

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

雷射表面改質處理之研究(II)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2216-E-002-025-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：國立臺灣大學機械工程學系暨研究所

計畫主持人：陳永傳

計畫參與人員：江國安、劉家銘、鄭家祥

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 9 月 24 日

雷射表面改質處理之研究()

摘要

本計畫主要在研究雷射表面改質處理的製程參數對電鍍硬鉻後之高碳工具鋼 SK3 與雷射融覆 Stellite 12 鈷基合金層之顯微組織及機械性質的影響。本計劃研究主要分為兩個部份：

1. 雷射表面合金化處理對電鍍硬鉻後之高碳工具鋼 SK3 之影響，由於電鍍硬鉻具有良好的耐腐蝕性及高溫抗磨耗的性質，所以一般工業界經常對產品實施硬鉻電鍍處理，然而電鍍硬鉻層較易剝落，且較脆弱，是其美中不足之處。所以針對此問題，本研究將電鍍硬鉻後的工件再進行雷射表面合金化處理，以期能改善電鍍硬鉻層的易剝落性，利用雷射表面合金化處理，來使表面硬鉻層能夠向內擴散甚至與材料重熔形成合金化合物，增加工件表面鉻元素含量，以期提升工件的耐蝕性。並評估雷射表面合金化處理的加工參數對電鍍硬鉻後的工件，其表面鉻元素含量分布及硬度的分布的影響，藉由觀察雷射表面合金化處理後，材料表層的顯微組織，來探討雷射表面合金化處理時，材料組織的變化。
2. 以 Stellite12 鈷基合金粉末預敷於鋼料表面，再以雷射將表層熔融以進行雷射表面被覆處理，來探討各製程參數對雷射表面被覆層的影響，並建立被覆層幾何型態與性質的評估方法。

關鍵詞：雷射表面改質、雷射合金化、雷射表面被覆、冶金鍵結

Abstract

The industrial application of laser surface modification becomes popular for its advantages of high power density, thin hardening layer, lower heat input and less heat-affected zone. Laser surface modification includes both the laser alloying and laser surface cladding:

1. For laser surface alloying, the process of altering surface elemental compositions, using high power laser energy to melt a thin layer as the surface of a bulk material, while simultaneously adding alloying elements to affect, upon freezing, an alloy or a compound. In this paper, surface alloying of chromium onto SK3 steel substrate produced under different laser power, travel speed and energy density, respectively, was characterized. The behavior of Cr element, including the dissolution, distribution, and microstructures of laser-alloyed layer with rapidly solidifying were investigated using scanning electron microscopy (SEM), electron probe microanalysis (EPMA) and X-ray diffraction (XRD).
2. For laser surface cladding, the mixtures of alloy powder and binder are pre-placed on the top surface of work piece before cladding. After scanning with high power CO₂ laser, a special film with high hardness, wear resistance and corrosion resistance will be formed with metallurgical bond.

The purpose of this study is to investigate the effects of both laser transformation hardening and laser surface cladding. The relationships between laser processing parameters including laser power, scanning rate and laser beam diameter (defocus), and the characteristics of hardened layer including mechanical properties of the hardened layer, geometrical features and microstructure are evaluated after laser treatment.

Key Words: laser surface modification, laser alloying, laser surface cladding, metallurgical bond

1. 前言

由於雷射束加熱容易控制加熱範圍，可作定點加熱，因此適用於精密零件的局部表面硬化處理。實施雷射表面合金化與雷射表面被覆處理具有母材變形量小、處理時間短、硬化層組織微細、硬度均勻且可視需要作彈性調整等特點[1~5]。本研究主要針對電鍍硬鉻之高碳工具鋼 SK3 經由雷射表面合金化處理後，對其表面合金化效果之評估與表層顯微組織之觀察，與以 Stellite12 鈷基合金粉末預敷於 SK3 鋼料表面，再以雷射將表層熔融以進行雷射表面被覆處理，來探討各參數與表面硬度、被覆層厚度、合金元素稀釋率、顯微組織的關係，同時探討各種雷射製程參數對於工件的表面硬度、金相組織、硬化層幾何型態的影響。

2. 研究目的

探討各製程參數對雷射表面合金化電鍍硬鉻後之高碳工具鋼 SK3 與雷射表面被覆處理 Stellite12 鈷基合金的影響。實驗時，施以各種條件之雷射表面處理，由其硬度分佈、硬化深度與合金元素含量，探討各製程參數對表面合金化效果的影響。本研究的目的是朝兩個方向進行：

- (1) 雷射表面合金化的研究上，對於電鍍硬鉻之 SK3 工具鋼材，其在雷射合金化處理時產生的熔融區及熱影響區深度可利用實驗後的數據來加以評估。藉由電子微探儀分析其表層鉻元素含量，並配合腐蝕後所觀察之硬化深度做為參考，即可做出在不同製程條件下，經由雷射表面合金化處理時產生硬化的深度，與鋼材表層硬化組織及硬度分佈之影響，進行評估。
- (2) 射被覆 Stellite12 鈷基合金的研究上，研究重點主要在探討各製程參數對雷射表面被覆 Stellite12 鈷基合金層的影響，並建立被覆層幾何型態與性質的評估方法。

3. 文獻探討

雷射表面改質處理是透過表層硬面合金的設計，使工件獲得較高的使用性能，如具冶金鍵結及優良耐磨耗性、抗腐蝕性之被覆層。雷射硬面被覆的結構體大致分為 3 部分：熔融區、過渡區及熱影響區。雷射硬面被覆有熱輸入量低、硬面層薄、與母材間稀釋率低、熱影響區小及硬度高之特點[6、7]。雷射硬面被覆之合金體系主要有鐵基合金、鎳基合金、鈷基合金、金屬陶瓷等[8~11]。被覆鐵基合金主要適用於要求局部耐磨且容易變形的工件；被覆鎳基合金、鈷基合金主要適用於要求局部耐磨、耐腐蝕、抗熱疲勞的工件，被覆時所需的雷射功率較高；被覆金屬陶瓷則適用於需要耐磨、耐腐蝕、耐高溫及抗氧化性的工件。在眾多硬面合金的種類之中，於 1900 年代 Elwood Haynes 所發展出的 Stellite 合金[12~14]，為世界上首度使用的商業性鈷基合金，由於 Stellite 鈷基合金具有高強度、耐腐蝕、耐高溫及抗氧化性等優點，且較易於應用雷射作表面被覆。其金相組織為 Co-Cr-W-C 之四元合金，基地為富鉻之鈷基固溶體，K. Nagaratham 指出 Fe-Cr-W-C 合金被覆層主要強化機構為 M_7C_3 或 M_3C ($M=Cr, Fe, W$) 的析出，且其強度受碳化物之比例與型態影響，而製程參數對晶間碳化物 Cr_7C_3 之析出量影響不大，而其晶界間偏析的情形是以分配係數遠小於 1 的元素或冷卻速率較慢時比較明顯[15、16]。且 J. Mazumder 等人指出[17、18]：鈷基合金被覆層之主要磨耗機構為 micro-machining，在低應力的情況下，刮除磨耗 (abrasive wear) 的情形隨被覆層中的碳化物顆粒之成長而減少，而被覆層凝固後所產生的相與其硬度及耐磨耗性有密切的關係。

一般影響雷射表面被覆層幾何型態、顯微組織、化學組成均勻性及機械性質之因素包含：製程架構、基材與被覆材料之物理性質及冶金性質、雷射製程參數等[19]，說明如下：

- (1) 製程架構：包含雷射束的光學機構種類、預覆層的粒度分佈、雷射束的離焦距離、有無遮護氣體等。
- (2) 基材與被覆材料之物理性質及冶金性質：材料對雷射光之吸收率、熱性質 (thermal property) 如熔點、比熱、熱傳導係數、熱擴散係數、潛熱等；以及基材與被覆材料之密度及兩者彼此間的相容性等。若材料對雷射光之吸收率高，則熱量損失少。熱性質主要影響溫度

場的分佈，從而影響其冷卻速率及被覆層凝固後的顯微組織。基材與被覆材料之相容性方面，如鈷與鈦易與基材產生脆性的金屬間化合物，此對冶金鍵結有不利的影響[20]，宏觀的偏析也會在進行雷射硬面被覆處理中產生[21]。

(3) 製程參數：在相同的製程架構、基材與被覆材料之下，影響被覆層最大的因素為製程參數，包含雷射功率、掃描速度、雷射束直徑、多道次掃描的偏移量、遮護氣體的流量等。

實際上在雷射表面硬化處理的過程中，當光束形式、照射面積及基材與被覆材料、塗層材料等因素確定後，製程參數如雷射功率與掃描速度是兩個主要會影響硬化效果的製程變數，藉著改變功率或掃描速度可得到不同之硬化深度以及被覆層型態。反之，對於相同之硬化深度以及被覆層型態，有很多不同的製程變數可供選擇。使用高功率與高掃描速度之組合有助於降低熱輸入量，工件較不易變形；使用高離焦距離與低掃描速度之組合，能避免極高的冷卻速率造成極大的溫度梯度，使被覆層不會因為凝固時受到較大的限制而產生表面殘留拉應力，以預防裂縫的產生。

4. 研究方法

4.1 雷射表面合金化處理

將電鍍硬鉻處理後的試片（電鍍層：3-4 μm ）置於治具中再放入工作台內以進行雷射表面合金化處理，利用雷射加工機上的程式控制，調整雷射頭至所需離焦位置，以便設定雷射光光束半徑。實驗時採用氮氣為遮護氣體。同一系列實驗參數之比較均於同一試片上進行。

4.2 雷射被覆 Stellite12 鈷基合金

表面預敷 Stellite 合金粉末處理，採用噴覆方式，來回反覆噴覆 3-4 次，以得到適當厚度之預敷合金膜，再以雷射束掃描施以表面被覆處理，採用 3 道次雷射加工處理，分別以冷搭接被覆（處理順序為：第一道 第三道 第二道）及熱搭接被覆（處理順序為：第一道 第二道 第三道）將鋼料試片施以雷射表面被覆處理。以 EDS (Energy Dispersive Spectrometer) 於被覆層及其熱影響區交界處以線掃描 (Line scan) 方式進行定性成份分析，並配合 EPMA 沿被覆層厚度方向定點取樣作定量分析，用以瞭解被覆層之化學成分及介面處之元素擴散與稀釋情形。將雷射表面被覆層施以 X-Ray 繞射試驗，由其繞射圖形並配合成分分析的結果鑑定被覆層中所生成的相 (Phase) 及化合物種類。

5. 結果與討論

5.1 雷射表面合金化處理對電鍍硬鉻後之高碳工具鋼 SK3 之影響

5.1.1 硬化層型態的分類

工件表面經由雷射束加熱後，表面可分為熔融區、熱影響區及底材部分。而電鍍硬鉻之高碳工具鋼 SK3 經雷射表面合金化處理後，由於電鍍硬鉻層有較高的熔點（1903）較底材（約 1375）高，所以表層熔融區及熱影響區的型態因其電鍍層及底材熔點的差異可分為 3 類型；如圖 1 (a)(b)(c) 所示。

- (1) 鋼料表面溫度超過電鍍硬鉻層的熔點，電鍍硬鉻層完全融入底材，如圖 1 (a) 所示。
- (2) 鋼料表面溫度超過電鍍硬鉻層的熔點，電鍍硬鉻層部分融入底材，如圖 1 (b) 所示。
- (3) 鋼料表面溫度沒有超過電鍍硬鉻層甚至鋼料的熔點，電鍍硬鉻層沒有融入底材，鋼料表面只有形成麻田散鐵硬化層，如圖 1 (c) 所示。

5.1.2 雷射功率、掃描速度及能量密度對熔融區及熔融區+熱影響區深度的影響

如圖 2 所示，分別為在 400W 900W 不同雷射功率下，掃描速度對（熔融區）及（熔融區+熱影響區）深度及表層外觀的影響，由圖可以看出隨著功率增加，（熔融區）及（熔融區+

熱影響區)深度都有大幅增加的趨勢，而掃描速度增加則相反。一般而言，以數百 數千瓦的雷射功率都能對鋼材進行表面合金化處理，而單位時間內處理面積主要決定於雷射功率，當其他雷射加工參數不變時，雷射功率增加時，熔融區及熱影響區深度也會增加，在相同功率之下，掃描速度快，熔融區及熱影響區深度有下降的趨勢，當速度高於 20mm/s 時，深度下降的趨勢較為緩和，這表示說，掃描速度越快，其對熔融區及熱影響區深度大小的影響較小。

如圖 3 所示為雷射光能量密度對熔融區及熱影響區深度的影響，提高雷射光能量密度，會使熔融區及熱影響區深度大幅提昇，但能量密度越大時，提高雷射光能量密度，其所增加熔融區及熱影響區深度的量會變小，能量密度太高對增加熔融區及熱影響區深度並無多大助益。反而會使熔融區及熱影響區的硬度大幅下降。

5.1.3 雷射表面合金化處理後之 SEM 顯微組織觀察

如圖 4 所示，在經過雷射表面合金化處理後，鋼料內之溫度梯度隨深度而有所不同，其顯微組織亦隨之變化。表層顯微組織可明顯看出表層融熔區、硬化區、底材的差異及碳化物分佈情形，表層會有熔融現象產生，熔融區的組織為胞狀與樹枝狀組織，且有很明顯依溫度梯度的呈現方向性。

5.1.4 雷射能量密度對表層鉻元素含量與硬度分佈的影響

圖 5 所示，由表層鉻元素含量分佈來看，在提高能量密度的情況下，其鉻元素含量會降低，但鉻元素擴散融入的區域範圍會大幅提高，由於提高能量密度，材料吸收的熱能會變大，且持溫時間長(溫度梯度小)，故有充分的能量與時間供鉻元素擴散融入底材。與圖 6 硬度分佈圖相比較，較高的能量密度，其鉻元素含量較低，但由於鉻元素含量較低，表示所生成的鉻碳化物較少，其基地碳含量較高。所以表層硬度較高，而且鉻元素除了在熔融區有溶入底材外，也擴散至熱影響區的部分。然而能量密度低，其鉻元素含量高，但範圍侷限在融熔區，且鉻元素會間接影響表層的硬度，使得表層硬度略低。我們由圖 7 雷射表面合金化處理後之 SEM 顯微組織觀察中可以發現，融熔區有鉻碳化物析出於麻田散鐵的晶界上，應而造成麻田散鐵基地的含碳量降低，經由 EDAX 元素分析結果，如表 1 所示，隨著雷射能量密度的提高，表層鉻含量減少，其析出之鉻碳化物的碳含量會降低，表示碳元素仍固溶於麻田散鐵的基地中，所以基地硬度較高。

5.2 雷射被覆 Stellite12 鈷基合金後之影響

5.2.1 雷射被覆 Stellite12 鈷基合金後之 SEM 顯微組織觀察

與前節所述之雷射表面合金化處理相比較下，Stellite12 鈷基合金為 Co-Cr-W-C 之四元合金，基地為富鈷之固溶體，其組織、合金分佈與金屬碳化物較只有鉻元素分佈複雜。經過雷射被覆 Stellite12 鈷基合金後，工件表面受到雷射束加熱作用，各深度之溫度梯度隨深度而有所不同，其顯微組織與合金分佈亦隨之變化。如圖 8 所示為，經由 1200W \times 20mm/s 雷射被覆 Stellite12 鈷基合金後的 SEM 組織觀察，可看出熔覆層組織可分為數個部分，胞狀、柱狀與樹枝狀組織，被覆層主要為 M_7C_3 或 M_3C ($M=Cr, Fe, W$) 的析出(白色部分)與富鈷基地(黑色部分)，根據非平衡凝固理論，熔覆層之顯微組織深受合金成分、溫度梯度及凝固速度所影響。由於雷射功率高，造成冷速較低，所以形成胞狀組織其次是柱狀組織，靠近底材為樹枝狀組織。如圖 9 所示，以柱狀組織為例，而隨著能量密度的提高，其支臂的間距增大，表示冷卻速度低，凝固後共晶的支臂分佈較少。圖中白色支晶部分經由 EDAX 分析得知，隨著能量密度的提高，白色支晶部分的鉻、碳含量有減少的趨勢。

5.2.2 雷射能量密度對表層元素含量與硬度分佈的影響

圖 10 所示，由表層鈷、鉻、鈷元素含量分佈來看，在提高能量密度的情況下，其鈷、鉻、

鈷元素含量會降低，但元素擴散融入的區域範圍會大幅提高，由於提高能量密度，材料吸收熱能的會變大，且持溫時間長（溫度梯度小），故有充分的能量與時間供元素擴散融入底材。如圖 11 所示，根據 Hall-Petch equation 所示，晶粒較細時，亦即支臂較小時，其硬度較高，由硬度分佈圖相比較，能量密度越高，材料吸收熱能的會變大，且持溫時間長（溫度梯度小），而且冷卻速度也會變低，相對的，硬度就會降低。

6. 結論

- (1) 隨著功率增加，雷射表面合金化處理與雷射表面被覆 Stellite12 鈷基合金處理後，表層熔融區及熱影響區深度都有大幅增加的趨勢，在相同功率之下，掃描速度增快，熔融區及熱影響區深度有下降的趨勢。
- (2) 雷射表面合金化處理時，較低的掃描速度在熔融區處有較高的硬度，而較高的掃描速度時的硬度分佈較為平緩，熔融區範圍會變小且硬度較低。在較高的功率時，其鉻元素含量會降低，但鉻元素擴散融入的區域範圍會大幅提高，且較不會影響表層的硬度。而且鉻元素除了在熔融區有溶入底材外，也擴散至熱影響區。低功率時，其熔融區硬度較低。但熱影響區的硬度與高功率處理時相當，表示熱影響區均為麻田散鐵組織。掃描速度快，其表層鉻元素含量較高，但鉻元素擴散融入的區域範圍較小，其差異在功率提高的情況下更為明顯。高功率的情況下，在經過雷射表面合金化處理後，熔融區的組織為胞狀與樹枝狀組織，且有很明顯依溫度梯度呈現方向性。
- (3) 雷射被覆 Stellite12 鈷基合金後的顯微組織，可分為數個部分：胞狀、柱狀與樹枝狀組織，被覆層主要為 M_7C_3 或 M_3C ($M=Cr, Fe, W$) 的析出（白色部分）與富鈷基地（黑色部分），雷射功率高，造成冷速較低，所以形成胞狀組織，其次是柱狀組織，靠近底材為樹枝狀組織。而隨著能量密度的提高，其支臂的間距增大，根據 Hall-Petch equation 所示，晶粒較細時，亦即支臂較小時，其硬度較高，由硬度分佈圖相比較，較高的功率，與較低的掃描速度下，其能量密度較高，材料吸收的熱能會變大，且持溫時間長（溫度梯度小），冷卻速度也會變低，相對的，硬度就降低了。

7. 重要參考文獻

1. Joe. E. Miller, " Laser hardening at Saginaw Steering Gear " ,Metal Processing , May ,1977.
2. Charles Wick, " Laser Hardening, Manufacturing Engineering " , June , 1976.
3. 賴文郎, " 雷射熱處理及其應用 " ,金屬熱處理,18 期,民國 76 年, pp1-15.
4. 敖仲寧, " 金屬材料的雷射加工 " ,金屬熱處理,28 期,民國 79 年, pp.5-19.
5. 丁勝懋, " 雷射加工導論,中央圖書出版社 " ,第 3 版,民國 80 年,pp.38-59.
6. R. Davis, Davis and Associates, "Hard facing, Weld Cladding and Dissimilar Metal Joining", ASM Handbook. Vol.6, 10th ed., 1990,pp. 789-829.
7. "The Selection of Hard facing Alloy", ASM Handbook, Vol.1, 8th., 1961, pp.820-833.
8. Chapter 24, "Failure analysis, Repair Welding and Surfacing", Modern Welding Technology, 3 th , edited by Howard B. Gary, Regents, Prentice Hall, , pp.685-706.
9. 周敏傑, " 鋼鐵材料的表面硬化及包覆處理之研究 " , 國立台灣大學材料與工程學研究所碩士論文,民國 75 年, pp.12-19.
10. Bhushan and Bharat, Hand book of Tribology, New york, McGraw-Hill, 1991.
11. D. C. Xiao, M. Ellis, W. M. Steen, " Laser Cladding of Lead Bronze " , Laser material processing, pp.913-922.
12. M. .F. Ashby, " Modelling the Laser Transformation Hardening of Steel " , Laser Processing of Materials,

pp.225-234.

13. W. M. Steen, " Heat Transfer Model for CW Laser Processing " , J. App. Phys ,Feb,1980,51,pp.946-946.
14. W. M. Steen., " Mathematical Modeling of L Laser Material Interactions " , Laser Material Processing,pp.156-170.
15. K. Nagarathnam, K. Komvopoulos, " Microstructural Characterization and In Situ Transmission Electron Microscopy Analysis of Laser Processed and Thermally Treated Fe-Cr-W-C Clad Coating " , Metallurgical Transaction A, Vol. 24,1993,pp.1621-1629.
16. G J. Bruck, " High-Power Laser Beam Cladding " ,Journal of Metals,Feb.,1987,pp.10-13.
17. J. Mazumder, " Laser Surface Alloying of Steel with Cr-Mn-C for Enhanced Wear Properties " , Laser Processing of Materials,pp.199-200.
18. C. C. Huang, W. T. Tsai and J. T. Lee, " Laser Cladded High Chromium-Nitrogen Alloys on Carbon Steel " , Journal of the Electrochemical Society, 142, (1995) 1221.
19. H. J. Niu, I. T. H. Chang, " Microstrural Evolution during Laser Cladding of M2 High-Speed Steel " , Metallurgical Transaction A, Vol. 31,2000,pp.2615-2624.
20. A. Frenk , M.Vandyoussefi , J.D. Wagniere, A. Zryd and W.Kurz, " Analysis of Laser-Cladding Process for Stellite on Steel " , Metallurgical And Materials The Transactions B, 1997, Vol.28B, pp.501-508.
21. A. Frenk and W. Kurz, " High Speed Laser Cladding : Solidification Conditions and Microstructure of a Cobalt-Based Alloy " , Materials Science and Engineering. 1993, A173, pp.339-342.

8.計畫成果自評

本計畫研究以雷射表面合金化處理對電鍍硬鉻後之高碳工具鋼 SK3 之影響，將電鍍硬鉻後的工件再進行雷射表面合金化處理，來使表面硬鉻層能夠向內擴散甚至與材料重熔形成合金化合物，增加工件表層鉻元素含量，以期提升工件的耐蝕性。目前已完成的項目有：

- (1) 評估雷射表面合金化處理的加工參數對工件之表層鉻元素含量分布及硬度分布的影響，
- (2) 觀察雷射表面合金化處理後，材料表層的顯微組織，以了解雷射表面合金化處理對材料組織的影響。

其次以 Stellite12 鈷基合金粉末預敷於鋼料表面，再以雷射將表層熔融以進行雷射表面被覆處理，來探討各參數與表面硬度、被覆層厚度、合金元素稀釋率、顯微組織的關係。以自行調配的合金粉末（如 Cr、V、Ni 等）及商用合金粉末預敷於鋼料表面，再以雷射將表層熔融以進行被覆處理，來探討合金粉末的化學組成及製程參數對鋼料表面硬度、被覆層厚度、合金元素稀釋率及顯微組織的影響，目前已完成的項目有：

- (1) 了解雷射功率、掃描速度、離焦距離等製程參數對雷射被覆 Stellite12 鈷基合金層厚度的影響。
- (2) 了解 Stellite 合金粉末的種類、粒度、塗佈方式對雷射被覆效果的影響。
- (3) 雷射被覆層的顯微組織觀察、硬度量測及化合物鑑定。
- (4) 了解製程參數對被覆層合金稀釋率的影響。

換言之，由以上的研究結果，可以瞭解各種處理參數對產品性能的影響，進而對不同的產品建立其對應的最佳製程參數，以供業界參考，以擴展雷射表面處理在工業上的應用範圍。

可供推廣之研發成果資料表

可申請專利

可技術移轉

日期：93年9月22日

國科會補助計畫	計畫名稱：雷射表面改質處理之研究() 計畫主持人：陳永傳 計畫編號：NSC 92-2216-E-002-025 學門領域：表面技術
技術/創作名稱	雷射表面改質處理: 1.電鍍硬鉻後之雷射表面合金化 2.雷射表面被覆 Stellite12 鈷基合金處理
發明人/創作人	江國安
技術說明	<p>雷射表面改質處理是透過表層硬面合金的設計，使工件獲得較高的使用性能，如具冶金鍵結及優良耐磨耗性、抗腐蝕性之被覆層。雷射硬面被覆的結構體大致分為 3 部分：熔融區、過渡區及熱影響區。雷射被覆處理有熱輸入量低、硬面層薄、與母材間稀釋率低、熱影響區小及硬度高之特點。雷射硬面被覆之合金體系主要有鐵基合金、鎳基合金、鈷基合金、金屬陶瓷等。被覆鐵基合金主要適用於要求局部耐磨且容易變形的工件；被覆鎳基合金、鈷基合金主要適用於要求局部耐磨、耐腐蝕、抗熱疲勞的工件，被覆時所需的雷射功率較高；被覆金屬陶瓷則適用於需要耐磨、耐腐蝕、耐高溫及抗氧化性的工件。</p> <p>For laser surface modification, the mixtures of alloy powder and binder are pre-placed on the top surface of work piece before cladding. After scanning with high power CO2 laser, a special film with high hardness, wear resistance and corrosion resistance will be formed with metallurgic bond.</p>
可利用之產業及可開發之產品	切削刀具、模具及耐磨工具之表面被覆處理以提高其硬度、耐磨性、與耐蝕性
技術特點	由於雷射表面改質處理具有變形量小、硬化效果佳及可局部加熱等優點，因此適合小型工件或形狀複雜工件的表面改質或局部硬化處理。此一技術已廣泛應用於其他場合上，包含提高硬度、增加強度、再硬化麻田散鐵系不銹鋼及回火金屬、延長疲勞壽限等不同工業用途。就材料的特性而言，若強度、硬度高，則相對的延性、韌性就低。實際上，很多工業的製品在使用上都只有局部需要高硬度、耐磨耗，而其他部位需要保有相當的韌性以避免脆性破壞。例如銑刀、鋸片等切削刀具，其刃部必須具有高硬度，才能有良好的切削能力及使用壽命，而其他部位則不需要太硬。因此，若能針對各製品之使用目的及特性的不同，分別施以適當的表面改質處理，則可提高其性能及使用壽命。
推廣及運用的價值	<ol style="list-style-type: none"> 1. 將電鍍硬鉻後的工件再加以進行雷射表面合金化處理，以期能改善電鍍硬鉻層的易剝落性，利用雷射表面合金化處理，來使表面硬鉻層能夠向內擴散甚至與材料重熔形成合金化合物，增加工件表面鉻元素含量，以期提升工件的耐蝕性。 2. 利用雷射被覆 Stellite12 鈷基合金使工件表面具有高強度、耐腐蝕、耐高溫及抗氧化性等優點，鈷基合金被覆層之主要磨耗機構為 micro-machining，在低應力的情況下，刮除磨耗 (abrasive wear) 的情形隨被覆層中的碳化物顆粒之成長而減少，利用製程參數的調整，可滿足工件之不同磨耗的要求。

9.附錄

表 1. 經不同能量密度之雷射表面合金化處理後，表層組織之 EDX 分析

Laser Energy Density	Structure	Cr	C	Fe
		Wt.%	Wt.%	Wt.%
31.83 J/mm ²	martensite	3.86	0.48	95.66
	metallic carbide	7.94	1.68	90.37
38.20 J/mm ²	martensite	3.94	2.14	93.91
	metallic carbide	4.79	2.19	93.02
59.20 J/mm ²	martensite	2.87	3.73	93.39
	metallic carbide	3.71	2.92	93.37

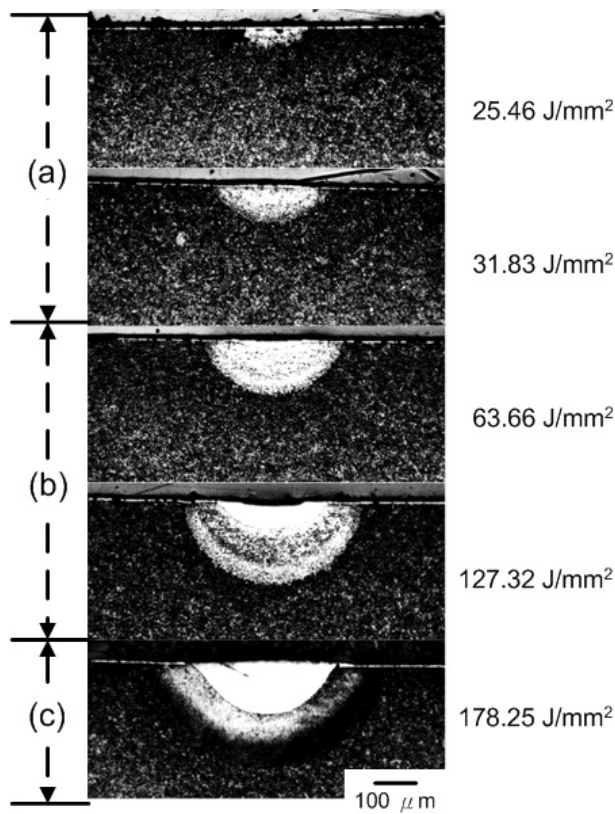
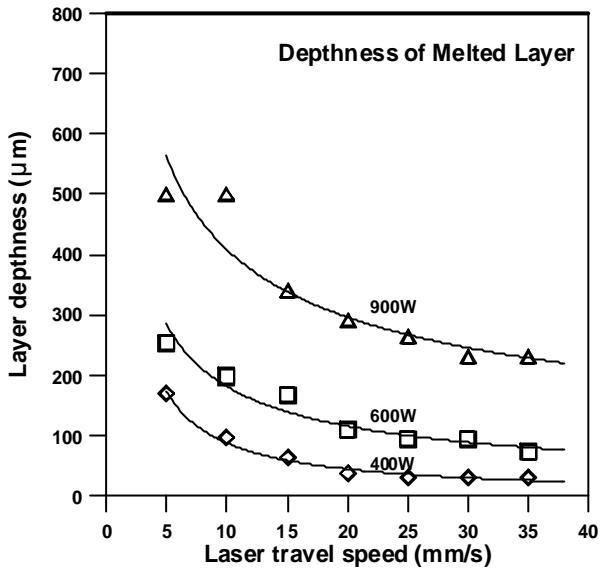
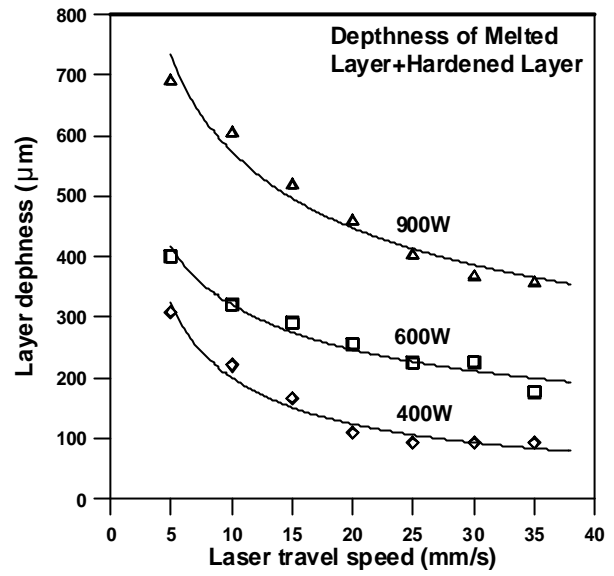


圖 1.電鍍硬鉻之高碳工具鋼 SK3 經不同能量密度之雷射表面合金化處理後，表層熔融區及熱影響區的型態：(a) 電鍍硬鉻層完全融入底材，(b) 電鍍硬鉻層部分融入底材，(c) 電鍍硬鉻層沒有融入底材，鋼料表面只有形成麻田散鐵硬化層



(a) Depth of melted layer



(b) Depth of melted layer + hardened layer

圖 2. 融熔區 (a)、融熔區+硬化區深度 (b) 與雷射功率、掃描速度之關係

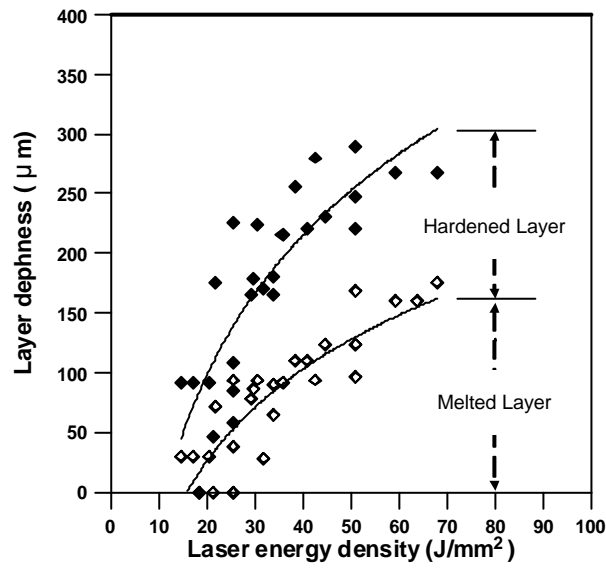
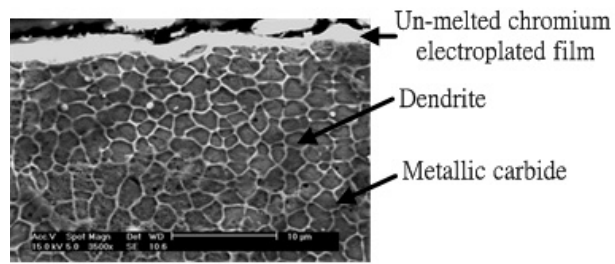
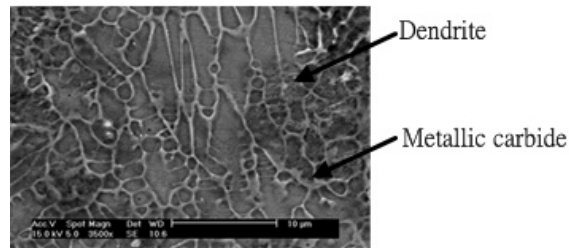


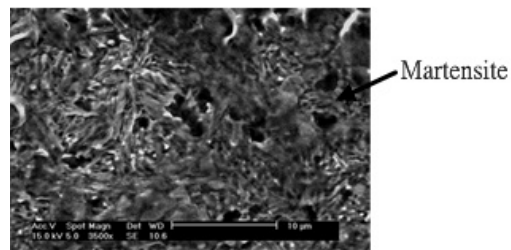
圖 3. 融熔區、融熔區+硬化區深度與雷射能量密度之關係



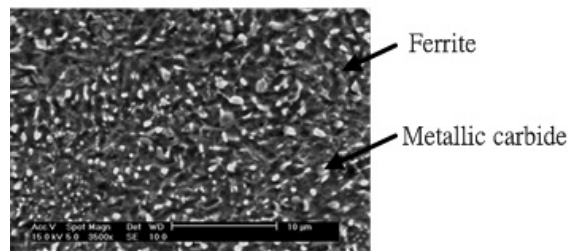
(a) Melted layer(I)



(b) Melted layer(II)



(c) Hardened layer



(d) Base material

圖 4. 電鍍硬鉻之高碳工具鋼 SK3 經雷射表面合金化處理後，表層熔融區及硬化區與底材的 SEM 組織觀察：(a) melted layer () (b) melted layer () (c) hardened layer (d) base material

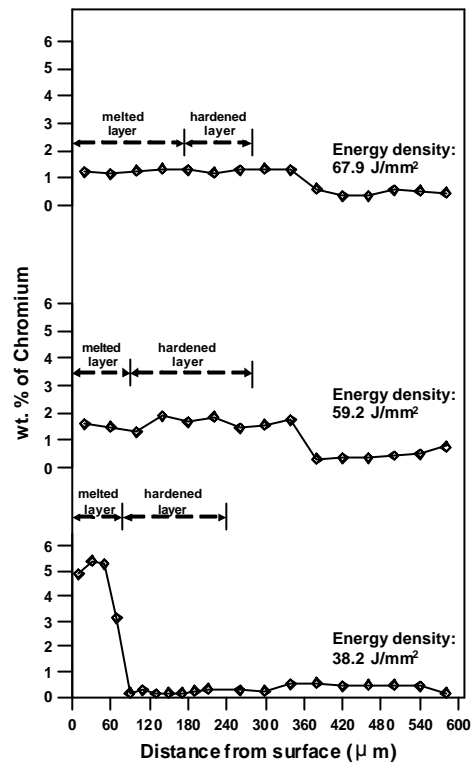


圖 5. 電鍍硬鉻之高碳工具鋼 SK3 經過不同能量密度之雷射表面合金化處理後，表層 Cr 元素含量分佈

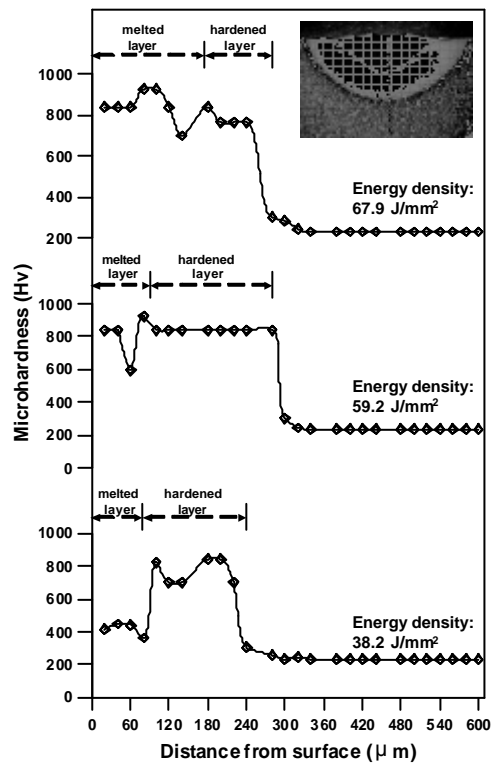


圖 6. 經過不同能量密度之雷射表面合金化處理後，表層的硬度分佈

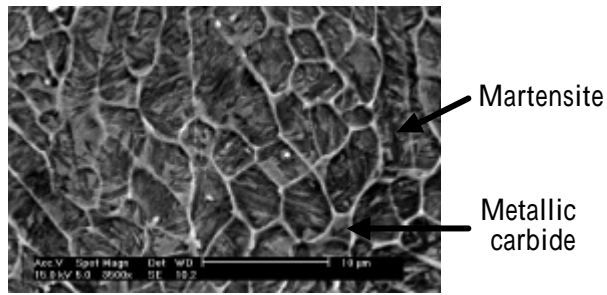
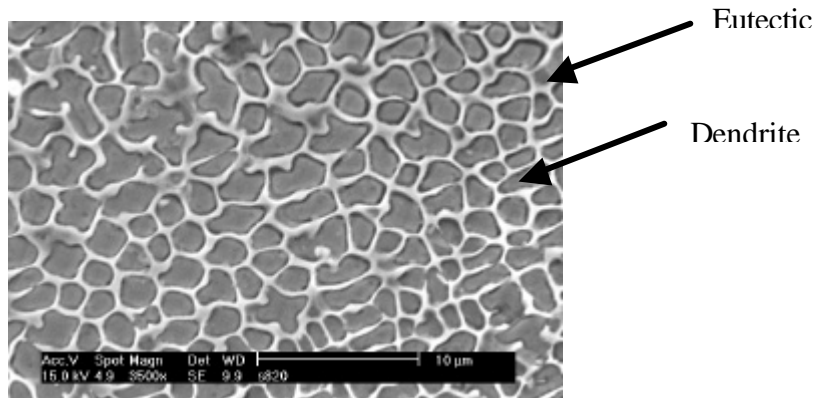
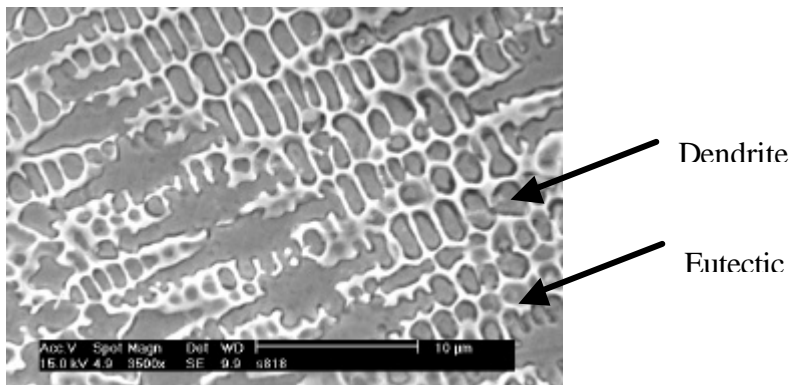


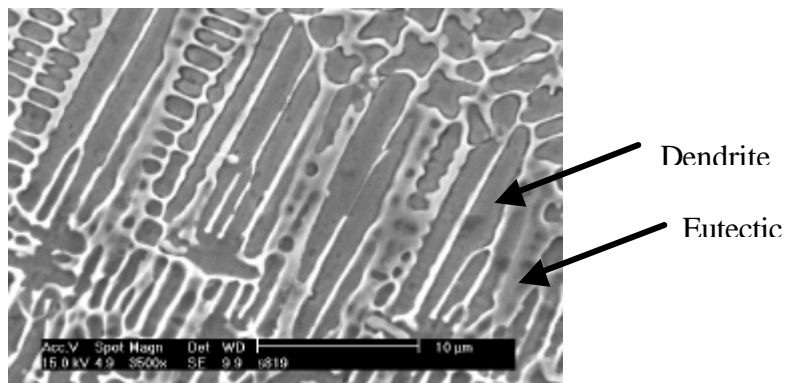
圖 7. 經過能量密度 31.83 J/mm^2 之雷射表面合金化處理後，融熔區之 SEM 組織觀察



(a) 胞狀組織

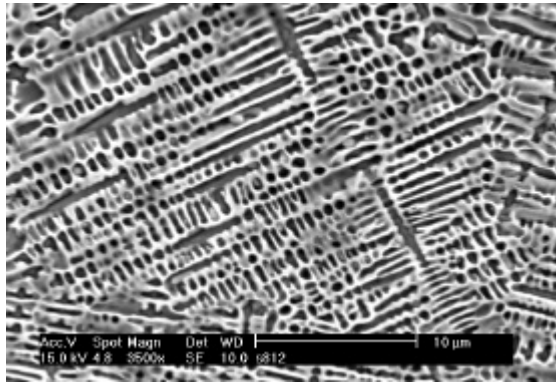


(b) 柱狀組織

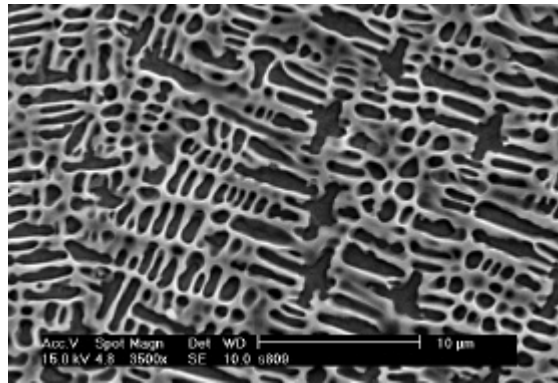


(c) 樹枝狀組織

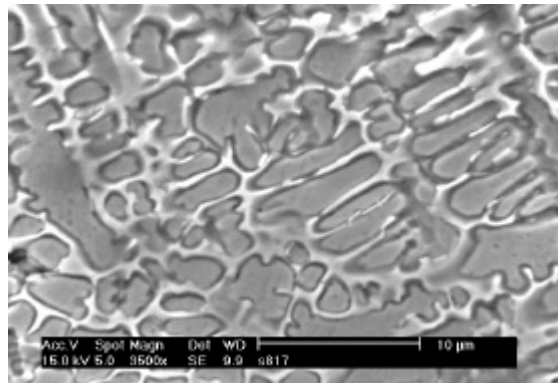
圖 8. 經由 $1200\text{W } \varnothing 20\text{mm/s}$ 雷射被覆 Stellite112 鈷基合金後的 SEM 組織觀察



(a) 3.82 J/mm²



(b) 5.73 J/mm²



(c) 7.64 J/mm²

圖 9. 經由不同能量密度之雷射被覆 Stellite112 鈷基合金後的柱狀組織觀察

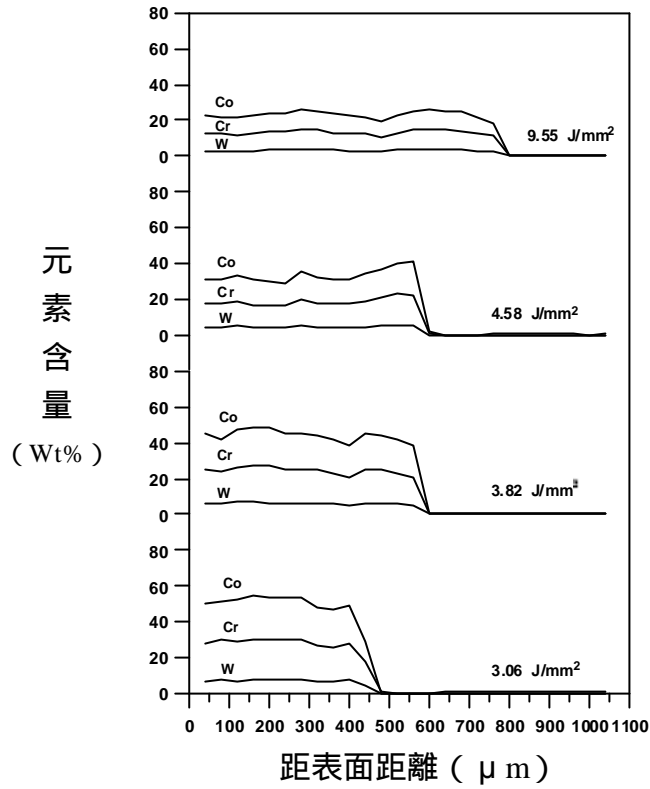


圖 10. 雷射能量密度對表層鎢、鉻、鈷元素含量分佈的影響

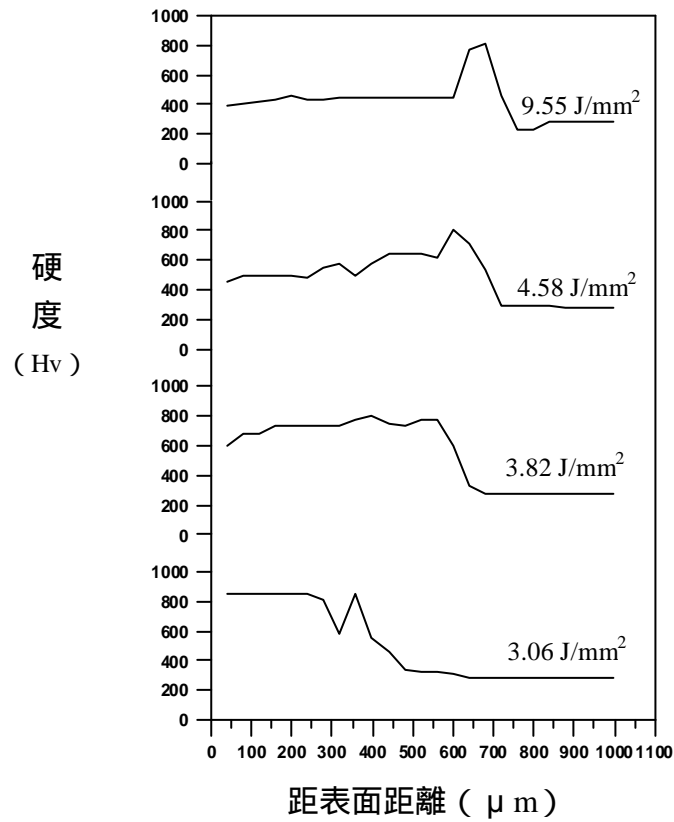


圖 11. 雷射能量密度對表層硬度分佈的影響