

深冷及碳化物噴覆處理對滲碳鋼耐磨行為之影響

Effect of Sub-zero treatment and Carbide Spray Coating on the Wear behaviour of Carburized steel

邱六合* 陳伯榕* 林逸旻* 張珩**

Liu-Ho Chiu Bo-Rong Chen Yi-Min Lin Heng Chang

*大同大學材料工程學系

Department of Materials Engineering, Tatung University

**文化大學機械工程學系

Department of Mechanical Engineering, Chinese Culture University

摘要

本研究探討熱處理、深冷處理及高速火焰熔射碳化物噴覆處理對鎳鉻鉬鋼耐磨特性影響。JIS SNCM 415 熱處理為滲碳到有效硬化層深度 0.6mm，再進行深冷處理；JIS SNCM 439 進行淬火回火熱處理到 45HRC；再分別經熔射噴覆(HVOF)到厚度約 $125\pm 25\mu\text{m}$ 之 WC/Co 塗層。由實驗結果得知，經 HVOF 噴覆 WC/Co 塗層硬度介於 $1025\pm 75\text{HV}$ 之間。處理試片進行荷重 95.9N，轉速為 180rpm 之塊材對輓輪(Block-on-Roller)乾式磨耗試驗，其中對磨輓輪硬度有 60 及 42HRC 二種。由磨耗結果顯示，以 60HRC 為對磨材經 12h 磨耗，滲碳 SNCM 415 試片經深冷處理後，由滲碳未深冷之 0.05g 降至 0.025g，表面 WC/Co 噴覆處理後，磨耗損失量由 0.025g 再降至 0.002g。淬火回火熱處理 SNCM 439 試片經 WC/Co 噴覆處理後，磨耗損失量由 0.045g 降至 0.002g。顯示深冷處理及 HVOF 處理後均能有效提升表面硬度及降低鋼材磨耗損失。

關鍵詞：滲碳鋼、深冷、碳化物噴覆塗層、磨耗

Abstract

This study was performed in order to investigate the wear behavior of NiCrMo steel with/without sub-zero treatment and carbide coating. The JIS

SNCM 415 steel was carburized and a JIS SNCM 439 steel was quenched and tempered to 45HRC. The WC/Co coating about $125\mu\text{m}$ thick was coated on surface of the two steels by the high velocity oxy-fuel (HVOF) spray. The experimental results indicate that microhardness of the WC/Co coating were found to be $1025\pm 75\text{HV}$. The wear testing was conducted under 95.9N with 180 rpm at the type of block-on-roller. From the results of 12hr wear tests, the mass loss of sub-zero treatment SNCM 415 specimen was decreased from 0.05g to 0.025g. meanwhile, the mass loss of carbide coated SNCM 415 specimen by the HVOF spraying was decreased from 0.025g to 0.002g. The mass loss of SNCM 439 specimen by the HVOF was decreased from 0.045g to 0.002g. Therefore, the HVOF spraying can improve the surface hardness and wear resistance of steel.

Keywords: Carburized Steel, Subzero, carbide spray coating, Wear

1. 前言

針對低碳鋼或低合金鋼表面滲入碳原子，藉淬火硬化產生的外層高碳麻田散鐵所衍生出來的內應力有助於提高工件的硬度、耐磨特性及耐疲勞強度，早已成為熱處理作業的大

Table 1 Chemical composition of specimens (wt%)

wt%	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
SNCM 415	0.143	0.176	0.531	0.029	0.013	1.792	0.531	0.187
SNCM 439	0.421	0.273	0.768	0.029	0.015	1.823	0.758	0.153

宗，在一工業化國家，尤其汽車工業發達的國家，滲碳作業約可佔全部熱處理作業的 50%。Izciler 等人⁽¹⁾對 AISI8620 鋼材進行不同硬化深度的氣體滲碳，並探討與 80 號 Al₂O₃ 及 SiC 砂紙的銷對盤(Pin-on-disk)的磨耗實驗，說明滲碳深度越深及硬度越高，其耐磨性越佳。

針對 AISI8620 及 4140 鋼材以控制碳勢達到調整滲碳件表層殘留沃斯田鐵含量，Kim 等人⁽²⁾藉由與硬度 300HV 對磨環的環對塊(Ring-on-square)磨耗研究，說明在 20kg 低荷重條件，殘留沃斯田鐵含量之影響不顯著，但在 40kg 荷中時，殘留沃斯田鐵含量越高，其耐磨性將會降低，磨耗形態以黏著磨耗為主。因而，Bensely⁽³⁾研究團隊則探討深冷處理(Sub-zero Treatment)及超深冷處理(Cryogenic Treatment)對滲碳件耐磨特性的影響，得到深冷處理大幅提升其耐磨性。其他研究^(4,5)也說明深冷對鋼鐵材料耐磨耗提升有相同的結果。

磨損是機械零件與設備器材的一種主要損壞模式，存在於許多工業應用上。例如冶金、能源與建築工業。WC/Co 熱噴覆塗層因其良好的抗磨耗性而被廣泛應用在工業上⁽⁶⁾。熱噴覆技術有典型的大氣電漿熔射(Air Plasma Spraying, APS)與高速火焰熔射(High Velocity Oxy-Fuel, HVOF)。相較於 APS，HVOF 所製作的塗層與基材有較強的鍵結及較小的孔隙率。因 HVOF 具有比 APS 高的衝擊速度與較低的溫度^(7,8)。影響 WC/Co 塗層磨耗性能的主要因素為碳化物的晶粒尺寸、鈷及碳含量，鈷所佔的體積分率越小與 WC 的晶粒尺寸越小皆會提升 WC/Co 塗層之抗磨耗性⁽⁹⁾。

本研究以塊對環的乾式磨耗試驗，探討深冷處理及 HVOF 碳化物噴覆處理對 JIS SNCM

415 滲碳鋼耐磨等特性之影響，其中對磨材有 60 及 42HRC 兩種硬度，以模擬不同使用狀況。實驗亦規劃 JIS SNCM 439 淬火回火鋼材做為比較之基材。

2. 實驗步驟

2.1 試片製備

本研究使用材料為 JIS SNCM 415 及 JIS SNCM 439 兩種鎳鉻鉬鋼，加工為 12.7mm 之立方體；由輝光放電成份分析儀(GDOES)得到成分如 Table 1。JIS SNCM 439 試片經 870°C 沃斯田體化 20 分鐘油淬，再經 350°C 回火 1 小時調質，部份試片進行 HVOF 表面噴覆處理。而 JIS SNCM 415 先經滲碳處理後再進行深冷處理及 HVOF 表面噴覆處理，試片代碼如 Table 2 所示。滲碳處理以 RX 變成爐(type: RX-2)通入丙烷與空氣比例混合，所生成的氣體為 N₂、CO、H₂ 等混合氣之載體氣體(RX gas)，調節 RX gas 及 C₃H₈ 含量，通入 UBE-MM-2 臥式爐進行所需碳勢之 925°C 滲碳 1 小時處理。隨之進行 870°C 擴散持溫 30 分後油淬。深冷處理以 -85°C 之乾冰酒精浴進行 1~24 小時。回火處理溫度 200°C，1 小時。

Table 2 Nomenclatures of specimens

代號	熱處理方式
415-R	R:收料原材
415-NX-Z	N:未噴覆
415-YX-Z	Y:已噴覆
439-NQT-Z	X:深冷時間
439-YQT-Z	QT:淬火回火
	Z:對磨材硬度(6-60HRC; 4-42HRC)

2.2 試片分析

2.2.1 微觀組織觀察

將已完成處理的試片以砂輪切割機截取一部分鑲埋作為金相觀察，試片依次以碳化矽水砂紙逐步研磨至 1200 號後，再以 1 μ m 氧化鋁粉在 300 rpm 的轉速下進行拋光，以 Nital (100ml 酒精+5ml 硝酸) 作為化學腐蝕液，並以 Nikon OPTIHOT-100 光學顯微鏡觀察其滲碳層及被覆層等金相組織。

2.2.2 X-ray 繞射分析

利用 X-ray 繞射分析儀進行處理試片結構判別及殘留沃斯田體含量之定量分析。使用 Regaku X 光繞射儀配合 CuK α 靶材 ($\lambda = 0.15418\text{nm}$)，繞射角度由 40 度測至 85 度，掃描速率為每分鐘 0.4 度。此範圍包含 γ (200)、 γ (220)、 α (211)，分別計算其積分強度代入公式計算殘留沃斯田體 γ_R 含量。其公式如下：

$$\gamma_R \% = \frac{1}{1 + 2.057 \frac{I_{\alpha}^{211}}{I_{\gamma}^{200} + I_{\gamma}^{220}}} \times 100\%。$$

2.2.3 EPMA(Electron probe microanalyzer) 分析

使用 JEOL JXA-8200 Electron Probe X-Ray Microanalyzer，利用由一金屬絲加熱產生電子束，經由二至三個磁控聚焦器，聚焦於試片上，產生回射及二次電子之二次放射，同時也會產生特性光譜，連續光譜以及長波光之可見光。經由不同之偵檢器分別接收不同之放射信號，藉以分析試片噴覆層之元素定量分析及噴覆層之元素分佈。

2.2.4 微硬度試驗

試片橫截面的微硬度測試是使用維克氏 (Vickers) 微硬度試驗機，搭配 300 克的荷重作微硬度試驗，量測範圍由試片表面至心部。

2.2.5 電化學分析

極化曲線分析使用 EG&G 362 恆電位儀，及 CorrWare 電化學測試軟體進行測試。試驗溶液為 3.5wt% NaCl 水溶液，處理試片為工作電極，以飽和氯化銀電極 (SSC) 為參考電極，白金電極為輔助電極。於溶液中靜置 1200 秒進行開路電位對時間的變化，再以 1mV/s 之掃描速度，由 -1V 至 0.2V 的電位範圍區間進行曲線的量測，以瞭解 SNCM 415 經滲碳、深冷及 HVOF 後的表面腐蝕變化的情形。

2.2.6 磨耗試驗

採用 PLINT 公司 TE53/842 型多功能磨耗試驗機，在無潤滑的情況下試驗，其對磨材之材質分別為 AISI O1 工具鋼及 SNCM 439，經淬火回火後到硬度分別為 62HRC 及 42HRC，尺寸皆為 $\psi 60 \times t 7.6\text{mm}$ 。磨耗試驗之條件為室溫下施以荷重 95.9N，轉速為 180 rpm，進行 3、6、9、12 小時磨耗試驗。藉由摩擦力及時間，求出摩擦係數對時間圖，並取下對磨材及試片進行秤重，記錄其重量損失。

2.2.7 表面粗糙度

使用 MITUTOYO SURFTTEST-III 型表面粗糙度儀進行各種不同處理狀態的磨耗面與未磨耗面的表面粗糙度測試。

2.2.8 SEM 型態觀察

將經過磨耗試驗之試片，使用 JEOL JSM-5600 型掃描式電子顯微鏡觀察不同表面化合層之磨耗機構，以瞭解不同表層之磨耗機理。

3. 結果與討論

3.1 滲碳層金相組織

Fig.1 為 SNCM 415 經 925 $^{\circ}$ C 滲碳 1 小時，再經 870 $^{\circ}$ C 持溫擴散 30min 後油淬，分別經 0、1、12、24 小時 -85 $^{\circ}$ C 酒精乾冰深冷處理，之後

進行 200°C 回火之金相組織圖。由微觀結構可看出未經深冷處理之試片，表層為典型的高碳麻田散體，基地散佈大量的殘留沃斯田體。經過-85°C 深冷處理 1hr 後，表面之殘留沃斯田體已大幅減少，但仍可見在麻田散體基地間透出殘留沃斯田體。深冷處理時間由 1 小時延長為 12 及 24 小時金相如(c)及(d)所示，其組織與深冷 1 小時差異不大。

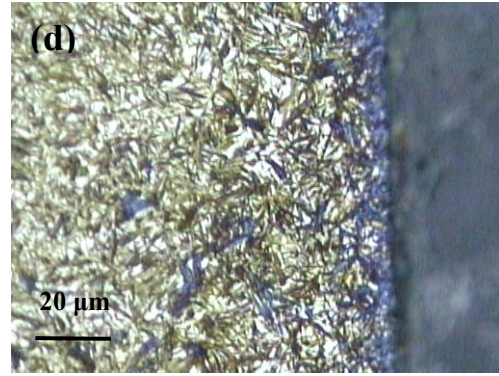
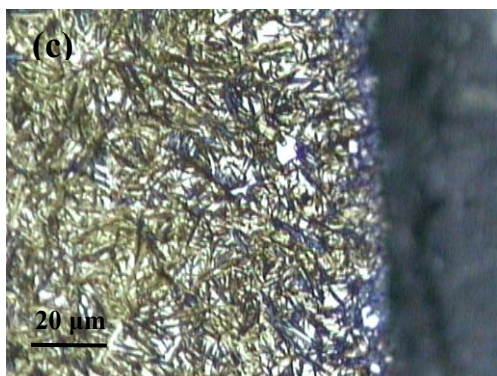
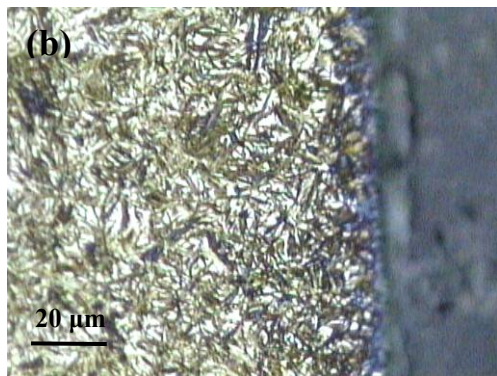
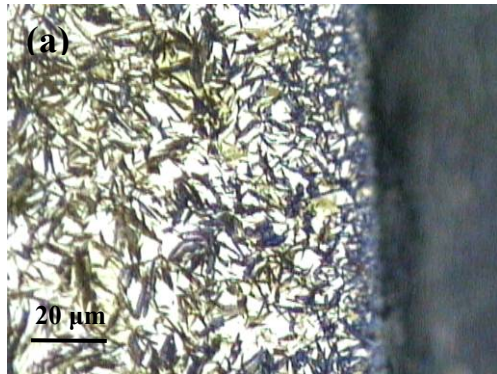


Fig. 1 Cross-sectional microstructure of specimens at given conditions : (a)415-N0, (b)415-N1, (c)415-N12, (d)415-N24

Fig.2 SNCM 439 經淬火回火熱處理及表面 WC/Co 噴覆層之橫截面圖，WC/Co 層厚度約為 150μm 左右。顯示有壓扁堆積聚集及空孔現象，而且表面不平整之噴覆層。而母材基地為典型淬火回火麻田散體基地。

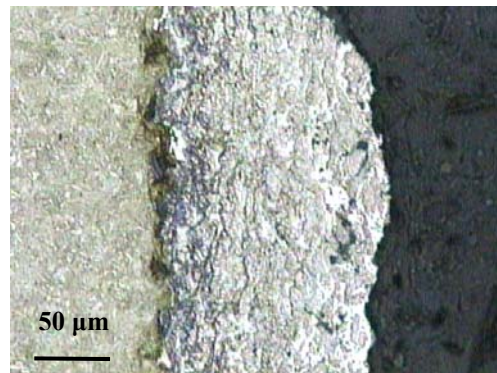


Fig.2 Cross-sectional microstructure of 439-YQT specimen

3.2 微硬度試驗

為驗證滲碳組織經深冷處理及 HVOF 噴覆處理之硬度差異，微硬度分析檢測橫截面的變化。Fig.3 為 925°C 氣體滲碳熱處理 1 小時降溫到 870°C 持溫 30 分後油淬，部份經深冷及 200°C 回火 1 小時之 SNCM 415 試片微硬度分佈曲線。表面硬化層約 650~700HV，而有效硬化層深度(Effective Case Depth, ECD)可達到約 0.55mm 深度。SNCM 415 試片經滲碳油淬及 200°C 回火 1 小時之微硬度曲線，其近表層

硬度約為 530 HV，在 0.2 mm 左右升到 625 HV，在 0.3 mm 再到 675HV 後逐漸下降到心部之 440 HV。此現象表現出典型因殘留沃斯田體所造成近表層軟化現象。但經深冷處理後，如圖所示其表層硬度即會提高，且隨深冷時間增加到 24 小時，表層硬度即可達到 710 HV。

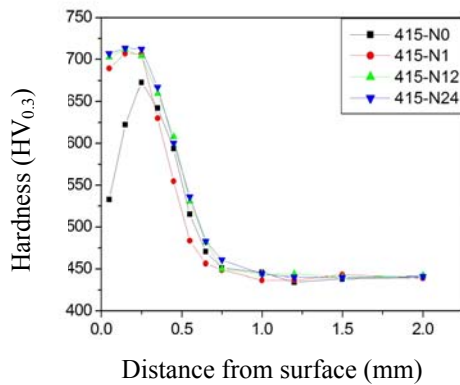


Fig. 3 Microhardness profiles of 415-NX specimens at given conditions

Fig.4 為 SNCM 439 經淬火回火熱處理後，表面經 HVOF 噴覆之試片截面微硬度曲線。可發現 HVOF 塗層硬度約 1100HV，厚度約有 110 μm ，而淬火回火 SNCM 439 試片之硬度為 $450\pm 10\text{HV}$ ，換算約為 45HRC。在碳化物噴覆層與 SNCM 439 基材界面可看到基材硬度稍微降低 20HV 之現象，此表示 HVOF 噴覆物仍存在熱量，導致淬火回火 SNCM 439 硬度受到回火影響而降低，但此影響區厚度不大。

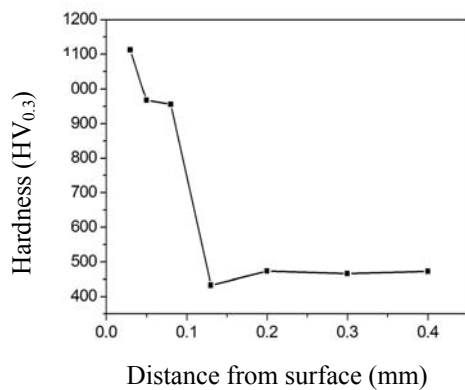


Fig. 4 Microhardness profiles of 439-YQT

specimen

3.3 X-ray 繞射分析

利用 γ (200)、 γ (220)、 α (211)，分別計算其積分強度代入公式計算殘留沃斯田體 γ_R 含量，整理如後。Fig. 5 為 SNCM 415 滲碳處理後經深冷處理 1、12、24 小時之殘留沃斯田體 (γ_R) 含量變化。深冷 1 小時試片表面之殘留沃斯田體 (γ_R) 含量明顯下降由未深冷試片之 23% 降到 17%，約下降 6%，但隨深冷到 12 小時，進而到 24 小時之 γ_R 含量只降到 16% 左右，顯示 γ_R 變為麻田散體只與冷卻溫度所提供的驅動力有關。

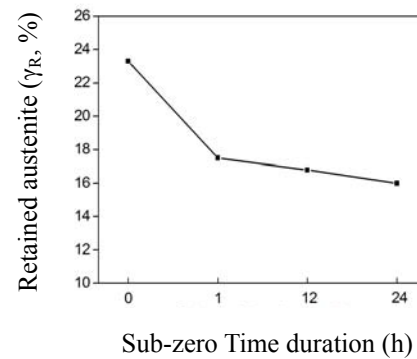


Fig. 5 Retained austenite content of 415-NX specimens at different processed conditions

高速熱噴覆起始原料為 WC 及 Co，經過高溫及加速作用轟擊在鋼件表面，其結構產生少許變化。Fig. 6 為 SNCM 415 試片表面經噴覆處理之 XRD 繞射圖，可看出噴覆層結構主要為 WC 與 Co 之組合及部分 W_2C ，此結果與 Wang 等⁽⁶⁾所使用不同粒度 WC 混合粉噴覆層結構相同，都有些微較具脆性的 W_2C 相產生。噴覆層 EPMA 之定量分析得到 Co 含量約為 13.9wt%，顯示其 WC/Co 噴覆層含量比例，與原料 88WC-12Co 接近。

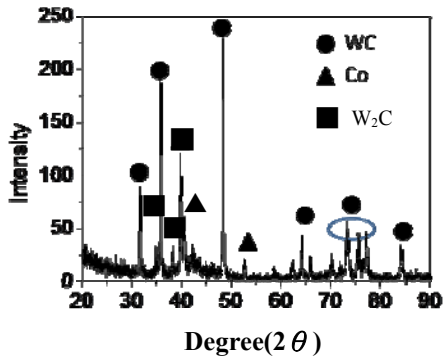


Fig. 6 XRD patterns of HVOF layer

3.4 電化學試驗

SNCM 415 原材、經氣體滲碳後深冷處理 1、12、24 小時及表面經 HVOF 噴覆之 SNCM 415 試片在 3.5 wt% NaCl 水溶液之極化曲線如 Fig. 7 所示，SNCM 415 原材之腐蝕電流密度 (I_{corr}) 為 $7.1 \times 10^{-6} \text{ A/cm}^2$ 。由 Fig. 7 可以看出經滲碳處理及深冷處理後，不論是由腐蝕電流密度或陽極極化曲線來看，其耐腐蝕性都較原材來的優異。經滲碳淬火回火試片(415-N0)之電流密度約降為 $6.2 \times 10^{-6} \text{ A/cm}^2$ ，而再經深冷處理 1 小時及 12 小時者分別降為 4.7×10^{-6} 及 $4.9 \times 10^{-6} \text{ A/cm}^2$ ，表示淬火回火麻田散鐵組織比肥粒鐵及波來鐵組織具有較高的腐蝕抵抗。

但表面經 HVOF 噴覆 WC/Co 層後，其腐蝕電流密度只有 $1.8 \times 10^{-5} \text{ A/cm}^2$ ，較原材低。可能因 WC 及 Co 之非均質組合，其耐蝕性較差。

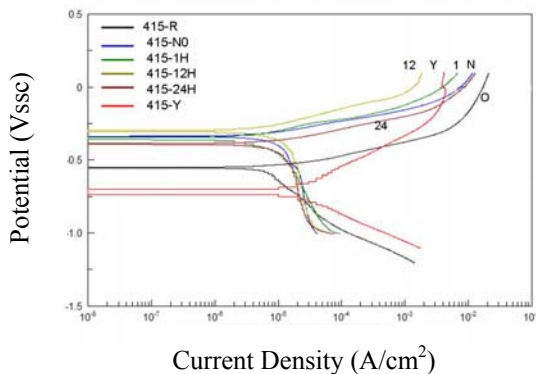


Fig. 7 Polarization curve of SNCM 415 specimens at given conditions

3.5 磨耗質量損失

為模擬部分工程零件使用之耐磨條件，本次實驗設計特別選用硬度分別為 60HRC 及 42HRC 兩種對磨材。首先針對對磨輥輪硬度為 60HRC 時之磨耗試驗進行討論。Fig. 8 為滲碳 SNCM 415 經淬火後再深冷處理 0、1 及 12 小時之試片，進行 200°C 回火 1 小時後，部分試片表面再進行 HVOF 噴覆處理；及 SNCM 439 經淬火回火熱處理後，部分試片表面也進行 HVOF 噴覆處理，與對磨材 60HRC 經 3、6、9、12 小時磨耗之質量損失變化。

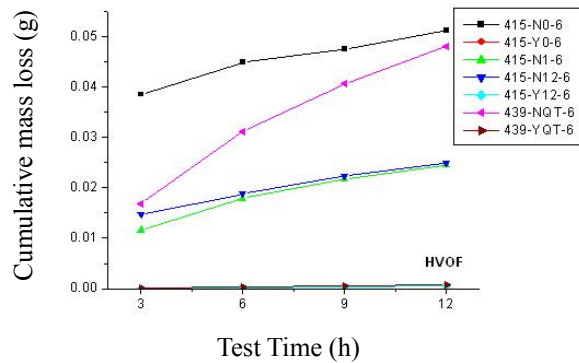


Fig. 8 Mass loss of SNCM 415 and SNCM 439 specimens at given conditions, roller hardness is 60HRC

SNCM 415 經滲碳、淬火及回火處理，未經深冷處理之試片，其耐磨耗性為最差，磨耗 12 小時之損失量約 0.05g；而經深冷處理後磨耗損失量從原本的 0.05g 降低至 0.025g，乃是因深冷處理後其表面殘留沃斯田體含量減少，使表面硬度提高，增加耐磨耗性；而深冷處理時間的長短，對其耐磨耗性並沒有顯著之差異。

與 SNCM 439 淬火回火到 $45 \pm 1 \text{ HRC}$ 試片比較，在 60HRC 對磨輪，SNCM 439-QT 之磨耗損失量為 0.045g，比起 SNCM 415 經滲碳淬火來的好。此點值得注意，雖然滲碳件表面有

530HV(50HRC)，但因滲碳件除有高碳回火麻田散鐵外，因散佈大量的軟質殘留沃斯田鐵，導致其磨耗損失增加。

表面經 HVOF 噴覆與經深冷處理比較，磨耗損失量從 0.025g 降低至 0.002g，其耐磨耗性明顯提升，乃是因為 WC/Co 噴覆層之硬度達 1000HV，使其耐磨耗性更佳。SNM 439 熱處理後，表面經 HVOF 噴覆，其磨耗損失量從原先 0.045g 降低至 0.002g，也因 WC/Co 層存在也大幅提升表面耐磨性。說明 SNM 415 及 SNM 439 二種鋼材經過各參數熱處理後，表面經 HVOF 噴覆後，其磨耗性皆有明顯提升。

為比較實際使用狀態進行對磨輪硬度為 42HRC 之磨耗試驗，Fig. 9 表示 SNM 415 經滲碳淬火，深冷及回火試片，部分試片再進行 HVOF 噴覆處理，及 SNM 439 經淬火回火熱處理，部分試片表面進行 HVOF 噴覆處理，與對磨材 42HRC 經 3 到 12 小時磨耗之質量損失變化。

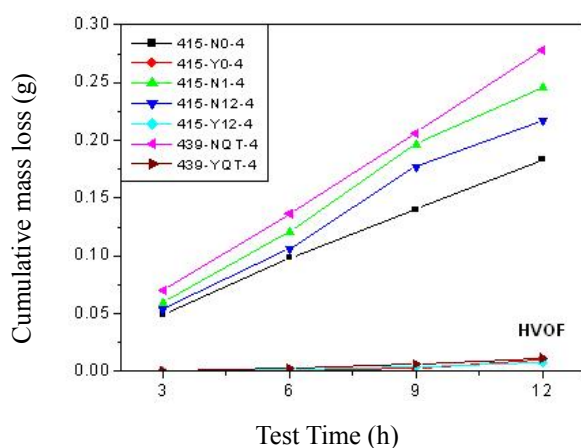


Fig. 9 Mass loss of SNM 415 and SNM 439 specimens at given conditions, roller hardness is 42HRC

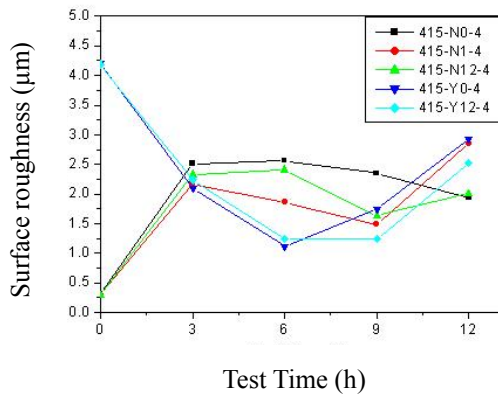
SNM 415 經滲碳後，未經深冷處理之試片磨耗損失量由 3 小時之 0.05g 隨時間增加而穩定增加到 12 小時之 0.175g。可見對磨材硬度只有 42HRC，但表面 500HV 以上的滲碳

件磨耗損失量比對磨材為 60HRC 者有明顯差異，磨耗損失量增加很多。而深冷處理時間的長短，以 42HRC 為對磨材，其耐磨耗損失量也都維持很高且並沒有明顯差異。硬度為 45 ± 1 HRC 的淬火回火 SNM 439 試片在與 42HRC 對磨輪進行磨耗 3 小時，磨耗損失質量約為 0.07g，稍微高於硬度較高之 SNM 415 滲碳試片，且隨著磨耗時間的增加，淬火回火 SNM 439 之增加速度也較快，磨耗 12 小時後之損失質量達到約 0.275g 是所有試片最高者，此與硬度低者磨耗量大較為符合。

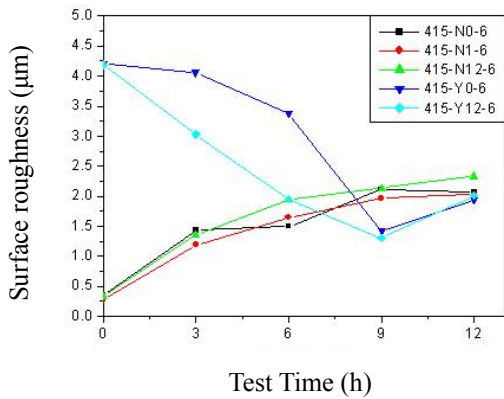
而表面經 HVOF 噴覆，滲碳 SNM 415 試片，試片磨耗損失量由 0.225g 降低至 0.007g，其磨耗性明顯提升，乃是因為 WC/Co 噴覆層之硬度達 1000HV，使其耐磨耗性更佳。SNM 439 淬火回火熱處理後，表面經 HVOF 噴覆，其磨耗損失量從原先 0.275g 降低至 0.007g，但磨耗損失量仍稍高於 60HRC 對磨輪之結果。

3.6 磨耗試片表面粗糙度

表面粗糙度量測方式為記錄各參數試片磨耗前及經 12 小時磨耗每隔三小時記錄一次，利用所量測數值變化來做為參考。Fig. 10 為不同處理 SNM 415 試片經 3、6、9、12 小時與不同對磨材之 Block-on-roller 磨耗表面粗糙度變化。有無經深冷之滲碳 SNM 415 試片表面經過 1000-grif 砂紙研磨，粗糙度 Ra 值為 $0.2\mu\text{m}$ ，但其經 3 小時磨耗實驗後，利用 60HRC 之對磨輪表面粗糙度 Ra 為 $1.3\mu\text{m}$ 左右，並當時間增加伴隨著質量損失而達 $2.0\mu\text{m}$ 。但 42HRC 對磨輪之滲碳磨耗試片，伴隨著磨耗損失量大幅提升，其磨耗表面粗糙度 Ra 也在 3 小時即提升到 $2.3 \pm 0.2\mu\text{m}$ ，但隨磨耗時間增加只是上下跳動，表示當對磨輪硬度較低時，其黏著磨耗之粘黏行為在磨耗初期即表現明顯，其後只是粘著及剝落重複發生維持到 12 小時。



(a)



(b)

Fig. 10 Surface roughness of SNCM 415 specimens at given conditions (a)counter roller of 42 HRC (b)counter roller of 60 HRC

表面經 HVOF 噴覆之試片，對磨材為 60HRC 及 42HRC 時，其表面粗糙度皆由原來之 $4.3\mu\text{m}$ 逐漸下降，對磨材為 42HRC 時在 6 小時其表面粗糙度為最低，之後逐漸升高；而對磨材為 60HRC 時在 9 小時其表面粗糙度為最低($1.5\mu\text{m}$)，之後逐漸升高。

淬火回火 SNCM 439 試片表面再進行 HVOF 噴覆處理，經 3、6、9、12 小時 42HRC 及 60HRC 不同對磨材之磨耗後表面粗糙度變化如 Fig. 11 所示。表面未噴覆之淬火回火 SNCM 439 試片開始之 Ra 約為 $0.5\mu\text{m}$ ，當對

磨材為 60HRC 時，其表面粗糙度隨磨耗時間增加由低變高為 $2.0\mu\text{m}$ 左右，但當對磨材為 42HRC 時，在 3 小時 SNCM 439 試片磨耗面 Ra 即達 $2.0\mu\text{m}$ ，高於與 60HRC 對磨者。且其表面粗糙度在 6 小時達到最高後而下降。表面經 HVOF 噴覆之試片，對磨材為 42HRC 時在 6 小時其表面粗糙度為最低，之後逐漸升高；而對磨材為 60HRC 時在 12 小時其表面粗糙度為最低。

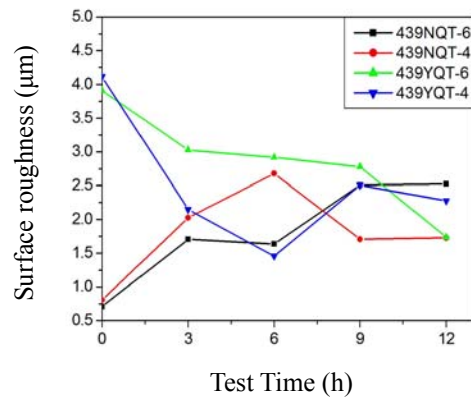
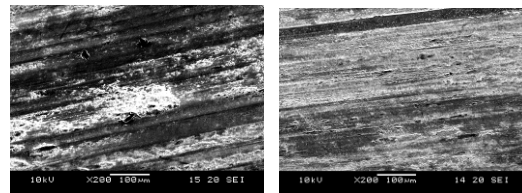


Fig. 11 Surface roughness of SNCM 439 specimens at given conditions

3.7 磨痕

使用 60HRC 對磨輪，Fig. 12 為各種處理 SNCM 415 試片經 12 小時磨耗試驗之磨耗形態，(a)圖滲碳後未經深冷處理，呈現些許刮痕溝槽及黏著現象；(b)及(c)滲碳後經深冷處理之試片則呈現明顯之刮痕溝槽；(d)、(e)圖為表面經噴覆之試片，其磨耗面有塑性變形及些許黏著，經 12 小時磨耗後，表面經 HVOF 噴覆之試片尚未磨耗至基材。



(a)

(b)

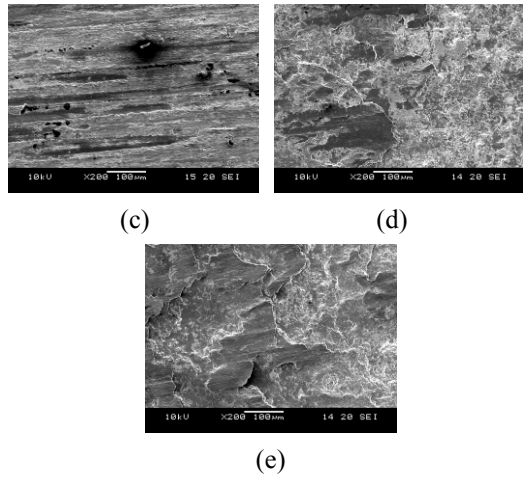


Fig. 12 The SEM micrographs of SNCM 415 after 12hr wear test (a) 415-N0-6, (b) 415-N1-6, (c) 415-N12-6, (d) 415-Y0-6 and (e) 415-Y12-6

Fig. 13 為 SNCM 439 經淬火回火熱處理後，表面 HVOF 噴覆之各參數經 12 小時磨耗試驗之磨耗形態。(a)圖為經淬火回火熱處理後未噴覆之試片，呈現出明顯溝槽及大塊崩落現象；而(b)圖經噴覆之試片則有孔洞及疲勞紋。從 SEM 圖觀察經 12 小時磨耗後，表面經噴覆之試片並無明顯磨耗至基材。

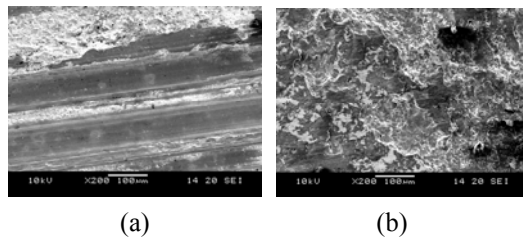


Fig. 13 The SEM micrographs of SNCM 439 after 12hr wear test (a) 439-NQT-6, (b) 439-YQT-6

由以上各圖統整發現，未經深冷處理之參數試片，其磨耗形態相較於經深冷處理之試片，發現其表面之溝槽、黏著及孔洞較不明顯，可能是因為其表面因硬度比深冷處理者低，而有些許延性的關係。而經深冷處理過後，其表面硬度較高，所以有明顯溝槽及孔洞

產生。而表面經噴覆之試片，其表面有塑性變形及些許刮痕。而以 60HRC 為對磨材，經 12 小時磨耗後，表面經噴覆之試片並無明顯磨耗至基材。

對磨輓輪為 42HRC 時之 SEM 磨痕，經 SEM 分析以判斷其磨耗行為。Fig. 14 為 SNCM415 各實驗參數以對磨材為 42HRC 之表面磨痕型態。從(a)、(b)及(c)圖中觀察磨痕並有些許刮痕，且表面有些許白色沾黏痕跡，研判磨耗機制屬於磨料及黏著磨耗。(d)及(e)觀察得知，磨痕圖看出有沾黏物且有許多孔洞，孔洞為噴覆層之孔隙，並非磨耗所造成，但表面較為平整。

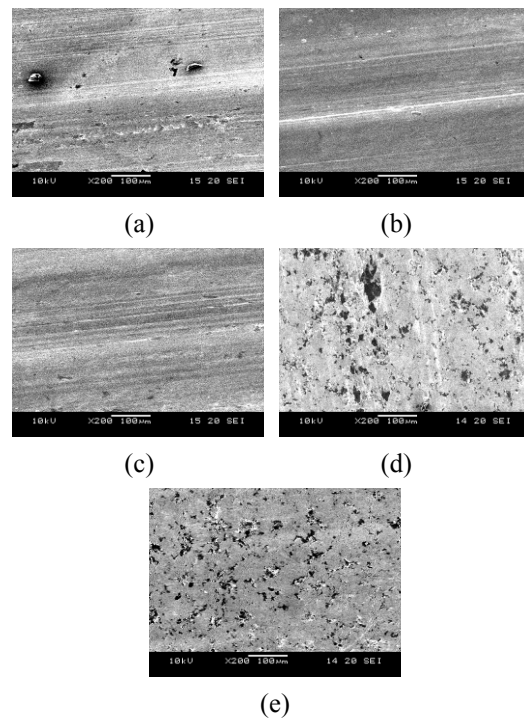
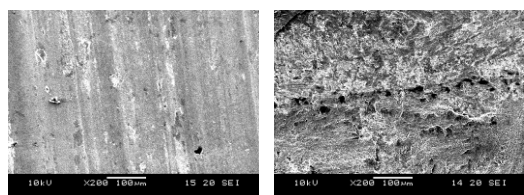


Fig. 14 The SEM micrographs of SNCM 415 after 12hr wear test (a) 415-N0-4, (b) 415-N1-4, (c) 415-N12-4, (d) 415-Y0-4 and (e) 415-Y12-4

利用 42HRC 對磨輪，Fig. 15 表示 SNCM 439 經淬火回火熱處理後，表面 HVOF 噴覆之各參數試片經 12 小時磨耗試驗之磨耗形態。(a)圖為經淬火回火熱處理但未噴覆之試片，磨耗表面呈現出明顯沾黏現象及刮痕；而(b)圖經

噴覆之試片則有沾黏反應。



(a)

(b)

Fig. 15 The SEM micrographs of SNCM 439 after 12hr wear test (a) 439-NQT-4, (b) 439-YQT-4

4. 結論

1. SNCM 415 試片經 925°C 滲碳 1 小時降溫到 870°C 持溫 30min 後油淬，再於 -85°C 深冷處理，並經 200°C 回火 1 小時，其表面硬度可達到 650~700HV，有效硬化深度可達 0.55mm 左右。
2. 從微觀組織觀察，SNCM 415 滲碳處理件表面有殘留沃斯田體。但經深冷處理後，可減少殘留沃斯田體含量，大約可降低 6%，並使表面硬度可提升至 750HV。
3. HVOF 噴覆 WC-Co 層經分析為 WC-13Co 之組成，硬度可達 950-1100HV。
4. SNCM 415 經滲碳後其腐蝕電流密度 (I_{corr}) 為 $6.2 \times 10^{-6} \text{A/cm}^2$ 。經深冷處理有降低 I_{corr} 效益，但改變深冷時間對於腐蝕電流密度並沒有明顯的差異。而表面經 HVOF 噴覆之試片腐蝕電流密度 (I_{corr}) 為 $1.8 \times 10^{-5} \text{A/cm}^2$ ，顯示其耐腐蝕能力下降。
5. 對磨輓輪為 60HRC 時，SNCM 415 經滲碳後，未經深冷處理之試片，磨耗損失量約 0.05g；經深冷處理後磨耗損失量降為 0.025g；表面經 HVOF 噴覆，磨耗損失量再降低至 0.002g，其耐磨耗能力明顯提升。經過深冷處理及表面經過 HVOF 處理後能有效提升表面硬度及降低鋼材磨耗損失。
6. 對磨輓輪為 42HRC 之磨耗試驗發現各種滲碳及 HVOF 噴覆試片磨耗質量損失量均大於對磨輪為 60HRC 之損失量。SNCM 415

經滲碳後，未經深冷處理之試片，磨耗損失量 0.175g。表面經 HVOF 噴覆，磨耗損失量降低至 0.007g。SNCM 439 淬火回火試片，表面經 HVOF 噴覆，其磨耗損失量從原先 0.275g 降低至 0.007g，顯示表面經過 HVOF 處理後能有效提升表面硬度及降低鋼材磨耗損失。

7. SNCM 415 經滲碳後之表面粗糙度 Ra 值為 0.3~0.4 μm 之間，其摩擦係數值在 0.5~0.7 之間跳動；表面經過 HVOF 噴覆後其表面粗糙度 Ra 值為 4.0~4.5 μm 之間，其摩擦係數值在 0.6~0.8 之間跳動，顯示磨耗面之表面粗糙度約略反應出對摩擦係數的影響。

誌謝

感謝國科會 NSC 97-2221-E-036-008 計畫案經費支持，使本實驗可以順利完成。

參考文獻

1. M. Izciler, M. Tabur, "Abrasive wear behavior of different case depth gas carburized AISI 8620 gear steel", *Wear*, 260, 2006, pp. 90-98
2. H.J. Kim, Y.G. Kweon, "The effects of retained austenite on dry sliding wear behavior of carburized steels", *Wear*, 193, 1996, pp. 8-15
3. A. Bensely, A. Prabhakaran, D. Mohan Lal, G. Nagarajan, "Enhancing the wear resistance of case carburized steel (En 353) by cryogenic treatment", *Cryogenics*, 45, 2006, pp. 747-754
4. D. Das, K.K. Ray, A.K. Dutta, "Influence of temperature of sub-zero treatments on the wear behaviour of die steel", *Wear*, 267, 2009, pp. 1361-1370
5. V. Firouzdar, E. Nejati, F. Khomamizadeh, "Effect of deep cryogenic treatment on wear resistance and tool life of M2 HSS drill",

- Journal of Materials Processing Technology,
206, 2008, pp. 467-472
6. Q. Wang, Z.H. Chen and Z.X. Ding,
“Performance of abrasive wear of WC-12Co
coatings sprayed by HVOF”, Tribology
International, 42, 2009, pp. 1046-1051.
 7. T. Sudprasert, P.H. Shipway, D.G. McCartney,
“Sliding wear behaviour of HVOF sprayed
WC-Co coatings deposited with both
gas-fuelled and liquid-fuelled systems”,
Wear, 255, 2003, pp. 943-949.
 8. P.H. shipway, D.G. McCartney, T. Sudprasert,
“Sliding wear behaviour of conventional and
nanostructured HVOF sprayed WC-Co
coatings”, Wear, 259, 2005, pp. 820-827.
 9. Q.Q. Yang, Tetsuya Senda, Akira Ohmori,
“Effect of carbide grain size on
microstructure and sliding wear behavior of
HVOF-sprayed WC-12%Co coatings”, Wear,
254, 2003, pp. 23-34.