

SAE 8620 合金鋼熱處理效應之研究

Effects of heat treatment on SAE 8620 alloy steel

洪榮德¹ 連聰賢² 曾莉雅¹ 林新智³ 林昆明⁴
Steven Hong T.S. Lian L.Y. Tseng H.C. Lin K.M. Lin

¹振鋒企業股份有限公司

²行政院勞工委員會職業訓練局中區職業訓練中心

³台灣大學 材料科學與工程學系

⁴逢甲大學 材料科學與工程學系

聯絡作者：林新智 e-mail: hclinntu@ntu.edu.tw

摘要

SAE 8620 合金鋼係廣泛應用於滲碳和滲碳氮化的表面硬化鋼，然而對於其熱處理效應則尚無系統性的研究與報導，故本研究將 SAE 8620 合金鋼實施調質熱處理，並針對其熱處理效應做一詳實且系統性的探討，包括微觀組織、機械強度、衝擊韌性與抗腐蝕特性等。實驗結果顯示 SAE 8620 合金鋼經過 900°C 淬水、400°C 回火之熱處理後，展現相當優異的機械強度、衝擊韌性與抗腐蝕特性。
關鍵詞：SAE 8620 合金鋼、熱處理、機械性質、抗腐蝕

Abstract

SAE 8620 alloy steels are often used as the raw materials for carburization and carbo-nitriding to raise their surface hardness. However, there is no systematic investigation on the effects of heat treatment of this alloy steel. Therefore, the present study aims to investigate the effects of heat treatment on SAE 8620 steels, including the microstructure, mechanical strength, impact toughness and corrosion resistance. Experimental results show that the 400°C tempering of SAE 8620 steels can exhibit an excellent overall performance, including the mechanical strength, impact toughness and corrosion resistance.

Keywords: SAE 8620 alloy steels, Heat treatment, Mechanical property, Corrosion resistance

1. 前言

構造用合金鋼是用來製造各種機械的重要零件，早期的非熱處理型構造用合金鋼係在正常化狀態下所使用的鋼種，稱高強度低合金鋼⁽¹⁾，適用於機械、橋樑等構造物。然而，隨著技術發展，低合金鋼在合金含量、

性能水準已有所突破並擴大生產及應用到各領域。

鎳鉻鉬鋼之淬火硬化效能非常好，且不易發生淬裂，耐熱性佳，同時又可防止回火脆性之缺點，因此鎳鉻鉬鋼為構造用鋼中之最重要鋼種^(1,2)，起重用的安全吊鉤即採用鎳鉻鉬鋼來製造。基於安全性的考量，避免吊鉤在超過負載時突然斷裂，因此對吊鉤材料的延韌性有嚴格的要求⁽³⁻⁷⁾。增加碳含量雖可增加強度，但卻會嚴重降低延韌性。

現階段使用的安全吊鉤材料以 80 級鎳鉻鉬鋼(Nickel-Chromium-Molybdenum Steel)為主。振鋒公司為國際知名的吊鉤機具與元件之製造生產公司，即選用低含碳量的 SAE 8620 合金鋼材來製造 80 級安全吊鉤。SAE 8620 合金鋼係廣泛應用於滲碳與滲碳氮化的表面硬化鋼⁽¹⁰⁻¹⁴⁾，然而對於其熱處理效應則尚無系統性的研究與報導，故本研究即針對 SAE 8620 合金鋼之基本性質與熱處理效應做一詳實且系統性的探討，希望藉由相關實驗與分析，闡明 SAE 8620 合金鋼之各種性能，並建立其最佳之熱處理技術，進而提高 SAE 8620 合金鋼之產品品質與應用效能。

2. 實驗方法

本實驗所使用之母材料為中鋼公司所生產的 SAE 8620 合金鋼(直徑 30mm 鋼棒)，以分光儀進行成份鑑定。合金鋼先於鹽浴爐中實施 900°C、1 小時後空冷之正常化熱處理，再以機械加工方式製成適當尺寸與形狀之各種試片。試片之調質熱處理程序為 900°C、20 分鐘後水淬，再分別於 300°C、400°C、500°C 進行 1 小時之回火處理。

合金經正常化與調質熱處理後，分別進行相關特性分析。應用光學顯微鏡(OM)做

金相觀察，檢測其微觀組織。以洛氏硬度計檢測合金經不同條件熱處理後之硬度值，每試片測試 5 點以上並取其平均值。拉伸試驗檢測其抗拉強度、降伏強度與斷面縮率等機械性質，拉伸試片依 ASTM E 8M-01 標準規範製作⁽¹³⁾。中低溫衝擊試驗以駿諺公司製造的微電腦 Charpy 衝擊試驗機進行測試，衝擊試片依 ASTM E23-02⁽¹⁴⁾ 標準規範製作。

電化學試驗主要量測 SAE 8620 合金鋼在 3.5% 鹽水溶液中之極化曲線，藉以評估其抗腐蝕特性。電化學試驗之參考電極為飽和甘汞電極，相對電極為 Pt，掃描速率 2.0mv/s。完成電化學試驗後，將試片表面烘乾，再以 SEM 觀察其表面腐蝕狀況。化學浸泡試驗則依 ASTM G 31⁽¹⁵⁾ 規範，將試片清洗後置入 3.5 % 鹽水溶液中浸泡，在室溫下，測量不同浸泡時間後的重量變化並應用 SEM 觀察表面腐蝕狀況。

3. 結果與討論

3.1 成份鑑定

本實驗探討 SAE 8620 合金鋼之各種性質，首先以分光儀做成份分析以確定合金成份含量，結果如第 1 表所示，其合金成份均於規範的範圍值以內。

Table 1 Chemical compositions of SAE 8620 steel measured by Optical Emission Spectrometer

	SAE 8620	
	成分規範 (wt%)	試片成份分析
C	0.17~0.23	0.206~0.225
Si	0.15~0.35	0.223~0.240
Mn	0.60~0.90	0.831~0.846
P	≤0.03	0.011~0.013
S	≤0.030	0.006~0.007
Cr	0.40~0.65	0.415~0.447
Mo	0.15~0.30	0.168~0.179
Ni	0.40~0.70	0.461~0.546
Al	-	0.042~0.043
Cu	≤0.30	0.026~0.029
V	-	0.002~0.005
Zn	-	0.001~0.004

3.2 顯微組織與硬度

第 1 圖為 SAE 8620 合金鋼正常化的金相組織，圖中顯示在正常化狀態下無論邊緣或心部均為波來鐵(深色)加肥粒鐵(白色)的混合組織。第 2 圖為試棒邊緣的金相組織，可看到邊緣的波來鐵組織較少，此為脫碳的現

象，由圖中可觀察到脫碳深度約 0.4 mm 左右。

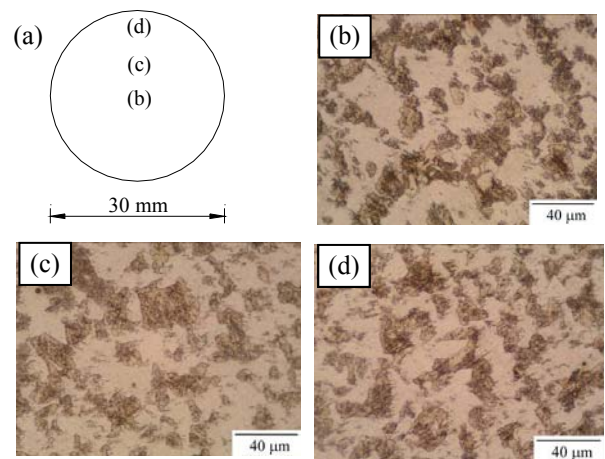


Fig. 1 The cross-sectional optical microstructures of normalized SAE 8620 steel. (b), (c) and (d) exhibit the microstructures at the corresponding positions in (a), respectively.

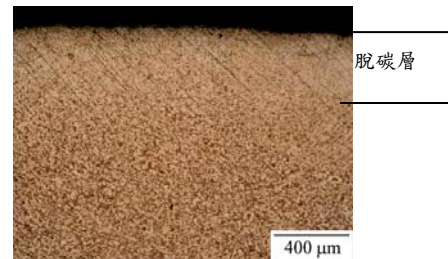


Fig. 2 The optical microstructures around the outer surface of normalized SAE 8620 steel.

第 3 圖為 SAE 8620 合金鋼經 900°C 淬火、300°C 回火的金相組織。圖中顯示無論心部或邊緣均為典型的回火麻田散鐵組織。第 4 圖為 SAE 8620 合金鋼經 900°C 淬火、400°C 回火的金相組織，圖中顯示靠近心部區域已有肥粒鐵的組織出現(如圖(b)、圖(c)所示)，此現象係由於在淬火時越靠近心部的冷卻速率越慢，因此心部組織對回火的抵抗性也隨之降低而於 400°C 回火時產生一些肥粒鐵組織。隨著回火溫度的提高，肥粒鐵生成量亦隨之增加，如第 5 圖所示，其靠近心部區域出現更多的肥粒鐵組織。

第 2 表為合金鋼棒截面在不同熱處理狀態下之硬度。正常化狀態下的硬度最低，經淬火回火後的試棒回火溫度越高，硬度下降，且心部部份由於淬火效果稍低使硬度較低，而最邊緣硬度降低是由於脫碳的緣故，此與金相組織所觀察到的趨勢相符合。

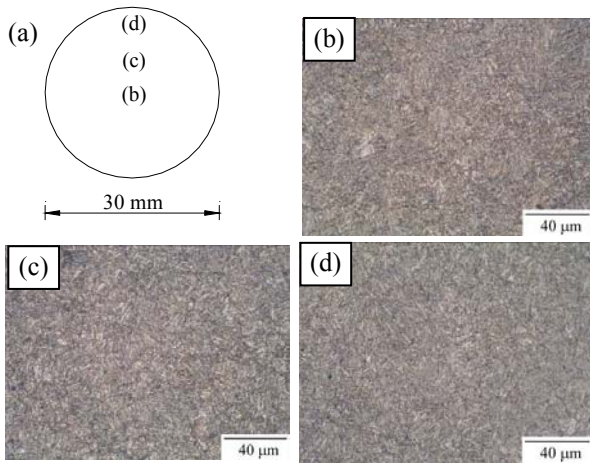


Fig. 3 The optical microstructures of SAE 8620 steel after quenching and 300°C tempering. (b), (c) and (d) exhibit the microstructures at the corresponding positions in (a), respectively.

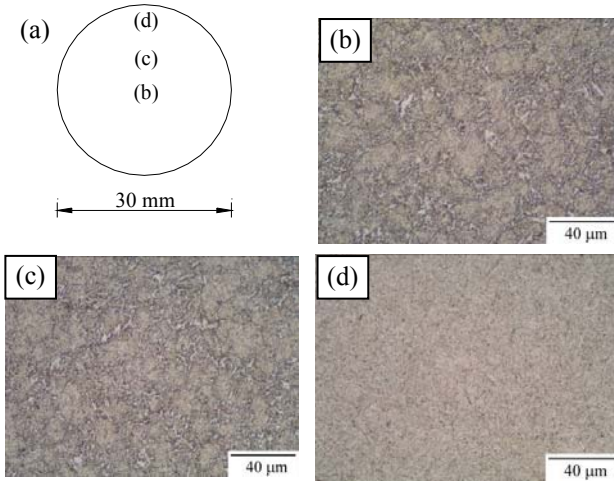


Fig. 4 The optical microstructures of SAE 8620 steel after quenching and 400°C tempering. (b), (c) and (d) exhibit the microstructures at the corresponding positions in (a), respectively.

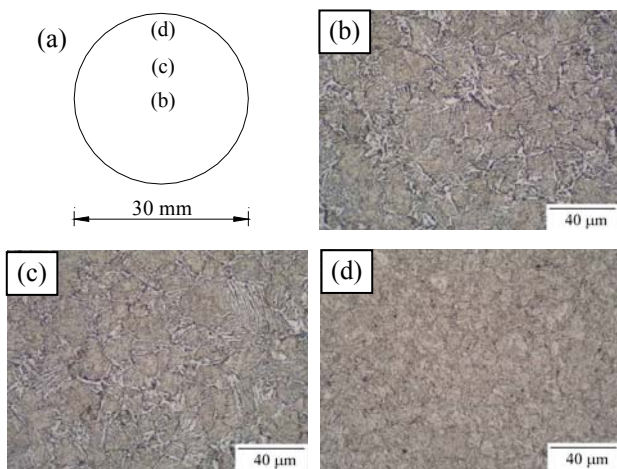


Fig. 5 The optical microstructures of SAE 8620 steel after quenching and 500°C tempering. (b), (c) and (d) exhibit the microstructures at the corresponding positions in (a), respectively.

Table 2 Hardness of normalized and quench-tempered SAE 8620 steels.

材料	熱處理條件	硬度(HRC)			
		中心 → 邊緣 (間隔 5 mm)			
SAE 8620	正常化	<5	<5	<5	<5
	淬火、回火 300°C	38.8	39.8	46.2	40.3
	淬火、回火 400°C	36.2	38.9	43.3	39.1
	淬火、回火 500°C	30.6	32.4	38.5	36.8

註：測試材料直徑 30 mm 回火前先經正常化後再經 900°C、20 分鐘後淬火

3.3 拉伸與衝擊試驗

第 6 (a-c)圖分別顯示 SAE 8620 合金鋼經不同熱處理後於 -40°C、25°C (室溫)、200°C 下拉伸試驗之結果。由第 6 (a-c)圖可清楚觀察到無論在何種溫度下進行拉伸試驗，正常化試片的抗拉強度最低，但有較高的延展性。淬火回火試片的延展性雖然些微降低，但其強度可大幅提高(300°C~400°C 回火試片的抗拉強度皆高於 1100MPa)。隨著回火溫度的提高，抗拉強度亦會下降。由第 6 (a-c)圖之拉伸曲線可以清楚顯現 SAE 8620 合金鋼之延展性相當優異，無論是正常化或淬火回火試片，在中低溫之拉伸應變量皆高達 20%以上。

第 7 圖為 SAE 8620 合金鋼經不同熱處理後的衝擊曲線。圖中顯示 300°C 回火試片的衝擊值最低，而正常化與 400~500°C 回火試片皆維持相當高的衝擊值。正常化試片的轉脆溫度最高，經調質熱處理可以大幅降低其韌脆轉換溫度。400°C 回火試片之韌脆轉換溫度約在 -40~-50°C，而 500°C 回火試片之韌脆轉換溫度更低達 -90°C 左右。

3.4 電化學與浸泡試驗

第 8 圖為 SAE 8620 合金鋼經不同熱處理後的極化曲線。圖中可明顯觀察到 400°C 回火試片的腐蝕電位最高，意指其抗腐蝕性最好，300°C 回火試片次之，500°C 回火試片之抗腐蝕性最差。影響合金鋼材料抗腐蝕性之原因頗多，包括合金成分、內部組織、應力狀態，表面狀況等，這些因素之相關效應有待進一步之實驗分析。第 8 圖之極化曲線亦可發現幾處明顯之轉折區域，此乃發生局部孔蝕的現象，一般含有 Cr 的合金鋼皆會發生這個現象，因為溶液中的陰離子穿透金屬氧

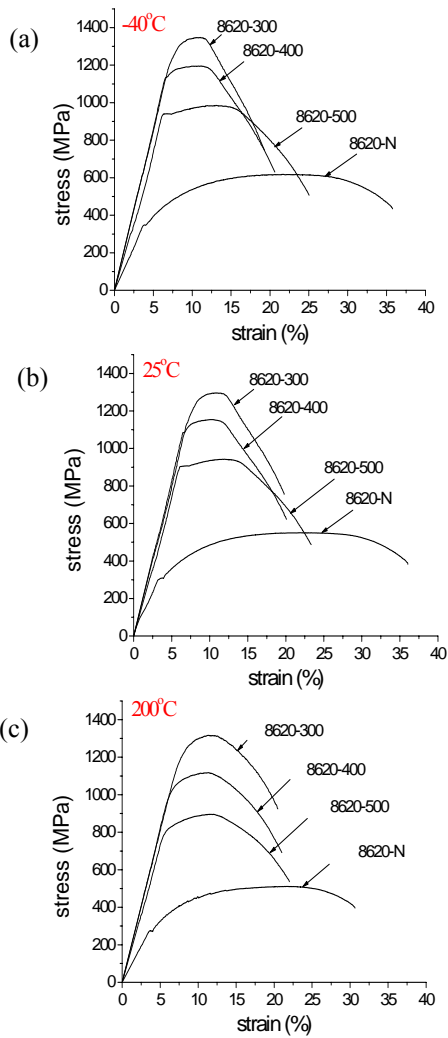


Fig. 6 The engineering stress-strain curves of the normalized and quench-tempered SAE 8620 steels, tested at (a) -40°C , (b) 25°C and (c) 200°C .

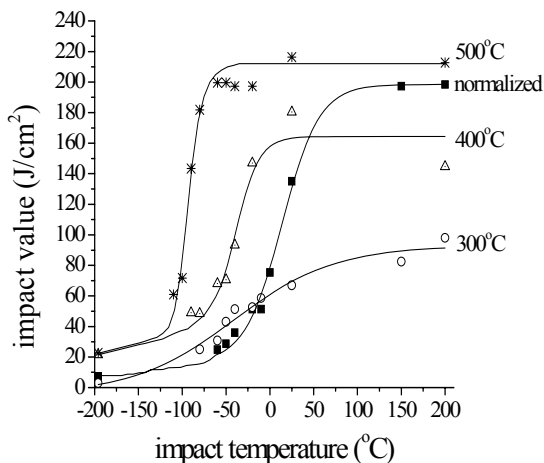


Fig. 7 The impact values tested at various temperatures for the normalized and quench-tempered SAE 8620 steels.

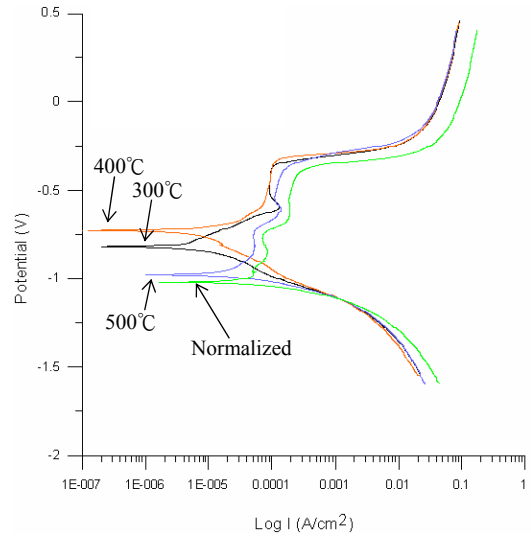


Fig. 8 The polarization curves of the normalized and quench-tempered SAE 8620 steels.

化膜，造成表面氧化膜破裂所引起，而之後一段電壓持續上升，但電流卻幾乎沒有變化，則是發生鈍化現象，直到電壓上升到一定值，產生鈍化膜崩潰，電流才又隨電壓增加而上升。第 9 圖(a-c)是以 SEM 觀察測完極化曲線後的試片表面型態，比較圖(a-c)之腐蝕表面可以清楚發現， 400°C 回火試片的腐蝕現象較輕微，其腐蝕表面僅呈現局部孔蝕的痕跡，而 300°C 與 500°C 回火試片的腐蝕現象則較為明顯，試片表面呈現較嚴重的腐蝕痕跡。這現象與極化曲線所顯示的結果相一致。

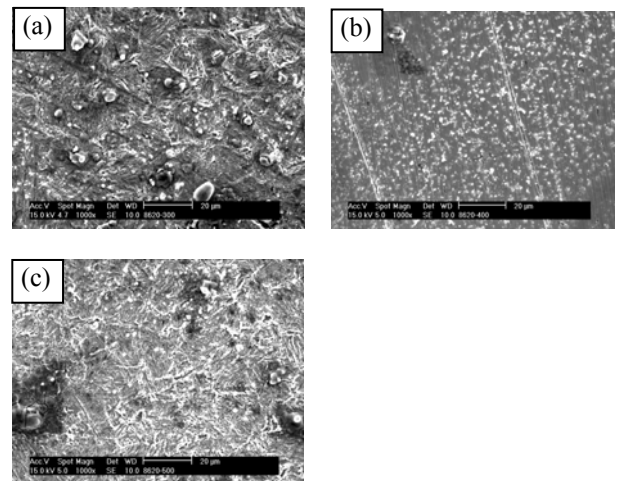


Fig. 9 Surface morphologies of the quench-tempered SAE 8620 specimens after polarization test. (a) 300°C tempered, (b) 400°C tempered, (c) 500°C tempered.

第 10、11 圖分別顯示 SAE 8620 合金鋼靜態浸泡於 3.5 % 鹽水溶液中的腐蝕速率與浸泡 10 天後之表面腐蝕型態。由第 10 圖發

現 SAE 8620 合金鋼之重量損失隨著腐蝕時間的增加而成線性增加，此意指腐蝕機制在過程中並沒有改變。圖中亦可發現，回火 400 °C 的試片具有較少的重量損失，即回火 400 °C 的試片具有較佳的抗腐蝕性。此結果與極化曲線之實驗結果相一致。在第 11 圖的 SEM 微觀組織觀察中清晰可見，正常化試片呈現較嚴重的腐蝕現象，整個表面皆有受損的腐蝕痕跡。而經過回火處理的合金鋼，尤其是 400 °C 與 500 °C 回火的試片，其腐蝕機制較偏向點蝕，產生局部腐蝕而成為凹孔，故腐蝕重量損失較少。

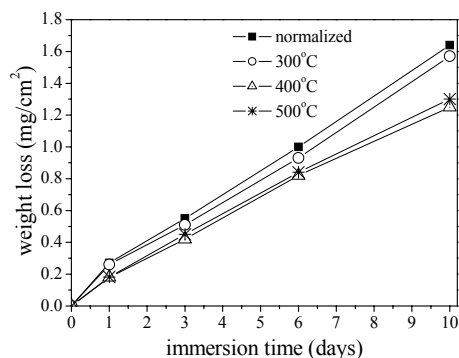


Fig. 10 The weight loss vs. immersion time for the normalized and quench-tempered specimens of SAE 8620 steels statically immersed in a 3.5% NaCl solution.

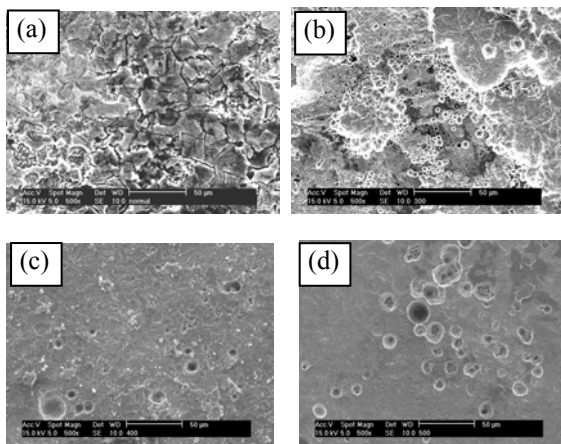


Fig. 11 Surface morphologies of the normalized and quench-tempered SAE 8620 specimens after immersion of 10 hours. (a) normalized, (b) 300 °C tempered, (c) 400 °C tempered, (d) 500 °C tempered.

4. 結論

1. SAE 8620 合金鋼在正常化狀態下，無論邊緣或心部均為波來鐵與肥粒鐵的混合組織。經 900 °C 淬火、300 °C 回火的試片，無

論心部或邊緣均為回火麻田散鐵組織。但經 400~500 °C 回火後則出現少量肥粒鐵組織，隨著回火溫度的提高，肥粒鐵生成量亦隨之增加。

- SAE 8620 合金鋼無論在何種溫度下進行拉伸試驗，正常化試片的抗拉強度最低，但有較高的延展性。淬火回火試片的延展性雖然些微降低，但其強度可大幅提高，300 °C~400 °C 回火試片的抗拉強度皆高於 1100MPa，而隨著回火溫度的提高，抗拉強度亦會明顯下降。
- SAE 8620 合金鋼經 900 °C 淬火、400~500 °C 回火試片呈現相當優異的衝擊韌性。韌脆轉換溫度亦可藉由調質熱處理而大幅降低，400 °C 回火試片之韌脆轉換溫度約在 -40~-50 °C，而 500 °C 回火試片之韌脆轉換溫度更低達 -90 °C 左右。
- SAE 8620 合金鋼經調質熱處理後可提高其抗腐蝕性，尤其以 400 °C 回火為最佳條件。經調質熱處理的合金鋼，尤其是 400 °C 與 500 °C 回火的試片，其腐蝕機制較偏向局部點蝕，故腐蝕現象較輕微。

致謝

本研究係結合振鋒公司與逢甲大學之產學研發案，感謝振鋒公司熱處理課與逢甲大學育成中心的鼎力協助。

參考文獻

- 王仰舒，鋼鐵材料，全華科技圖書公司
- 劉國雄、林樹均等，“工程材料科學”，全華科技圖書股份有限公司
- “Standard Specification for Forged Grade 80 and Grade 100 Steel Lifting Components and Welded Attachment Links”, Designation: A 952/A 952M-20.
- “Components for Slings-Safety, Part 1: Forged Steel Components, Grade 8”, SVENSK STANDARD SS-EN 1677-1.
- “Components for Slings-Safety, Part 2: Forged Steel Lifting Hooks with Latch, Grade 8”, SVENSK STANDARD SS-EN 1677-2.
- “Components for Slings-Safety, Part 3: Forged Steel Self-Locking Hooks, Grade 8”, EUROPEAN STANDARD EN 1677-3.

7. "Components for Slings-Safety, Part 4: Links, Grade 8", EUROPEAN STANDARD EN 1677-4.
8. 曾春風：“滲碳參數對鋼料固體滲碳之影響”，雲林工專學報，10，1991，pp.1-47.
9. B. Vandewiele, Materials Science Forum, 102-104, 1992, pp.169-182.
10. M. Izciler and M. Tabur, Wear 260, 2006, pp.90-98.
11. Ihsan Efeoglu Celik, Material Characterization 46, 2001, pp.311-316.
12. Saduman Sen, Surface and Coatings Technology 190, 2005, pp.1-6.
13. "Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials [Metric]", Designation: E 8M-01.
14. Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials, Designation: E23-02
15. Standard Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals, Designation: G31-72.