

沃斯田鐵化程度對中碳鋼碳化物球化效應之影響

陳柏任、李義剛

E-mail: 324250@mail.dyu.edu.tw

摘要

碳鋼之碳化物球化程度，主要決定於沃斯田鐵化程度和球化階段冷卻速率的控制。藉由文獻指出沃斯田鐵化之單位面積或單位體積中殘留碳化物顆粒數，將與球化處理後肥粒鐵相中球狀碳化物數量相同。因此，本研究即主要探討中碳鋼S35C及S35CM在球化處理前，藉由縮短沃斯田鐵化時間，使碳化物不完全固溶而達到預成核效果。如此，會讓球化過程中減少成核期，進而達到大幅度縮短球化熱處理時間的目標。顯微組織觀察發現，S35C及S35CM皆會隨著沃斯田鐵化持溫時間的增長，層狀碳化鐵被分解溶入基相較充分，殘留的碳化物顆粒較少。球化處理時，溶入沃斯田鐵相中的碳原子會被吸附到殘留的碳化物顆粒，使球狀碳化物逐漸長大，導致球化顆粒有聚集粗大的效果。由粒徑大小分析，沃斯田鐵化6小時的球狀粒徑最大。持溫至8小時的碳化物粒徑，反而無持續成長且較小。球化率的分析顯示，隨著沃斯田鐵化持溫時間的增加，球化率亦隨之增加。直到沃斯田鐵化6小時時，球化率程度達到最高。全退火組織與不同沃斯田鐵化程度的球化組織之XRD分析比較發現，隨著沃斯田鐵化時間的增長，球化過程中碳化物聚集長大，使處於基相之肥粒鐵面積隨之增大，許多不同於全退火(110)之肥粒鐵繞射峰形成。機械性質結果顯示，S35C與S35CM均隨著沃斯田鐵化持溫時間的增加，硬度有降低的趨勢。沃斯田鐵化持溫6小時之球化試件，其強度、延性均有優異表現。然而，因球化處理後之平均粒徑較大，肥粒鐵含量增加，而使衝擊值降低。由本研究所歸納出之沃斯田鐵化6小時為最適當之預成核時間，縮短了25%的沃斯田鐵化時間。利用此結果，再探討球化熱處理的最適化時間，相信在其操作時間的縮減上有一定的幫助。對於業界進行球化熱處理時，更可減少爐體加熱之電費消耗與運轉率，進而節省成本。

關鍵詞：中碳鋼、球化處理、沃斯田鐵化、預成核

目錄

目錄 封面內頁 簽名頁 中文摘要.....	iii	英文摘要.....	iii
.....v 誌謝.....	v	.....vii 目錄.....	vii
.....viii 圖目錄.....	viii	.....xi 表目錄.....	xi
.....xv 第一章 前言.....	xv	.....1 1.1 研究動機.....	1
.....1 1.2 研究目的.....	1	.....4 第二章 文獻回顧.....	4
.....6 2.1 碳鋼.....	6	.....6 2.1.1 碳鋼的簡介.....	6
.....6 2.1.2 碳鋼的分類.....	6	.....6 2.1.3 添加合金元素對碳鋼之影響.....	6
.....9 2.1.4 碳鋼之性質及使用.....	9	.....10 2.2 碳鋼的熱處理.....	10
.....12 2.2.1 調質熱處理.....	12	.....12 2.2.2 退火熱處理.....	12
.....18 2.3 球化處理的發展.....	18	.....21 2.4 晶格指向與破壞關係.....	21
.....22 2.5 破壞模式.....	22	.....23 第三章 材料與實驗方法.....	23
.....25 3.1 材料準備.....	25	.....25 3.2 實驗流程.....	25
.....26 3.3 完全退火與球化熱處理.....	26	.....27 3.4 金相觀察分析.....	27
.....29 3.4.1 球化粒徑計算.....	29	.....29 3.4.2 球化率計算.....	29
.....30 3.5 硬度試驗.....	30	.....31 3.6 XRD繞射分析.....	31
.....31 3.7 拉伸試驗.....	31	.....32 3.8 衝擊試驗.....	32
.....33 第四章 結果與討論.....	33	.....36 4.1 顯微組織觀察.....	36
.....36 4.1.1 球化粒徑分析.....	36	.....40 4.1.2 球化率分析.....	40
.....42 4.3 XRD分析.....	42	.....44 4.4 拉伸試驗.....	44
.....47 4.4.1 拉伸破斷面分析.....	47	.....49 4.5 衝擊試驗.....	49
.....58 4.5.1 衝擊破斷面分析.....	58	.....60 第五章 結論.....	60
.....74 參考文獻.....	74	.....75 圖目錄 圖1-1 鍛造生產製程之八大道次.....	75
.....2 圖1-2 電熱爐球化處理溫度時序圖.....	2	.....2 圖2-1 鐵碳平衡圖.....	2
.....7 圖2-2 全退火作業方法.....	7	.....14 圖2-3 球化退火的各種作業方法.....	14
.....16 圖2-4 碳鋼鑄件消除殘留應力時，所需的加熱溫度和時間關係.....	16	.....17 圖2-5 沃斯田鐵中的各元素擴散係數.....	17
.....17 圖2-6 波來鐵SEM金相圖.....	17		

.....18	圖2-7 散佈在肥粒鐵基地之球化金相圖.....	19	圖2-8 鐵-碳相圖之球化溫度區域.....
.....19	圖2-9 碳鋼之各種顯微組織對其強度與延性的比較.....	20	圖2-10 破壞型態示意圖.....
.....24	圖2-11 穿晶破壞.....	24	圖2-12 沿晶破壞.....
.....24	圖3-1 SHIMADZU PDA-700分光儀.....	25	圖3-2 球化退火時序圖.....
.....26	圖3-4 電熱管狀爐.....	27	圖3-5 OLYMPUS BX51 OM.....
.....29	圖3-6 HITACH S3000N SEM.....	29	圖3-7 球化粒徑分析軟體.....
.....30	圖3-8 球化率分析軟體.....	30	圖3-9 洛氏硬度計.....
.....31	圖3-10 SHIMADZU XRD-6000.....	31	圖3-11 拉伸試驗機.....
.....32	圖3-12 拉伸試片規格.....	33	圖3-13 衝擊試驗機.....
.....34	圖3-15 衝擊試驗原理.....	35	圖4-1 S35C全退火(OM).....
.....36	圖4-2 S35CM全退火(OM).....	36	圖4-3 S35C在不同沃斯田鐵化程度之碳化物球化顯微金相圖：(a) ASC2；(b) ASC4；(c) ASC6；(d) ASC8 (SEM).....
.....38	圖4-4 S35CM在不同沃斯田鐵化程度之碳化物球化顯微金相圖：(a) ASCM2；(b) ASCM4；(c) ASCM6；(d) ASCM8 (SEM).....	39	圖4-5 沃斯田鐵化程度對球化粒徑影響.....
.....41	圖4-6 沃斯田鐵化程度對球化率影響.....	42	圖4-7 沃斯田鐵化程度對硬度影響.....
.....43	圖4-8 S35C之XRD分析.....	45	圖4-9 S35C之XRD 局部放大分析.....
.....45	圖4-10 S35CM之XRD分析.....	46	圖4-11 S35CM之XRD局部放大分析.....
.....47	圖4-12 S35C不同熱處理沃斯田鐵化之工程應力-應變曲線.....	47	圖4-13 S35C不同熱處理沃斯田鐵化之機械性質.....
.....50	圖4-14 拉伸、衝擊巨觀斷口特徵.....	50	圖4-15 拉伸試驗試桿之破壞型態.....
.....50	圖4-16 S35C不同沃斯田鐵條件下之拉伸破斷位置圖.....	51	圖4-17 S35C不同沃斯田鐵條件下之拉伸破斷巨觀金相：(a) 全退火；(b) ASC2；(c) ASC4；(d) ASC6；(e) ASC8.....
.....52	圖4-18 S35C全退火之拉伸破斷金相：(a) 巨觀金相；(b) 纖維區；(c) 輻射區；(d) 剪唇區.....	53	圖4-19 ASC2之拉伸破斷金相：(a) 巨觀金相；(b) 纖維區；(c) 輻射區；(d) 剪唇區.....
.....54	圖4-20 ASC4之拉伸破斷金相：(a) 巨觀金相；(b) 纖維區；(c) 輻射區；(d) 剪唇區.....	55	圖4-21 ASC6之拉伸破斷金相：(a) 巨觀金相；(b) 纖維區；(c) 輻射區；(d) 剪唇區.....
.....56	圖4-22 ASC8之拉伸破斷金相：(a) 巨觀金相；(b) 纖維區；(c) 輻射區；(d) 剪唇區.....	57	圖4-23 S35C及S35CM不同沃斯田鐵化之球化熱處理的衝擊值比較.....
.....58	圖4-24 S35C及S35CM不同沃斯田鐵化之球化處理的韌斷面積百分率比較.....	60	圖4-25 S35C不同沃斯田鐵化之球化處理試件的衝擊破斷面巨觀金相圖：(a)全退火；(b)ASC2；(c)ASC4；(d)ASC6；(e)ASC8.....
.....62	圖4-26 S35CM同沃斯田鐵化之球化處理試件的衝擊破斷面巨觀金相圖：(a)全退火；(b)ASCM2；(c)ASCM4；(d)ASCM6；(e)ASCM8.....	63	圖4-27 S35C全退火衝擊試片破斷金相圖：(a) 破斷面全貌；(b) A位置之放大；(c) B位置之放大；(d) C位置之放大.....
.....64	圖4-28 ASC2衝擊試片破斷金相圖：(a) 破斷面全貌；(b) A位置之放大；(c) B位置之放大；(d) C位置之放大.....	65	圖4-29 ASC4衝擊試片破斷金相圖：(a) 破斷面全貌；(b) A位置之放大；(c) B位置之放大；(d) C位置之放大.....
.....66	圖4-30 ASC6衝擊試片破斷金相圖：(a) 破斷面全貌；(b) A位置之放大；(c) B位置之放大；(d) C位置之放大.....	67	圖4-31 ASC8衝擊試片破斷金相圖：(a) 破斷面全貌；(b) A位置之放大；(c) B位置之放大；(d) C位置之放大.....
.....68	圖4-32 S35CM全退火衝擊試片破斷金相圖：(a) 破斷面全貌；(b) A位置之放大；(c) B位置之放大；(d) C位置之放大.....	69	圖4-33 ASCM2衝擊試片破斷金相圖：(a) 破斷面全貌；(b) A位置之放大；(c) B位置之放大；(d) C位置之放大.....
.....70	圖4-34 ASCM4衝擊試片破斷金相圖：(a) 破斷面全貌；(b) A位置之放大；(c) B位置之放大；(d) C位置之放大.....	71	圖4-35 ASCM6衝擊試片破斷金相圖：(a) 破斷面全貌；(b) A位置之放大；(c) B位置之放大；(d) C位置之放大.....
.....72	圖4-36 ASCM8衝擊試片破斷金相圖：(a) 破斷面全貌；(b) A位置之放大；(c) B位置之放大；(d) C位置之放大.....	73	表目錄 表1-1 台灣某鍛造公司之球化處理溫度時序表.....
.....3	表2-1 以含碳量分類之鋼種.....	8	表2-2 以顯微組織分類之鋼種.....
.....8	表2-3 顯微組織之機械性質.....	11	表3-1 S35C與S35CM化學成份表.....
.....25	表3-2 球化處理溫度時序表.....	27	表3-3 試片編號與沃斯田鐵化處理時間關係.....
.....28	表4-1 S35C不同熱處理沃斯田鐵化隻機械性質比較.....	48	表4-2 S35C及S35CM不同沃斯田鐵化之球化處理的衝擊值與韌斷面積百分率.....
.....59			

參考文獻

[1]黃振賢，“金屬熱處理”，新文京開發出版有限公司，pp.77-177，1998。

- [2]Y. H. Lee, S. Y. Lee, J. D. Lee, D. L. Lee and J. S. Kwon, " Study on the Formation of Ferrite-Cementite Microstructure by Strain Induced Dynamic Transformation in Medium carbon Steels ", POSCO TECHNICAL REPORT, Vol. 10 (1), 2006.
- [3] " Metal Handbook ", ASM International, 10th Ed, Vol.4, pp.26-135, 1991.
- [4]涂書豪, " 碳鋼與鋁-矽-鎂合金反應之機制探討 ", 碩士論文, 國立中央大學, 2005。
- [5]劉火欽, " 金屬材料 ", 台灣, 三民圖書, pp.58-64, 1982。
- [6]網島正一, " 熱處理技術與實務 ", 台灣, 財團法人中衛發展中心, pp.193-195。
- [7]簡文通, " 機械製造 ", 台灣, 全華科技圖書股份有限公司, pp.2-13, 1994。
- [8] " Metal Handbook ", ASM International, 10th Ed, Vol.14, pp.46-55, 1997.
- [9] " The Making, Shaping and Treating of Steel ", 10th Ed. Courtesy of the Association of Iron and Steel Engineers.
- [10] " Metal Handbook ", ASM International, 10th Ed, Vol.7, 1997.
- [11]中野平, 川谷洋司, 高炭素低合金鋼球狀化成長???, ??鋼, Vol. 58 (14), pp.88, 1972。
- [12]賀毅, 王學前, " 高碳鋼快速球化退火工藝的研究 ", Hot Working Technology, 第一期, pp.32-34, 2002。
- [13]Wu Xiao-Juan, " Fast Spheroidizing for Steel T10 ", Jurnal of China Jiliang University, Vol. 16 (2), 2005.
- [14]H. Di, X. Zhang, G. Wang, X. Liu, " Spheroidizing kinetics of eutectic carbide in the twin roll-casting of M2 high-speed steel ", J. of Materials Processing Technology, (166), pp.359-363, 2005.
- [15]T. Oyama, O.D. Sherby, J. Wadsworth, " Application of the divorced eutectoid transformation to the development of fined-grained, spheroidized structures in ultrahigh carbon steels ", Scripta. Metallurgica, (18), pp.799-804, 1984.
- [16]Sherby, " Divorced Eutectoid Transformation Process and Product of Ultrahigh Carbon Steels ", United States Patent: 4448613, 1984.
- [17]Sherby, " Ultrahigh Carbon Steel Alloy and Processing Thereof ", United States Patent: 4533390, 1984.
- [18]王寶奇, 宋曉?, 李紅娟等, " 含鋁超高碳鋼等溫球化工藝的研究 ", 材料科學與工藝, Vol. 12 (4), pp.337-341, 2004。
- [19]王寶奇, 彭會芬, 宋曉?等, " 鍛造超高碳鋼的球化工藝與力學性能 ", 材料熱處理學報, Vol. 25 (1), pp.27-31, 2004。
- [20]樊業軍, 蘭衛平, 張占領, 朱杰武, 柳永寧, 許雁, " 球化工藝對熱軋超高碳鋼組織性能的影響 ", 材料熱處理, Vol. 35 (20), pp.13-18, 2006。
- [21]曹海玲, 張占領, 朱杰武, 柳永寧, 許雁, " 超高碳鋼球化組織與性能研究 ", 材料熱處理, Vol. 36 (16), pp.19-21, 2007。
- [22]P. Prasad Rao, Susil K. Putatunda, " Investigations on the fracture toughness of austempered ductile irons austenitized at different temperatures ", Materials Science and Engineering A349, pp.136-149, 2003.
- [23]Hyun Jo Jun, S.H. Park, S.D. Choi, C.G. Park, " Decomposition of retained austenite during coiling process of hot rolled TRIP-aided steels ", Materials Science and Engineering A 379, pp.204-209, 2004.
- [24]M. Hatherly and W.B. Hutchinson, An Introduction to Texture in Metals, London, pp.39-63, 1969.
- [25]K. Mills and J. R. Davis et al., Metals Handbook Ninth Edition vol.12 Fractography, pp.13-19, 1987.
- [26]JIS G4051:財團法人日本規格協會, 2005。
- [27]Abdullah Ceylan, C. C. Baker, S. K. Hasanain, S. Ismat Shah, " Effect of particle size on the magnetic properties of core-shell structured nanoparticles ", JOURNAL OF APPLIED PHYSICS 100, (034301), pp.1-5, 2006.
- [28]陳志清, " 利用超臨界二氧化碳製備生物可分解之溫度/pH敏感性核殼共聚物 ", 碩士論文, 國立台灣大學, 2009。
- [29]陳韋廷, " 以烷硫醇基與烷羧酸基為保護劑具超晶格現象的金與銀奈米粒子 ", 碩士論文, 國立中山大學, 2008。
- [30]James M. O' Brien, William F. Hosford, " Spheroidization Cycles for Medium Carbon Steels ", Vol.33A, 2002.
- [31]陳明禮, " 鈷鎳合金化延性鑄鐵之沃斯回火製程及其風能應用特性研究 ", 博士論文, 大同大學, 2009。
- [32]ASTM E8M: Standard Test Methods for Tensile Testing of Metallic Materials, USA.
- [33]ASTM E23: Standard Test Methods for Impact Toughness of Metallic Materials, USA.
- [34]Fan Ya-Jun, Lin Wei-Ping, " Effect of Spheroidizing Technology on Microstructure and Mechanical Properties of Hot-rolling Ultra-high Carbon Steel ", Material and Heat Treatment, pp.13-18, Vol. 20 (35), 2006.
- [35]A. Danon, C. Servant, A. Alamo, J.C. Brachet, " Heterogeneous austenite grain growth in 9Cr martensitic steels: influence of the heating rate and the austenitization temperature ", Materials Science and Engineering A348, pp. 122-132, 2003.
- [36]WU Di, LI Zhuang, LU Hui-shengd, " Effect of Controlled Cooling After Hot Rolling on Mechanical Properties of Hot Rolled TRIP Steel ", Journal of Iron and Steel Research, International, pp.65-70, Vol. 5 (2), 2008.
- [37]James M. O' Brien, William F. Hosford, " Spheroidization Cycles for Medium Carbon Steels ", Metallurgical and Materials Transactions A, Vol. 33A, pp.1255-1261, 2002.
- [38]C.K. SYN, D.R. LESUER, and O.D. SHERBY, " Influence of Microstructure on Tensile Properties of Spheroidized Ultrahigh-Carbon (1.8 Pct C) Steel ", Metallurgical and Materials Transactions, pp.65-70, Vol. A25 (6), 1994.
- [39] " Components for Slings-Safety, Part 1: Forged Steel Components, Grade8 ", SVENSK STANDARD SS-EN 1677-1.
- [40] " Components for Slings-Safety, Part 2: Forged Steel Lifting Hooks with Latch, Grade 8 ", SVENSK STANDARD SS-EN 1677-2.
- [41] " Components for Slings-Safety, Part 3: Forged Steel Self-Locking Hooks, Grade 8 ", EUROPEAN STANDARD SS-EN 1677-3.
- [42]洪敏雄, " 沃斯回火球墨鑄鐵之簡介 ", 沃斯回火球墨鑄鐵專集, 中華民國鑄造學會, 1988。