

Kosmač A., Bending stainless steel tube - Design benefits in engineering and architecture, *Materials and Applications Series*, Vol. 15, 1-17, (2012).

Fu W., Xiong Y., Zhao J., Li Y., Furuhashi T. & Maki T., Microstructural Evolution of Pearlite in Eutectoid Fe-C Alloys during Severe Cold Rolling, *J. Mater. Sci. Technology*, Vol. 21, 25-27, (2005).

Kalandyk B. & Zapala R., Effect of heat treatment parameters on the properties of low-alloy cast steel with microadditions of vanadium, *Archives of Foundry Engineering*, Vol. 8, 137-140, (2008).

Ferry M., Yu D. & Chandra T., Influence of Hot Deformation Conditions on the Annealing Behaviour of Cold Rolled Ultra Low Carbon Steel, *ISIJ International*, Vol. 41, 876-882, (2001).

Verhoeven J. D., *Steel Metallurgy for the Non-Metallurgist*, ed., ASM International, (2007).