

沃斯回火熱處理 S50C 之微觀組織與機械性質探討

Microstructures and mechanical properties
of austempered S50C陳凱怡* 呂傳盛 陳立輝 洪飛義
K. Y. Chen T. S. Lui L. H. Chen F. Y. Hung

國立成功大學材料科學及工程學系

摘要

S50C 為各工業廣泛運用且經濟之鋼材，現今多透過淬火回火處理以求得高強度，但經淬火回火後延韌性仍較不佳。本實驗將 S50C 沃斯田鐵化後，再以鹽浴進行恆溫熱處理後，所獲得沃斯回火材料在相同強度下，延韌性較淬火回火處理佳，且製程連續性可提升良率。

將 S50C 試片於 850°C 空氣爐進行沃斯田鐵化 5 分鐘後，分別於 260°C ~350°C 進行 60 分鐘鹽浴恆溫熱處理，經機械性質測試與儀器分析(光學顯微鏡、電子顯微鏡、XRD 分析)，選訂其中最佳溫度 260°C 再進行 15 分鐘及 30 分鐘鹽浴恆溫熱處理，再進行各項材料測試與分析。試驗結果顯示，試片鹽浴恆溫熱處理後，生成的下變韌鐵基地可使材料延韌性提升，而隨著鹽浴溫度上升或鹽浴處理時間增加，因碳化物效應顯著導致拉伸強度與硬度均下降。

關鍵字：碳鋼、沃斯回火熱處理、變韌鐵

Abstract

S50C is a kind of economic steel which is widely used in industrial applications. Although its strength is often enhanced by the quenching and tempering process, its toughness and ductility cannot be as good. In this study, the specimens were isothermally heated in salt bath followed by austenization. On the same strength, the toughness and ductility of the material after austempering were enhanced comparing with those obtained by quenching and tempering process. Besides, the continuous heat treatment process can also increase the yield of the products.

The as-treated sample were austenitized in a furnace at 850°C for 5 min and then quenched in the salt baths at 260°C ~350°C for 60 min. The microstructure and mechanical properties were characterized to realize the optimum salt bath temperature 260°C. Then austempering is carried out again at 260°C for other isothermal times (15min, 30 min), then the mechanical properties is evaluated and the microstructure is OM, SEM and the analysis of XRD. The results show the substrate of lower bainite leads to the increase of the S50C's toughness and ductility after isothermally heating

in salt bath. With increasing the temperature or the isothermally heating time of the salt bath, the ultimate tensile strength and hardness were decreased owing to the effect of carbides.

Keyword : Carbon steel, Austempering, Bainite

1.前言

沃斯回火熱處理是先將鋼材加熱至 A_3 點以上 $30\sim 50^\circ\text{C}$ 沃斯田鐵化後⁽¹⁾，快速淬入 M_s 點以上之鹽浴中，並持溫一段時間使之變態為高強度及高韌性之變韌體，快速淬入目的為避免冷卻速率過低而形成波來鐵或肥粒鐵導致硬度及強度下降。沃斯回火熱處理後之鋼材相較於經淬火回火處理之鋼材，於相同強度下材料可得較高之延韌性⁽¹⁾，且製程連續可提高良率。除此之外，鋼材經沃斯回火熱處理後其體積變化率較經淬火回火熱處理來得小，不易造成變形或淬裂，適用於所需精度較高之工件。

本實驗採用工業常用且經濟之 S50C 鋼種，並施以沃斯回火熱處理，希望藉此獲得變韌體達到高強度與高韌性兼具，為得到更高之機械性質，本實驗部分鹽浴持溫溫度低於 M_s 點 325°C ⁽²⁾，在此通稱為沃斯回火。

2.實驗方法與步驟

本實驗使用 JIS S50C 試片，成分如表一，並採用雙環型試片如圖一。將試片放入 850°C 空氣爐中沃斯田鐵化 5 分鐘，再快速放入 260°C (S260-60)、 290°C (S290-60)、 320°C (S320-60)、 350°C (S350-60) 鹽浴爐中持溫 60 分鐘後取出淬水。經熱處理後之試片測試其拉伸強度與硬度後，挑選出最佳溫度 260°C ，再分別進行 15 分鐘(S260-15)及 30 分鐘(S260-30)的鹽浴恆溫熱處理，熱處理示意如圖二。

而後再將各組熱處理之試片以 5% 硝酸水溶液腐蝕試片後利用光學顯微鏡 (Optical microscope, OM) 及掃描式電子顯微鏡 (Scanning electron microscope, SEM) 進行微觀組織觀測、抗拉強度與 HRA 硬度的測量及利用 X 光繞射分析儀 (X-ray diffraction, XRD) 進行各相分析。

3.結果與討論

3.1 S50C 經不同沃斯回火熱處理之顯微組織

Fig.3(a) 為 S50C 經 850°C 沃斯田鐵化 5 分鐘後快速放置於 260°C 鹽浴恆溫熱處理 60 分鐘之光學顯微影像，可觀察到有板片狀組織平行排列，於 Fig.3 (b)、(c)、(d) 中也可觀察到此種板片狀平行排列的組織，利用 SEM 進行更高倍率的觀察，在 Fig.4 中可更明顯觀察到有多種不同排列方向之板片狀組織，相互交織。由 Fig.4 可發現隨著鹽浴熱處理溫度的增加，板片狀組織會有粗大化的現象發生，且板片間的距離也會加大。

Fig.5 為 260°C 鹽浴持溫不同時間之光學顯微鏡圖，亦可觀察到許多不同方向

的板片狀組織交織，而由 Fig.6 之 SEM 圖中也可發現與鹽浴溫度上升相似的板片狀組織粗大和版片間距加大的現象。

3.2 S50C 經不同沃斯回火熱處理之 X-ray 繞射相分析

Fig.7 為 S50C 經鹽浴溫度 260°C ~ 350°C 持溫 60 分鐘後之 X 光繞射分析圖，當鹽浴溫度高於 Ms 點持溫時，會幾乎完全生成變韌鐵，變韌鐵主要由變韌肥粒鐵與碳化物組成⁽³⁾，碳含量含 0.5wt% 鹽浴溫度低於 550°C ~ Ms 點會使之生成下變韌鐵組織⁽⁴⁾，下變韌鐵中的碳化物極小，且分布於下變韌鐵的變韌肥粒鐵平板內，而上變韌鐵的碳化物皆析出在變韌肥粒鐵平板間⁽⁵⁾，且上變韌鐵析出的碳化物相較於下變韌鐵來得粗大，而這些粗大的碳化物顆粒易造成裂縫及成為空洞成核的位置，使下變韌鐵在強度與韌性皆較上變韌鐵佳⁽¹⁾⁽⁶⁾。部份文獻指出當鹽浴溫度低於 Ms 點則會生成下變韌鐵、少量的麻田散鐵與碳化物的混合組織⁽⁶⁾。S260-60 ~ S350-60 皆有肥粒鐵的繞射峰出現，判斷生成下變韌鐵，其中 S260-60、S290-60、S320-60 的鹽浴溫度皆低於 Ms 點(325°C) 有較相似的繞射圖案，除了肥粒鐵的繞射峰之外，還有 Fe_{2.5}C 及 Fe₃C 的繞射峰出現，且隨著鹽浴溫度上升碳化物的繞射峰愈明顯。

而 Fig.8 則為鹽浴溫度皆為 260°C，改變持溫時間之 X 光繞射圖，S260-15、S260-30 及 S260-60 皆有肥粒鐵的繞射峰出現，判斷生成大量的下變韌鐵，而隨著鹽浴熱處理時間的上升，碳化物的繞射峰也愈明顯。

3.3 S50C 經不同沃斯回火熱處理對機械性質之影響

S50C 經鹽浴溫度 260°C ~ 350°C 持溫 60 分鐘之抗拉強度如 Fig.9 所示，經由鹽浴 260°C 恆溫處理 60 分鐘後抗拉強度可達 1382 MPa，但隨著鹽浴溫度上升抗拉強度明顯地下降，350°C 鹽浴恆溫熱處理，抗拉強度下降至 1012 MPa。

而 S50C 經鹽浴溫度 260°C ~ 350°C 之 HRA 硬度，如 Fig.10 所示，260°C 鹽浴處理可使硬度達到 HRA 76.7，而以 350°C 鹽浴熱處理之硬度卻只有 HRA 72.3。硬度變化趨勢與抗拉強度相似，有隨著鹽浴持溫溫度的上升，而下降的趨勢。由微觀組織觀察推測因隨著鹽浴溫度上升，板片狀組織粗大化且間距加大導致抗拉強度有下降的現象。當鹽浴溫度低於 Ms 點時，硬度和抗拉強度為麻田散鐵所主導，因此鹽浴溫度低於 Ms 愈多，麻田散鐵相的比例增加，使硬度與抗拉強度皆上升，而 350°C 組因無麻田散鐵相導致硬度與抗拉強度皆較低。由 XRD 圖可知鹽浴溫度低於 Ms 點時碳化物量的會隨著鹽浴溫度上升而增加，推測碳化物的增加會造成抗拉強度的下降。

Fig.10 則為 S50C 持溫於 260°C 鹽浴中 15 min、30 min 及 60 min 之抗拉強度。S260-15 強度為三組中最高，可達 1435 MPa，而當鹽浴持溫時間增加到 60 分鐘時，抗拉強度則只剩 1382 MPa，隨著鹽浴持溫時間增加 S50C 的抗拉強度下降。Fig.11 則為 S50C 持溫於 260°C 鹽浴中 15 min、30 min 及 60 min 之 HRA 硬度。由 Fig.11 可發現持溫 15 min、30 min 硬度沒有明顯的變化。由微觀組織觀察推測因隨著鹽浴時間上升，板片狀組織粗大化且間距加大導致抗拉強度的下降，而推測鹽浴溫度 260°C 相組成下變韌鐵、麻鐵散鐵與碳化物的混合組織⁽⁶⁾，由 XRD 圖中得知碳化物的量會隨鹽浴時間增加而增加，而抗拉強度下降推測是因碳化物的量增加所致，硬度則隨時間增加有略微下降的趨勢。

4 結論

1. 在不同鹽浴溫度：

S50C 鹽浴溫度在 350°C 會變態為下變韌鐵，而鹽浴溫度 260°C、290°C 及 320°C 組則由少許麻田散鐵、下變韌鐵與碳化物組成，鹽浴溫度低於 M_s 點時由麻田散鐵比例主導抗拉強度與硬度大小。而四組抗拉強度與硬度皆因隨鹽浴溫度上升使組織粗大而下降。

S50C 鹽浴溫度 260°C、290°C 及 320°C 組，推測抗拉強度因碳化物隨著鹽浴溫度上升而增加而下降。

2. 鹽浴溫度 260°C，不同鹽浴時間：

S50C 抗拉強度下降推測因隨鹽浴時間增加導致組織粗大與碳化物隨著鹽浴時間上升增加所致，而硬度則略微下降。

誌謝

特別感謝行政院國家科學委員會計畫(NSC 101-2221-E-006 -116 -)的經費對本研究的補助。

參考文獻

1. 涂孟寅, JIS SK5 及 JIS S60C 鋼之變韌鐵組織與其它組織的性質比較, 中華民國九十五年九月, pp.1-11.
2. R.W.K. Honeycombe & H.K.D.H. Bhadeshia : Steels Microstructure and Properties ,2nd ,1995, p.115.
3. 陳文照、曾春風、游信和：材料科學與工程導論，高立圖書有限公司，台北，2005, p.380~392, p.413~435.
4. 陳皇鈞：鋼-顯微組織與性質，全華科技圖書有限公司，1990, p.151.
5. H.K.D.H. Bhadeshia : Bainite in steels, The institute of Materials , London, 1992 , p.199.
6. 陳善仕, 沖壓零件用 S50C 碳鋼具最佳機械性質之沃斯回火熱處理條件, 中華民國九十五年六月, pp.1-9.

Table 1 The chemical composition of the experimental steel (wt%)

Element	C	Si	Mn	P	S	Al	Fe
wt.%	0.53	0.21	0.73	0.011	0.004	0.029	Bal.

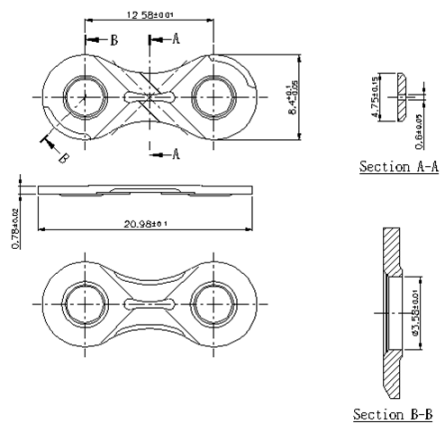


Fig.1 The schematic diagram of S50C sample

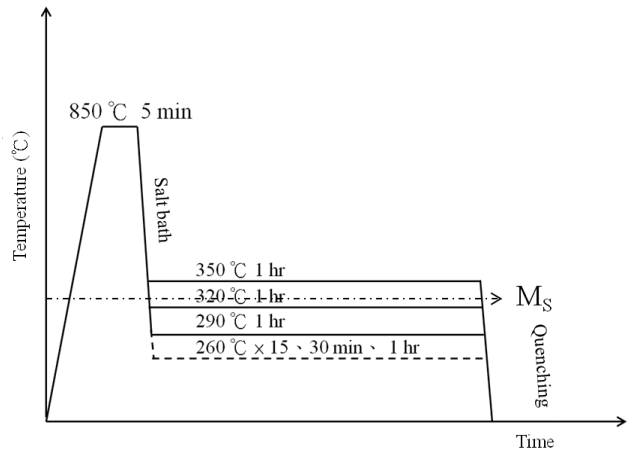


Fig.2 Schematic time-temperature diagram of austempering process.

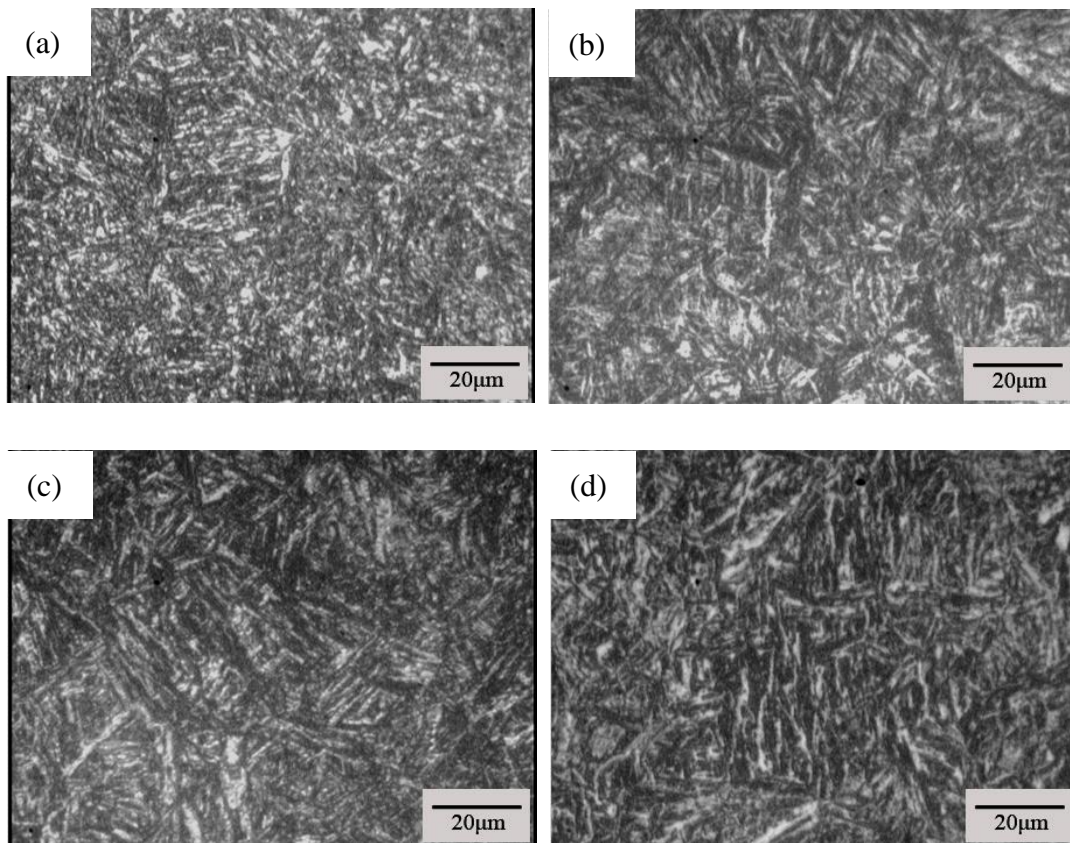


Fig.3 OM images of the microstructure of the sample (a) S260-60 (b) S290-60 (c) S320-60 (d) S350-60

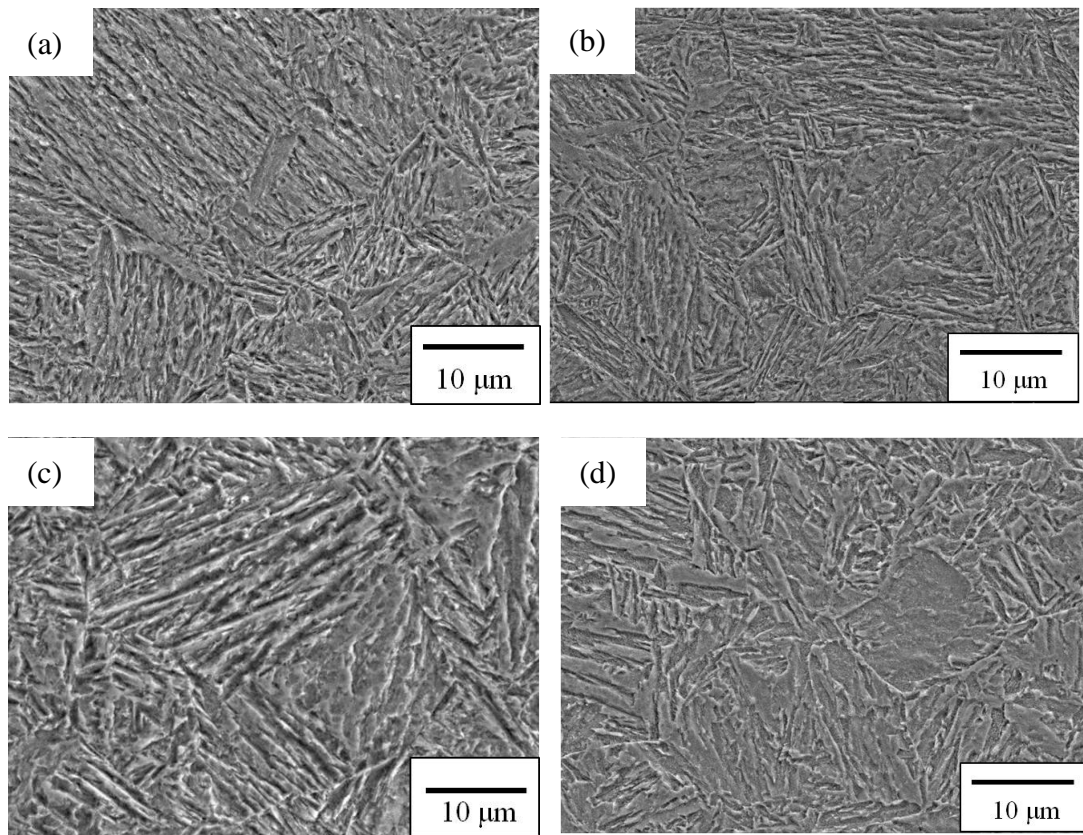


Fig.4 The SEM images of the sample(a) S260-60 (b) S290-60
(c) S320-60 (d) S350-60

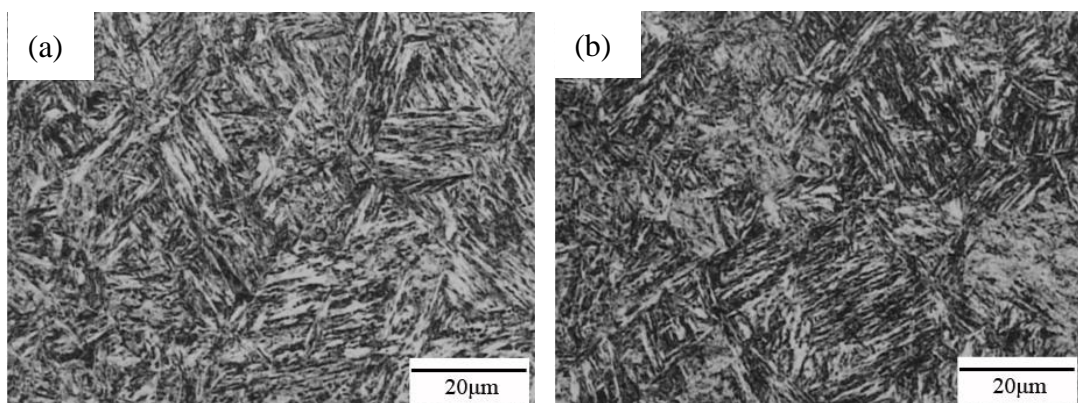


Fig.5 OM images of the microstructure of the sample (a) S260-15 (b) S260-30

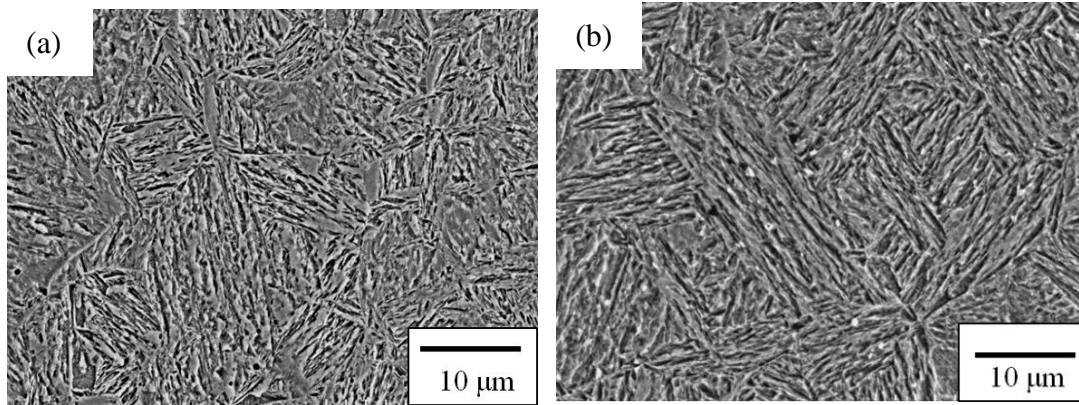


Fig.6 The SEM images of the sample (a) S260-15 (b) S260-30

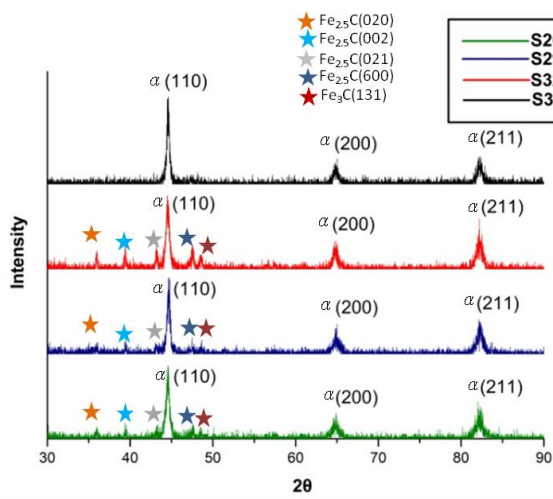


Fig.7 XRD patterns of the samples with different salt bath temperature

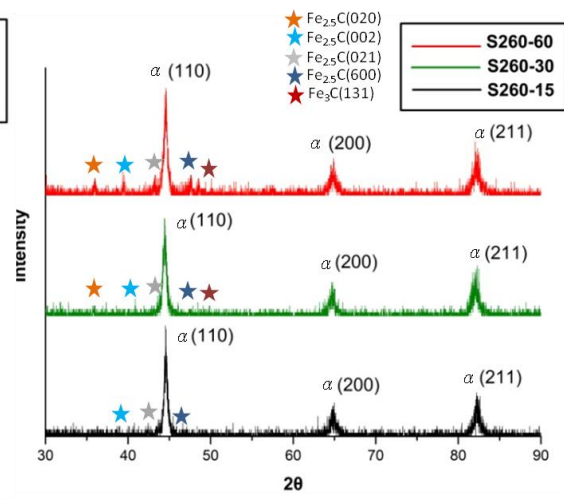


Fig.8 XRD patterns of the samples with different salt bath time

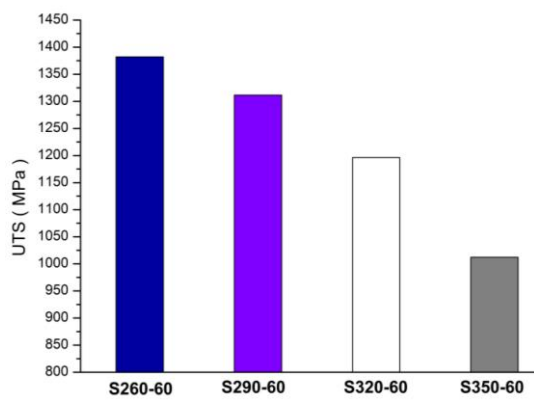


Fig.9 The UTS value of the samples with different salt bath temperatures

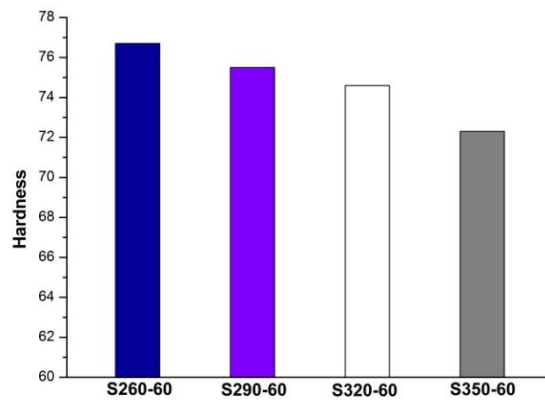


Fig.10 The hardness of the samples with different salt bath temperatures

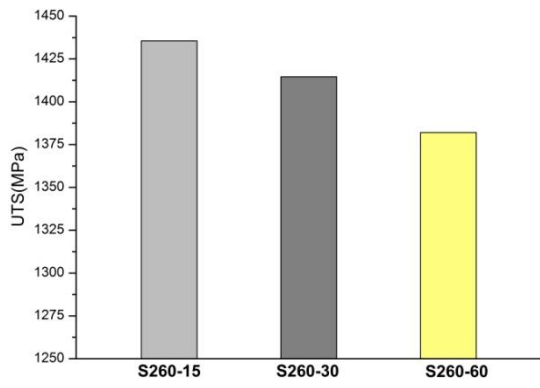


Fig.11 The UTS value of the samples with different salt bath time

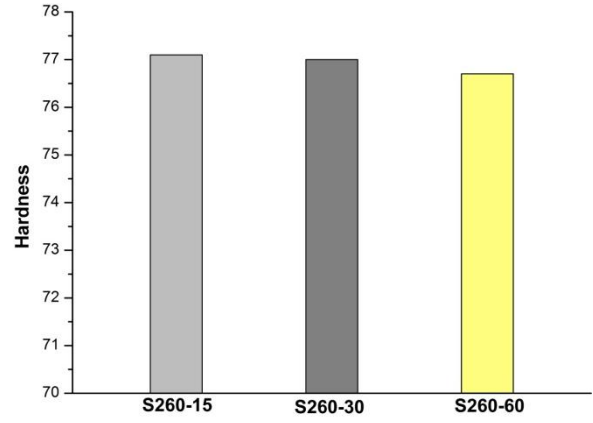


Fig.12 The hardness of the samples with different salt bath time