

沃斯回火球墨鑄鐵之微觀組織與機械性質探討
Microstructures and Mechanical Properties of Austempered Ductile Iron

*劉旭倫，洪飛義，呂傳盛，陳立輝

*Hsu-Lun Liu, Fei-Yi Hung, Truan-Sheng Lui, Li-Hui Chen

國立成功大學 材料科學及工程學系

摘要

球墨鑄鐵具良好鑄造性、制振性及生產成本較鋼材低等特點，以沃斯回火的方式對球墨鑄鐵進行熱處理，可獲得優良的機械性質。本實驗將球墨鑄鐵沃斯田鐵化後，置入鹽浴爐進行不同溫度的恆溫熱處理，以探討不同沃斯回火溫度造成的機械性質變化。將球墨鑄鐵試片置於 930°C 空氣爐中 30 分鐘，再置於鹽浴爐中 30 分鐘進行 250°C、300°C、350°C、400°C 沃斯回火處理。經硬度及拉伸測試與微觀組織分析（光學顯微鏡、電子顯微鏡、XRD 分析）對不同沃斯回火溫度進行調查。實驗結果顯示，金相組成以變韌體組織為主；隨著沃斯回火溫度提升，試片的硬度會隨之下降；拉伸性質的部分，隨沃斯回火溫度提升逐漸升高，到 350°C 時為最高，之後再隨溫度上升而呈抗拉強度下降趨勢。

關鍵詞：球墨鑄鐵，沃斯回火，變韌肥粒體

Abstract

With good castability, machinability and low production cost, ductile iron has been used in various industrial applications. By austempering treatment, ductile iron improves its mechanical properties. In this experiment, we treat specimen with different austempering temperature, to investigate the effect of austempering temperature on mechanical properties. We hold specimens in furnace for 30 minutes with 930°C, and then put the specimens into salt bath for 30 minutes with different temperature, including 250°C, 300°C, 350°C and 400°C. To investigate the properties of those specimens, we test them with hardness test, tensile test and microstructure analysis (OM, SEM, XRD). In this experiment, we find the main microstructure of the specimens is bainitic ferrite; with austempering temperature increases, the hardness decreases; finally, the 250°C specimen has lowest tensile strength, and 350°C has the best tensile properties, both maximum tensile strength and largest deformation.

Key words: Ductile Iron; Austempering; Bainitic Ferrite

一、前言

球墨鑄鐵因其優良的鑄造性、成型性、制振性等特性以及較低的生產成本，已經是一種被廣泛使用的工程材料。沃斯回火球墨鑄鐵 (Austempered Ductile Iron, 簡稱 ADI) 主要相組成爲變韌肥粒體及殘留沃斯田體，視熱處理情況還可形成麻田散體及碳化物。這些相可藉由熱處理條件的改變及成分的調整獲得不同機械性質組合的產品，使得 ADI 具有寬廣的機械性質範圍，如抗拉強度可從 850MPa

到 1600MPa，伸長率可從 2%到 15%，在材料使用上更有彈性，因此已可取代部分鑄鋼、鍛鋼在運輸工業及機械工業的應用⁽¹⁻³⁾。

本實驗由於有應用方面考量，針對球墨鑄鐵之薄型雙環型試片進行研究。本實驗將試片進行回火溫度不同之沃斯回火熱處理，從組織以及機械性質進行探討，以了解沃斯回火溫度參數對 ADI 雙環型試片之影響。

二、實驗方法與步驟

將球墨鑄鐵以 930°C 在空氣爐中持溫三小時，再降溫至 730°C 持溫五小時，最後爐冷至室溫後取出以進行肥粒體化處理。肥粒體化處理後的球墨鑄鐵塊材，利用線切割的方式加工成雙環型試片。球墨鑄鐵成分如表一，試片形狀如圖一。之後將雙環型試片置入空氣爐中，在 930°C 持溫 30 分鐘進行沃斯田體化；再迅速放入鹽浴爐中，溫度分別設定為 250°C，300°C，350°C 及 400°C，持溫 30 分鐘作沃斯回火處理，最後置入水中急冷。

為了瞭解不同回火溫度對試片組織的影響，本實驗將 ADI 雙環型試片先經砂紙研磨再拋光處理，之後以 5% Nital 溶液進行腐蝕，並以光學顯微鏡觀察金相組成；另外使用 X-ray 繞射分析儀，以銅靶及每分鐘 3 度的速率進行掃描，對試片進行相組成分析。在機械性質的測試上，本實驗將 ADI 雙環型試片經由洛式硬度機測試其硬度，另以萬能試驗機進行拉伸測試，以瞭解不同沃斯回火溫度對機械性質的影響。

三、結果與討論

光學顯微鏡的金相觀察結果如圖二所示。圖二(a)為經 250°C 沃斯回火處理的試片金相，其組織最為細緻，變韌肥粒體的板間距最小。而圖二(b)與(c)分別為 300°C 及 350°C 之沃斯回火處理試片金相，隨沃斯回火溫度提升，變韌肥粒體的板間距逐漸變寬，可明顯觀察到變韌肥粒體的束狀組織。400°C 沃斯回火的試片如圖二(d)所示，由於回火溫度已達上變韌體形成範圍，可觀察到部分變韌肥粒體的組織成長的較大，呈羽毛狀型態，為上變韌體組織。

X-ray 繞射分析結果如圖三，四組溫度的 XRD 圖差異不大，前三高的峰值分別為 α 相的三個峰值，對照金相為變韌肥粒體組織，其餘組織可能由於形成的量並不多，無法藉由 X-ray 繞射偵測到。

洛式硬度測試結果如圖四所示，250°C 回火的試片硬度最高，可達 HRA75。而隨沃斯回火溫度提升，硬度持續下降，到 400°C 約為 HRA64，此處結果符合一般文獻之報導，下變韌體硬度優於上變韌體，回火溫度越低硬度越高⁽⁴⁾。

拉伸測試結果如圖五及圖六所示。不同於硬度變化之趨勢，試片之抗拉強度在 250°C 回火時最低，之後隨回火溫度提升而上升，到 350°C 時為最高，而溫度升至 400°C 時拉伸強度值則再下降，呈現在 350°C 時有一峰值的變化情形。而在伸長量表現上，則與抗拉強度有相同變化趨勢，在回火溫度 350°C 時為最佳，250°C 時伸長量最低。

由結果可知，伸長量與抗拉強度呈正相關，且不同於一般文獻報導回火溫度越低抗拉強度越大的結果⁽⁵⁾。由於本實驗使用的試片導入應力集中的圓孔，推測在此條件下的 ADI 試片受圓孔的影響，無法表現出 ADI 應有的強度；而隨著沃斯回火溫度提升，變韌體延性增加，以減緩缺口對 ADI 試片造成的影響，強度才因而提升，到 350°C 強度與延性均有最佳的表現。當沃斯回火溫度再提升至 400°C 時，其基體出現上變韌體，碳化物的粗大使得強度與延性受到影響，抗拉強度與伸長量皆下降，因此峰值出現在 350°C。

四、結論

根據本實驗結果顯示，不同沃斯回火溫度處理之 ADI 雙環型試片，對於應力集中的圓孔有不同的敏感度。相組成與一般變韌體組織並無太大差異。在機械性質表現上，不同沃斯回火溫度處理的 ADI 試片有異於一般標準試片拉伸之趨勢⁽⁵⁾，傳統上隨回火溫度提升，試片的抗拉強度會隨之下降。但本實驗結果顯示，回火溫度 250°C 時雙環型試片抗拉強度最低，回火溫度提高抗拉強度隨之提升，至 350°C 為最高，溫度升高至 400°C 時再下降。由實驗結果可得知，在 350°C 回火溫度時，ADI 雙環型試片的強度與延展性均有最佳的表現。

五、參考文獻

- (1) 蕭富昌，「肥粒體基球墨鑄鐵中低溫脆性之探討」，國立成功大學材料科學及工程學系博士論文，頁 1，民國 87 年。
- (2) 許益誌，「沃斯回火熱處理與球墨分布對沃斯回火球墨鑄鐵沖蝕磨耗影響之探討」，頁 1，國立成功大學材料科學及工程學系碩士論文，民國 83 年。
- (3) 吳滄欽，「沃斯回火球墨鑄鐵相變態與機械性質之研究」，國立中央大學機械工程研究所博士論文，頁 1，民國 92 年。
- (4) K. B. Rundman, D. J. Moore, K. L. Hayrynen, W. J. Dubensky, and T. N. Rouns, "The Microstructure and Mechanical Properties of Austempered Ductile Iron", *Journal of Heat Treatment*, vol. 5, No. 2, 1988, pp. 79-95.
- (5) J. Aranzabal, I. Gutierrez, J.M. Rodriguez-Ibabe, and J.J. Urcola, "Influence of the Amount and Morphology of Retained Austenite on the Mechanical Properties of an Austempered Ductile Iron", *Metallurgical and Materials Transactions A*, vol.28A, May 1997, pp.1143-1156.

Table.1 Composition of ductile iron (wt%)

C	Si	Mn	P	S	Mg	Fe
2.99	3.39	0.58	0.016	0.008	0.043	Bal.

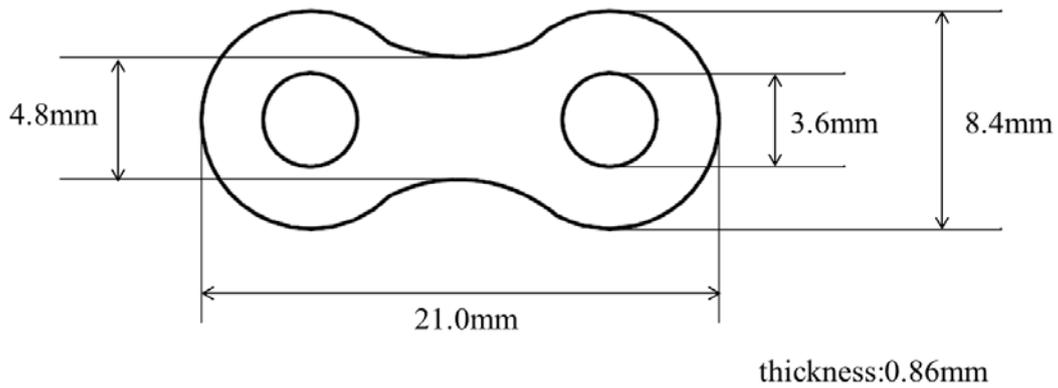


Fig. 1 Specimen dimension

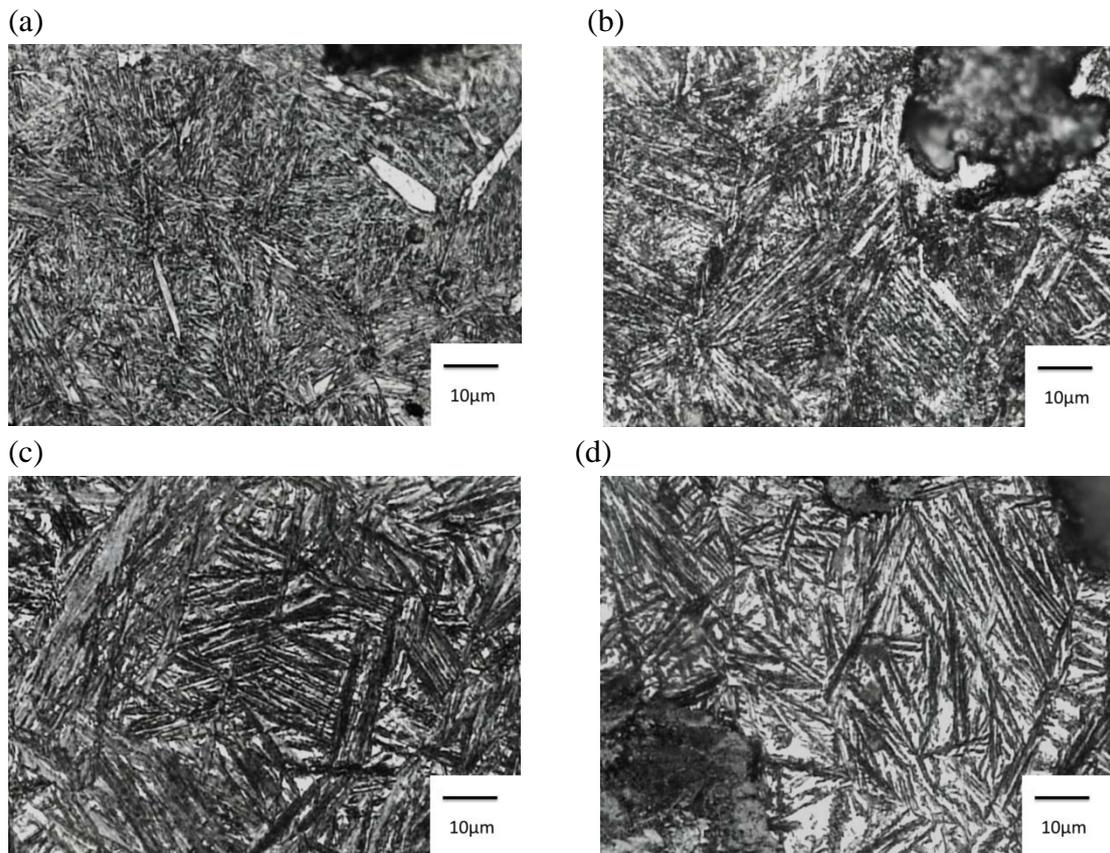


Fig. 2 Microstructure of ADI specimen with different austempering temperature , (a) 250°C (b) 300°C (c) 350°C (d) 400°C

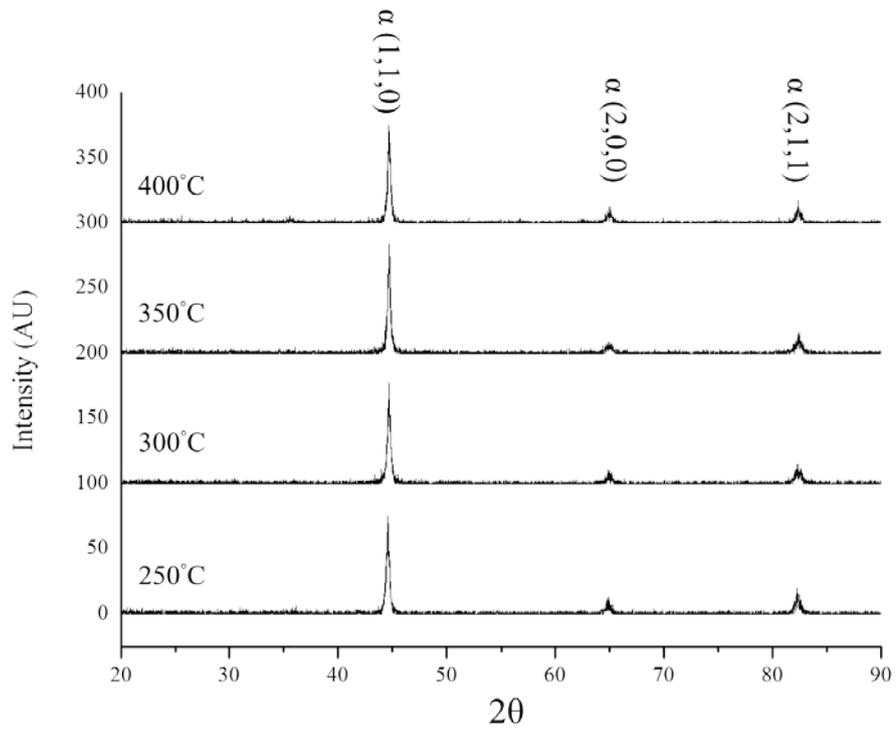


Fig. 3 XRD analysis of ADI specimen with different austempering temperature

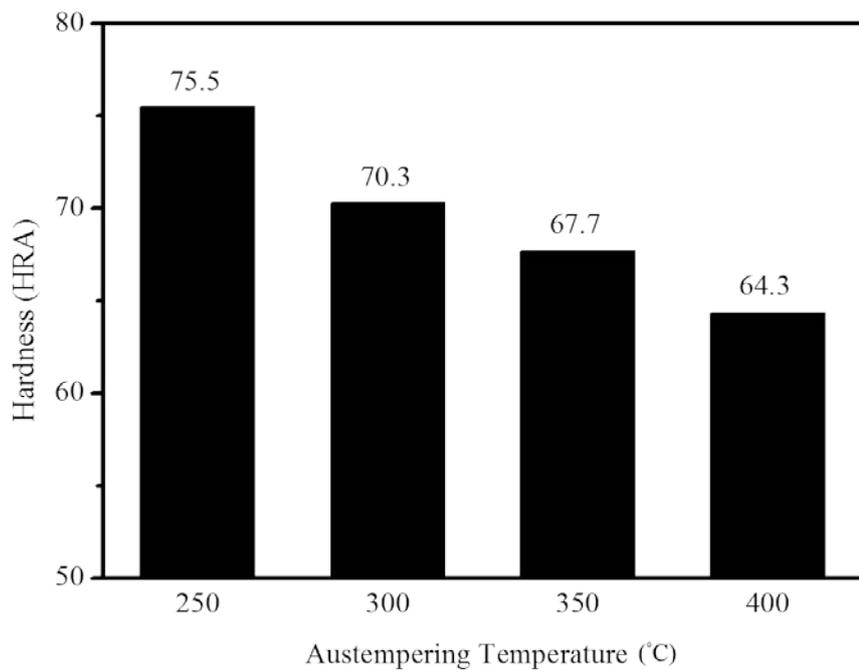


Fig. 4 Hardness of ADI specimen with different austempering temperature

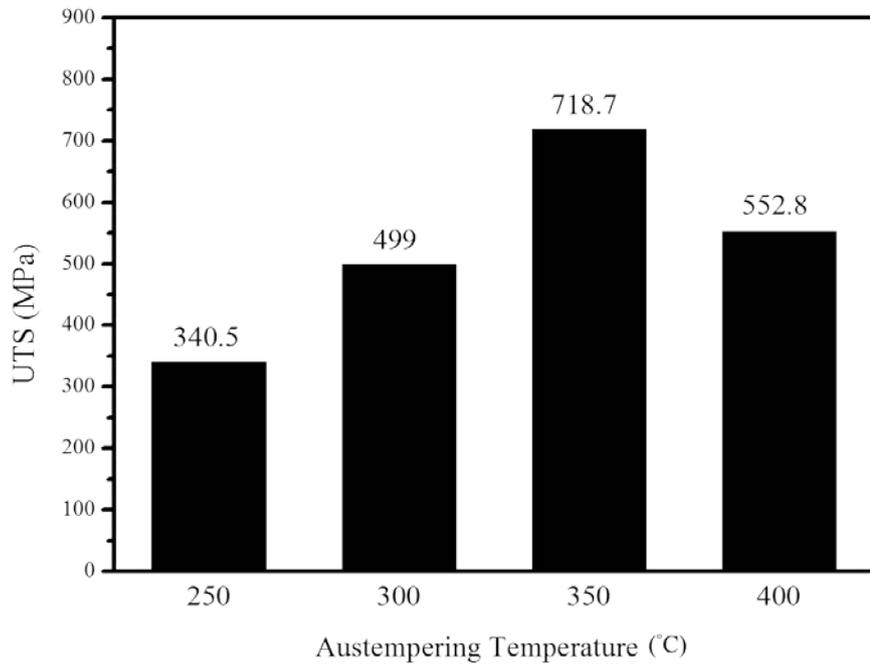


Fig. 5 UTS of ADI specimen with different austempering temperature

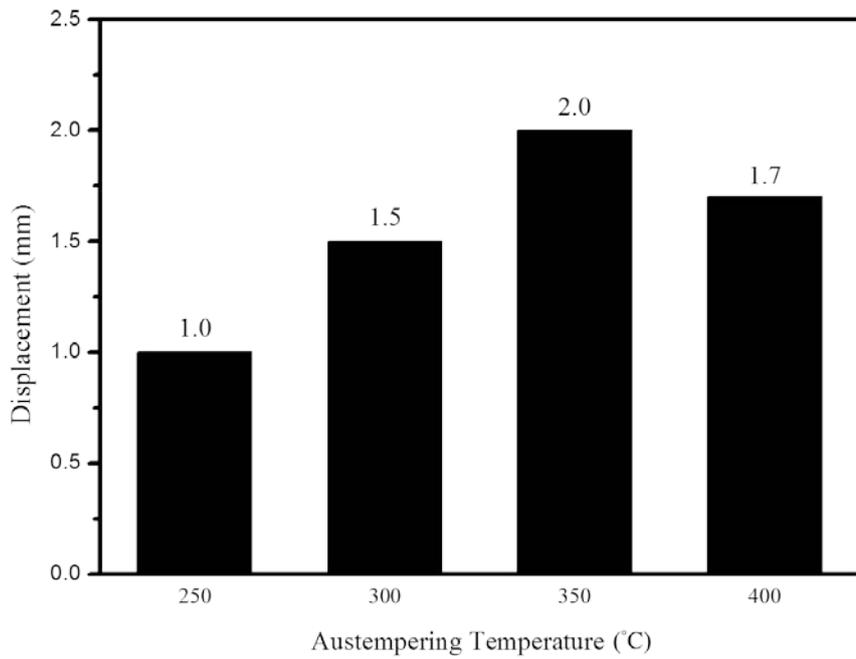


Fig. 6 Displacement of ADI specimen with different austempering temperature