

真空硬鐸時間對 WC-Co 與 KDA1 工具鋼硬鐸接合件特性之影響

Effect of Vacuum Brazing Time on the Properties of Vacuum Brazed WC/KDA1 Tool Steel Joint

邱六合* 陳繁雄* 張舫誠*

L.H. Chiu F.S. Chen F.C. Chang

摘要

本研究係針對耐磨性高之碳化鎢與 SKD 61 改良型的 KDA1 熱作工具鋼，利用 Cu-9Sn 青銅片作為硬鐸填料，來進行異質接合。真空硬鐸接合條件為：硬鐸溫度 1050°C、持溫 5~15 分鐘為變化參數。於硬鐸結束時，以爐冷之方式進行冷卻，接著進行硬鐸接合件之微觀結構觀察、硬度及剪切測試。實驗結果顯示利用 Cu-9Sn 填料進行真空硬鐸接合，其剪切強度隨持溫時間增加而有上升之趨勢，在硬鐸條件 1050°C，KE13 / Cu-9Sn / KDA1 持溫 15 分鐘時，有最大剪切強度 260 ± 18 MPa。且隨硬鐸持溫時間增加，鐸道寬度明顯縮減，鐸道之微觀組織均為銅基填料固溶相且有白色點狀析出物產生。

關鍵詞：碳化鎢、真空硬鐸接合、真空氣淬、剪切測試、熱作工具鋼

Abstract

The vacuum brazing of Cemented Tungsten Carbide (WC-Co) and KDA1 Hot Work steel using the Cu-9Sn braze alloy has been studied. The specimens were brazed at 1050°C for 5 to 15 minutes. At the end of brazing process, the joints were cooled at furnace to room temperature. The brazed specimens were characterized by means of microstructural analysis, microhardness measurements, and shear tests. The experimental results show that

the shear strength of the joints is increased with the increasing bond time and the maximum shear strength among all testing conditions is 260 ± 18 MPa for the KE13 / Cu-9Sn / KDA1 joint brazed at 1050°C for 15 min. The width of brazed zone of the joints was obviously reduced with increasing bond time, the microstructure of brazed zone was the copper base solid solution dispersed with white punctual separation precipitate.

Keywords : Tungsten Carbide, Vacuum Brazing, Vacuum Gas Quench, Shear Test, Hot Work Steel

1. 前言

超硬合金(Hard metals)自二十世紀初期開始發展以來，因兼具高硬度、耐溫性、耐磨性與高韌性等特性，被視為相當成功的複合材料，而廣為工業界所使用。其中以碳化物超硬合金為最大宗且應用最廣，一般可粗略分為以WC為主及以TiC為主兩大類，主要應用範圍包括切削刀具及耐磨耗元件等[1][2]。

碳化鎢超硬合金是將鈷(Co)與碳化鎢(WC)顆粒，置於1300至1500°C之真空爐內，進行液相燒結，使Co熔化將碳化鎢顆粒定位包覆所產生的兩相複合材料燒結碳化物(Cemented Carbide)[3]；其中碳化鎢顆粒提供高硬度及耐磨耗性，而鈷主要用來作為碳化鎢顆粒的黏結相，並且提供了韌化的功能，形成了兼具硬度

與韌性的複合材料。其在室溫耐磨及高溫耐磨的表現皆優於高速鋼，因此造成強力的取代作用。

但依使用場所不同，例如在鑽鑿、切削工具的使用上，若工件完全以碳化鎢製造，會有成本過高、加工不易且因韌性不夠容易造成脆裂等問題。因此若以硬鉚接合的方式將碳化鎢與韌性較佳之鋼材進行異質材料接合，不僅能延長工具的使用壽命，並且能確實降低產品成本[4]。

異質接合是將兩種不同的金屬、合金或金屬與陶瓷、石墨等非金屬材料進行接合。使用硬鉚將碳化鎢固定在鋼料上已有相當悠久的歷史，其中以爐硬鉚法(Furnace Brazing, FB)最常使用。爐硬鉚法可確保加熱及冷卻時的升降溫度在緩和又勻稱的狀況下進行，並可控制爐體內部之氣氛。且藉附有強制冷卻裝置之真空爐，於硬鉚結束時，通入不活性氣體進行強制冷卻，使空氣淬火鋼之淬火與真空硬鉚同時進行，省略鉚後熱處理之步驟，達到工程省力化之目標。但當鉚接完成後，必須注意避免若由鉚接溫度冷卻至常溫之冷速過快，會因熱膨脹係數差所引起的應力，導致接合面產生裂痕等缺陷，造成在使用工件時碳化鎢容易從鋼材上脫落。

硬鉚製程不像傳統熔接(Welding)的製程，須熔化填料(Filler)和母材(Base Metal)來使兩物件接合。而是將欲接合工件及填充合金一起升溫到填充合金熔點以上約 20~50°C(以不超過母材熔點為原則，而填料熔點通常在 450°C 以上)，使填充合金熔化並充分潤濕母材，且必須適當地保持一段時間，使填充合金完全熔化並藉由毛細流(Capillary Flow)將其充滿於接合面的間隙內，使接合處產生冶金反應 (Metallurgical Reaction) 或稱合金化 (Alloying)。待整體接合工件冷卻後，填充合金凝固形成很強的鍵結，並將母材連接起來形成硬鉚的接點，即完成硬鉚接合製程。整個過程中並不會牽涉母材的熔化且能使物件均勻

受熱，所以母材不會因局部受熱而產生變形或扭曲。毛細流是在傳統硬鉚最重要的一個物理現象，它是由多種因素交互作用後之綜合表現。在硬鉚製程中，受到了接合母材金屬、填充金屬、外界氣氛及助熔劑(Flux)之間表面張力的交互作用、潤濕角(Wetting Angle)、填料合金的流動性(Fluidity)及黏度(Viscosity)及填料合金及母材之間可能發生冶金上的反應所影響[5-11]。

在硬鉚製程中，硬鉚溫度、時間與填料是重要之參數。硬鉚溫度必須高於填料熔點，但要低於基材之熔點，在此範圍內選用適當之填料。在填料的選擇上，以較低熔點之填料較為最理想的是，不僅符合節約能源的概念，並且能減少溫度對基材的影響（例如：晶粒粗大化、變形等）。在硬鉚時間的控制上，主要是為了使填料潤濕基材及藉由毛細現象均勻填充整個鉚道，若持溫時間不足，可能會造成填料未能充分填充整個鉚道而造成空孔缺陷的產生[12]。

由於填充金屬對燒結碳化鎢超硬合金的抓持力大小關係到工具的使用壽命，因此全世界已有相當多的學術及業界研究單位正積極進行碳化鎢與填充金屬之界面分析，進而得到較佳的機械性質與使用壽命[13-15]。

本研究係針對耐磨性高之碳化鎢與 SKD 61 改良型的 KDA1 熱作工具鋼，利用 Cu-9Sn 青銅片作為硬鉚填料，來進行異質接合。真空硬鉚接合條件為硬鉚溫度 1050°C，持溫 5~15 分鐘為變化參數。於硬鉚結束時，以爐冷之方式進行冷卻，取出試片後接著進行硬鉚接合件之微觀結構觀察、硬度及剪切測試，探討填料與基材界面反應以及不同持溫時間對接合件強度之影響。

2. 實驗方法

2.1 硬鉚前母材之處理

本實驗之碳化鎢分別選用 KG3、KE13、VA70 三種不同鈷含量之燒結碳化鎢，尺寸為

8×6×3(mm)，其組成與特性如 Table.1 所示。填料為 Cu-9Sn 青銅片，裁切成為 9×7×0.15 (mm)大小。母材為 SKD61 改良型的 KDA1 熱作工具鋼，尺寸為 φ19×12(mm)經輝光放電成份分佈分析儀 (GDOES) 分析確定其主要合金成分分別如 Table.2 及 Table.3。

Table.1 Chemical compositions and basic properties of WC-Co Cermet.[16]

材質	WC (%)	Co (%)	粒度 (μm)	硬度 (HRA)
KG3 (耐磨耗工具用)	91	9	2-3	89.1 ± 0.4
KE13 (礦山工具用)	87	13	6-9	85.0 ± 0.5
VA70 (耐衝擊工具用)	85	15	3-6	85.2 ± 0.5

Table.2 Chemical compositions of brazing filler.

wt. %	Cu	Sn	P	Pb
C52100 (Cu-9Sn)	91.60	8.83	0.15	0.02

Table.3 Chemical compositions of KDA1 steel.

wt. %	C	Si	Mn	Cr	Cu	Mo	V
KDA1	0.32	0.17	0.46	4.88	0.13	1.44	0.47

實驗所用母材在硬銲前須經以下步驟處理，以確保實驗結果及品質。將碳化鎢以#120的水砂紙研磨，吹乾以徹底除去水份；銅基片狀填料以#400的水砂紙稍微研磨以除去表面之污垢及氧化層；KDA1熱作工具鋼則先以車床去除表面黑皮，接著依序以 #120、#240、#400的水砂紙進行研磨，使每一次接合表面皆有一致的粗糙度。接著將研磨後之填料及鋼材

以丙酮清洗表面油脂，再以超音波震盪洗淨並吹乾，以徹底除去表面汗漬及水份。

2.2 真空硬銲接合

為了準確控制加熱溫度與加熱時間，採用爐式真空硬銲法(Furnace Vacuum Brazing)，使用臻龍 (Vac Long Vacuum Industry Co.) 公司之真空熱處理爐來作為硬銲爐具，結構示意圖如Fig.1所示。而母材與填料則採用三明治堆疊方法，如Fig.2所示。其目的是為了得到準確的搭接面，將填料置於碳化鎢與KDA1熱作工具鋼中間，於碳化鎢上方再放置一自製的定位配重蓋模具(10±0.5g重)來加以固定碳化鎢的位置及提供一荷重給碳化鎢，使填料與上下母材緊密接觸。再將整個接合件置入真空爐中進行真空硬銲。

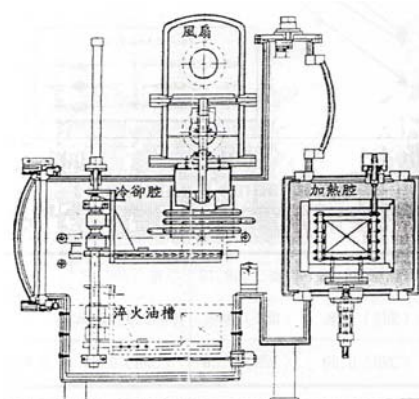


Fig.1 Schematic diagram of two-chamber vacuum heat-treatment furnace in brazing process.

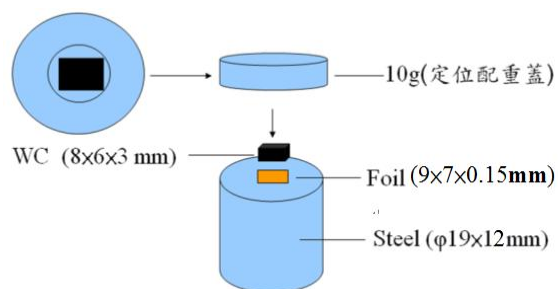


Fig.2 Schematic diagram of brazing specimens.

在加熱前，真空爐熱處理內部須將真空抽至 4×10^{-2} torr，才開始依照升溫曲線加熱進行硬銲接合。本實驗之升溫曲線如Fig.3所示，首先以 $15^\circ\text{C}/\text{min}$ 的升溫速率加熱到 500°C 後持溫15分鐘，再以 $15^\circ\text{C}/\text{min}$ 的升溫速率加熱至 800°C 後，同樣持溫15分鐘，藉二次持溫讓試片之內外部能達到相同溫度，然後再以 $5^\circ\text{C}/\text{min}$ 升溫速率加熱至硬銲接合溫度 1050°C ，分別持溫5、10、15分鐘。最後以爐冷之方式冷卻至常溫後取出。

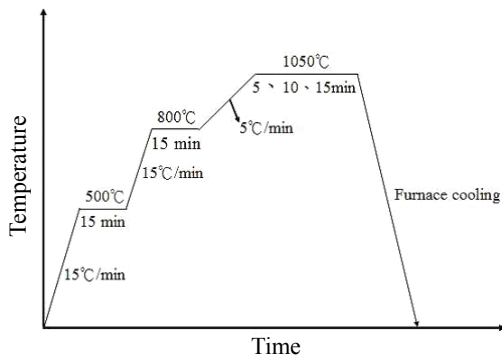


Fig.3 Heat history of the vacuum brazing procedure.

2.3 母材、填料及硬銲試片分析

2.3.1 示差熱分析(DTA)

填料合金則以 TA SDT2960 DTA-TGA 示差熱分析儀系統探討其熔點。取一小段裝入氧化鋁坩堝，將其置入 DTA 儀器中，以 $10^\circ\text{C}/\text{min}$ 之升溫速率加熱至 1200°C ，並通入 Ar 氣以防止氧化，由所得的圖形判斷在其間是否有相變化產生。

2.3.2 光學顯微鏡觀察

將母材及各組硬銲試片，利用鑽石切割刀將硬銲件切取其銲道及基底之橫截面，並以導電電木粉進行熱鑲埋。鑲埋後以水砂紙依序由 #120、#240、#400、#600、#800、#1000、#1200 研磨，再以 $0.5\mu\text{m}$ 之氧化鋁粉在 300rpm 的轉速下進行拋光。銲道以 50% 氨水+50% 過氧化氫之腐蝕液來進行腐蝕；基底鋼材則以 5% 硝

酸+95% 酒精之腐蝕液來進行腐蝕。並以 OLYMPUS BHM-112B 型光學顯微鏡觀察其填料/母材界面以及基底鋼材之微觀組織。

2.3.3 掃描式電子顯微鏡(SEM)觀察

以 PHILIPS XL30 掃描式電子顯微鏡 (Scanning Electron Microscope, SEM) 觀察其填料/母材界面之微觀組織以及元素分布地圖 (Mapping)，分析元素包括: Fe、C、W、Co、Cu 及 Sn。

2.3.4 電子探測微分析儀(EPMA)分析

以電子探測微分析儀 (Electron Probe X-ray Microanalyzer, EPMA) 作硬銲接合件之界面定性與定量分析。使用 JEOL JXA-8200 型電子微探儀，操作條件為：加速電壓 15KV，試片電流 $10^{-7} \sim 10^{-12}\text{A}$ ，電子束大小直徑為 $1\mu\text{m}$ ，分析方式為 Line scan。

2.3.5 硬度測試

硬銲前後之碳化鎢及鋼材利用洛式硬度機 (HRA、HRB 及 HRC)；硬銲後之試片經鑲埋後研磨並拋光，則利用 Vickers 硬度機 ($\text{HV}_{0.05}$)，來分別對上、下基材以及銲道來進行硬度測試，觀察其硬度分布情形。

2.3.6 剪切強度測試

將硬銲接合件置於自行設計之模具中，以萬能試驗機進行單剪式強度測試，其夾頭速率為 $1\text{mm}/\text{min}$ 。自製之單剪式剪力強度測試模具及測試情形如 Fig.4 所示。

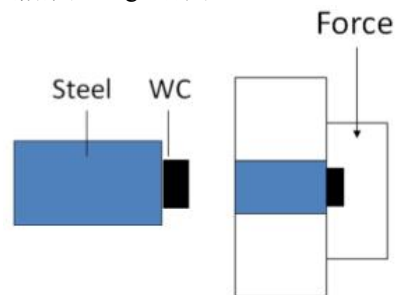


Fig.4 Schematic diagram of mold in shear test.

3. 結果與討論

3.1 填料之示差熱分析(DTA)

在硬銲進行前，需先確認填料之固、液相線溫度，以確認其受熱熔解行為，因此以示差熱分析儀進行分析。所用之 Cu-9Sn 填料合金經熱分析結果如 Fig.5 所示。可得知此填料合金在溫度約 1020°C 時有產生相變化的現象，表示此填料合金將在超過 1020°C 後逐漸熔解，此與 Fig.6 Cu-Sn 相圖[17]相符。

本實驗選用之母材 KDA1 沃斯田體化溫度為 1000~1050°C，而硬銲需高於填充合金熔點以上約 20~50°C，因此本研究選用 1050°C 為真空硬銲溫度。

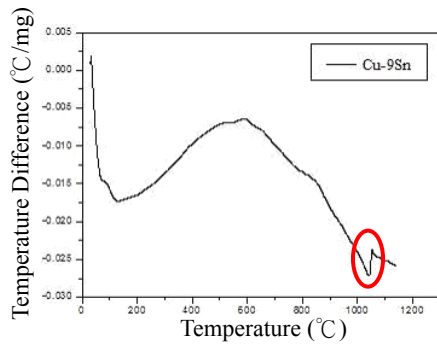


Fig.5 Differential thermal analysis profile of Cu-9Sn filler metal.

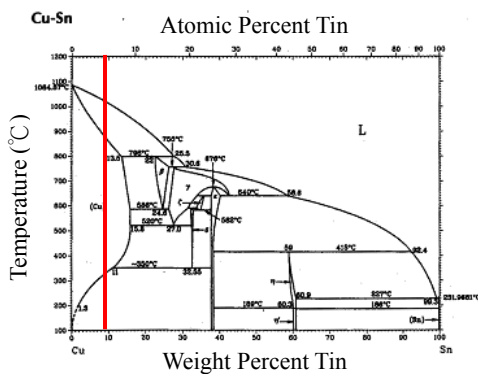


Fig.6 Phase diagram of Cu-Sn alloy.[17]

3.2 硬銲持溫時間對接合母材(碳化錳與 KDA1)微觀組織及硬度之影響

3.2.1 碳化錳

三種不同鈷含量之碳化錳原材及在

1050°C 下進行不同持溫時間之真空硬銲後的微觀組織，如 Fig.7、8、9 所示。由 Fig.7(a)、Fig.8(a)、Fig.9(a)可觀察到原材為典型的燒結成型之結構，從 Fig.7(b)(c)(d)、Fig.8(b)(c)(d)、Fig.9(b)(c)(d)發現燒結碳化錳在經不同持溫時間之真空硬銲後，其微觀結構與原材相比，只有孔洞被其他元素所填充。而由 Table.4 顯示在真空環境下進行硬銲接合，可以確保碳化錳本身的硬度不受影響，以維持其優良的耐磨耗性能。

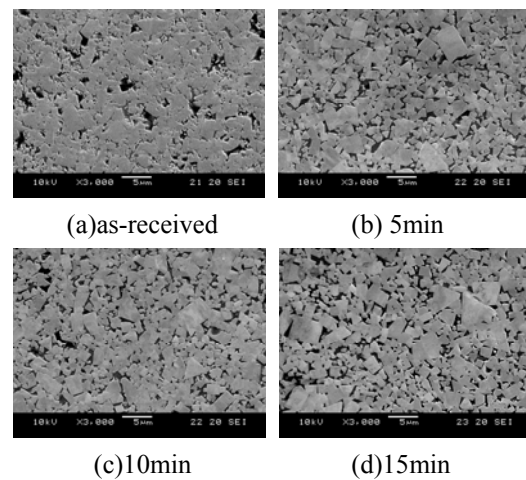


Fig.7 SEM micrographs of KG3 specimens vacuum brazed at 1050°C in various time durations. (3000X)

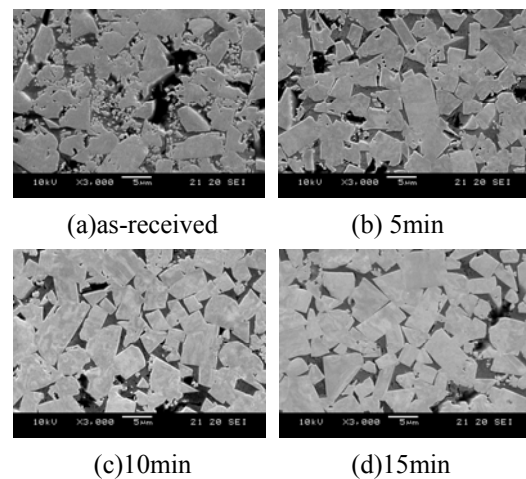


Fig.8 SEM micrographs of KE13 specimens vacuum brazed at 1050°C in various time durations. (3000X)

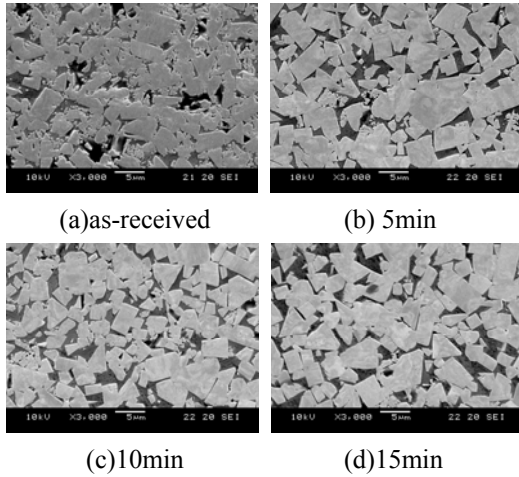


Fig.9 SEM micrographs of VA70 specimens vacuum brazed at 1050°C in various time durations. (3000X)

Table.4 Hardness of KG3,KE13,VA70 specimens vacuum brazed at 1050°C in various time durations.

碳化鎢種類	硬度(HRA)			
	原材	持溫 5 min	持溫 10 min	持溫 15 min
KG3 (9% Co)	89.1 ±0.4	88.6 ±0.3	88.4 ±0.5	87.8 ±0.8
KE13 (13% Co)	85.0 ±0.5	84.4 ±0.4	84.3 ±0.3	83.4 ±0.2
VA70 (15% Co)	85.2 ±0.5	84.3 ±0.1	84.0 ±0.2	83.3 ±0.5

3.2.2 KDA1

如Fig.10(a)所示，硬鉚前KDA1原材之金相為一相當微細化之球化組織。經硬鉚爐冷後則呈現變韌體之基地，且原沃斯田體晶界(Prior Austenite Grain Boundaries)清晰可見，如Fig.10 (b)~(d)。Table.5則顯示KDA1鋼材的硬度及原沃斯田體晶粒大小隨硬鉚持溫時間增加而增加，且原沃斯田體晶粒逐漸成長至No.8 (20~22μm)。一般晶粒號數No.7 (30~32μm)以上即為細晶，顯示未因硬鉚之高溫造成基底晶粒粗大。

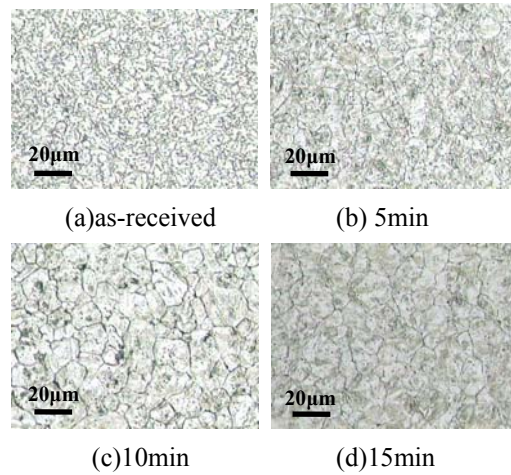


Fig.10 Optical micrographs of KDA1 specimens by vacuum brazed at 1050°C in various process time conditions. (500X)

Table.5 Hardness and ASTM grain size number of KDA1 specimens vacuum brazed at 1050°C in various time durations.

鋼材種類	原材 (HRB)	持溫時間 (min)	硬度 (HRC)	ASTM 晶粒號數
KDA1	90.6	5	48.2	No. 8.5
		10	48.4	No. 8
		15	49.0	No. 8

3.3 硬鉚持溫時間對鉚道微觀組織之影響

硬鉚前填料合金之金相組織如Fig.11所示，可發現明顯之加工流線，顯示其片狀填料為經冷軋所製成，其硬度為 $240 \pm 3 \text{ HV}_{0.05}$ 。

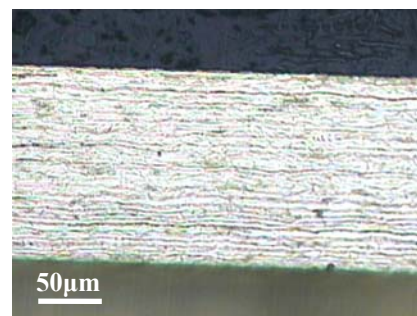


Fig.11 Optical micrographs of as-received Cu-9Sn filler. (200X)

接合界面的微觀結構(Microstructure)是影響試片接合強度的重要因素，為了解接合界面結合的情況及可能生成的相(Phase)而進行接合件微觀分析。Fig.12至Fig.13為三種不同鈷含量之碳化鎢/Cu-9Sn/KDA1經1050°C，分別持溫5、10、15分鐘之真空硬鋸，爐冷後之鋸道橫截面及鋸道內析出物之微觀組織。

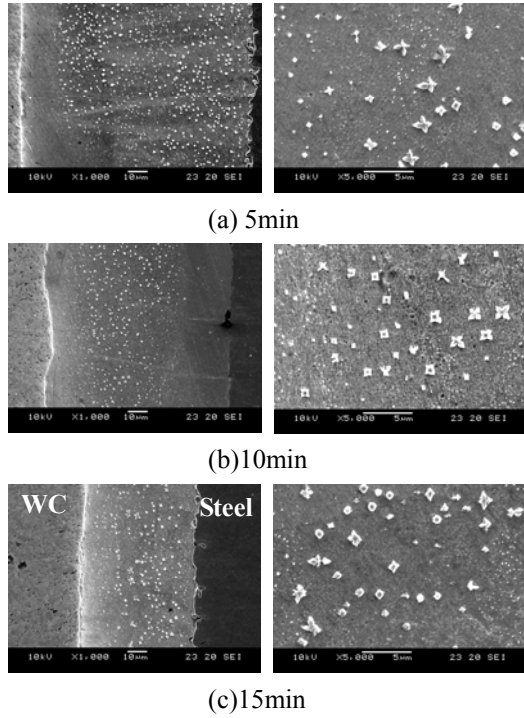


Fig.12 SEM micrographs of interface (1000X) and precipitations(5000X) of **KG3**/Cu-9Sn/KDA1 vacuum brazed joint at 1050°C in various time durations.

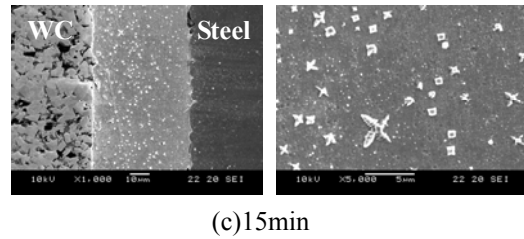
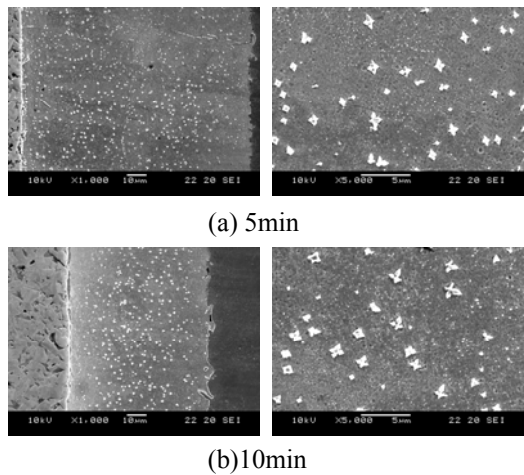


Fig.13 SEM micrographs of interface (1000X) and precipitations(5000X) of **KE13**/Cu-9Sn/KDA1 vacuum brazed joint at 1050°C in various time durations.

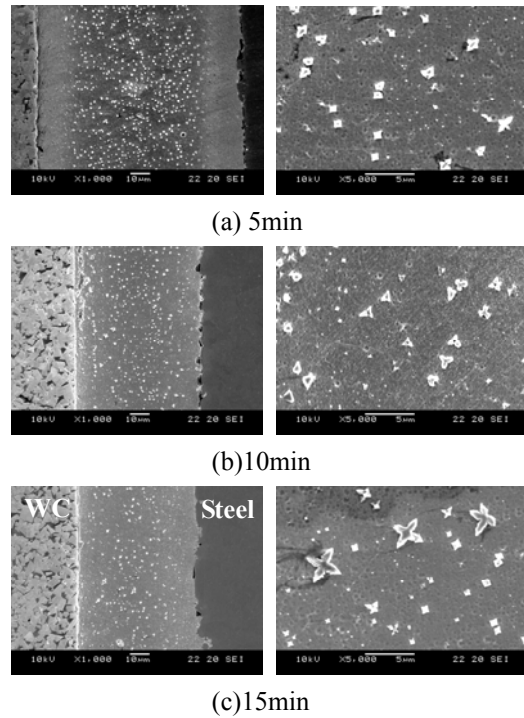


Fig.14 SEM micrographs of interface (1000X) and precipitations(5000X) of **VA70** /Cu-9Sn/KDA1 vacuum brazed joint at 1050°C in various time durations.

由三種碳化鎢持溫5、10、15分鐘接合件之鋸道橫截面微觀組織觀察，鋸道兩側皆無孔洞或裂痕等缺陷產生，顯示其有良好的接合效果。於鋸道內均有白色點狀析出物生成，此析出物與[18-20]相似，為Fe-Co-Cu析出物，且隨硬鋸持溫時間增加，鋸道寬度明顯縮減，而白色點狀析出物會數量會慢慢減少且變成較粗大的十字狀。而碳化鎢鈷含量則對鋸道寬度、

銲道內點狀析出物型態無太大影響。

3.3 硬銲接合件之銲道元素分佈分析

為進一步瞭解硬銲接合件微觀組織，利用SEM之EDS進行元素分佈地圖分析(mapping)以及EPMA line scan來掌握元素分佈情形及元素在不同位置的濃度分布，其結果如Fig.15至Fig.17所示。

從元素分佈地圖分析(mapping)可以看到部份元素在銅基填料溶解時有遷移及擴散的現象。首先是W元素，可觀察到仍存在WC-Co側，沒有明顯的擴散現象發生。再者為Co元素，原本僅存在於WC-Co的孔洞內，但在硬銲時會擴散進入銅基填料區內形成白色點狀析出物，且也有部分進入KDA1鋼材內。銅合金填料中的Cu元素僅有極少量部分擴散至WC-Co的孔洞內，而Sn元素則在中央區集中無明顯的擴散現象發生。Fe元素則由KDA1鋼材內，擴散進入銅基填料區內，且有少部分進入WC-Co的孔洞內。C元素則分布於上下母材及銅基填料區內，主要存在於WC-Co側。

然而在元素分佈地圖分析(mapping)雖然可知Co、Fe及C元素有擴散進入銅基填料區內，但無法得知白色點狀析出物是為何種元素所組成，故用EPMA line scan做更進一步分析。

而由EPMA line scan可見到與mapping相同之結果，仔細對照SEI圖Line scan位置，可以發現在銅基填料區內白色點狀析出物之位置，其Fe元素和Co元素濃度相對提高，而Cu元素和Sn元素濃度有相對降低的現象。而line scan在經過WC燒結孔洞時，Co、Fe元素濃度相對提高，而Cu元素則不明顯。

為了確定硬銲填料區及其白色點狀析出物的成分，使用EPMA的定量分析來確認其成分，分析結果如Table.6及Table.7所示。

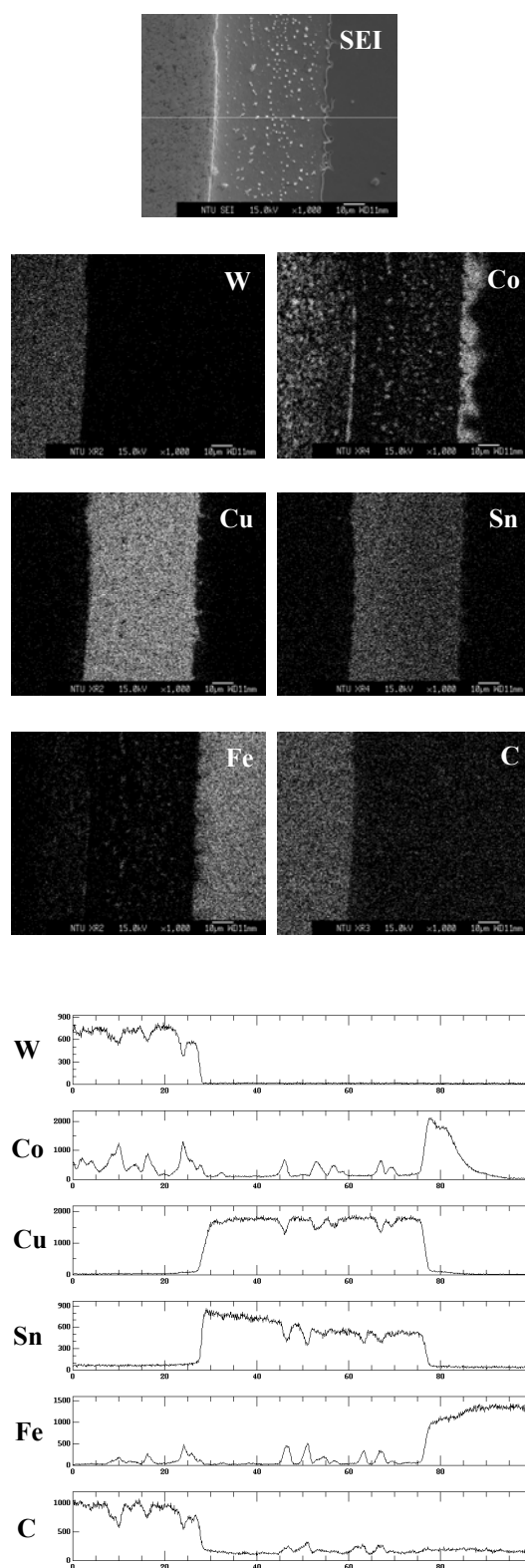


Fig.15 Elements distributed mapping and EPMA line scan elements analysis of interface of KG3/Cu-9Sn/KDA1 vacuum brazed joint at 1050°C for 15min.

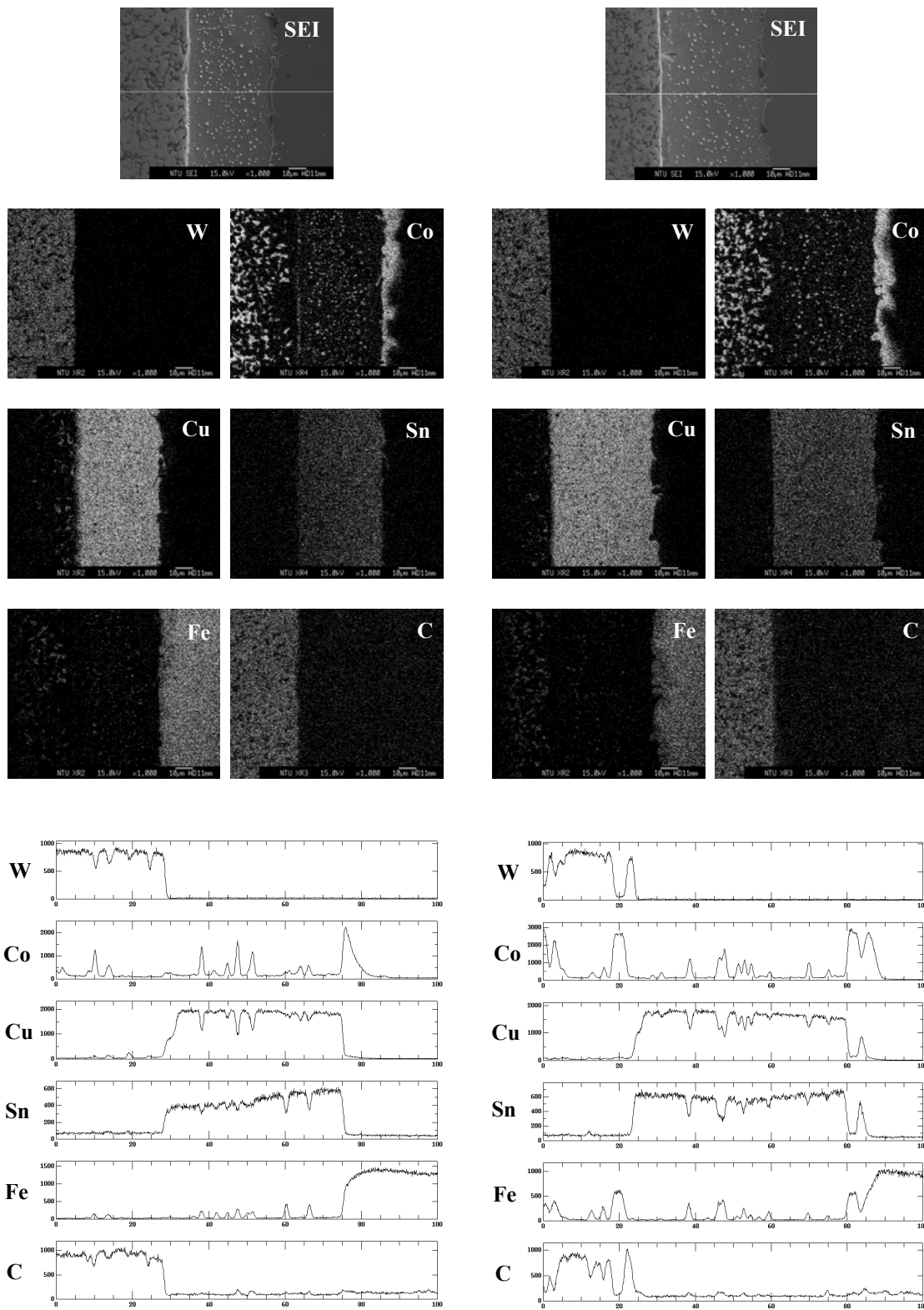


Fig.16 Elements distributed mapping and EPMA line scan elements analysis of interface of **KE13**/Cu-9Sn/KDA1 vacuum brazed joint at 1050°C for 15min.

Fig.17 Elements distributed mapping and EPMA line scan elements analysis of interface of **VA70**/Cu-9Sn/KDA1 vacuum brazed joint at 1050°C for 15min.

Table.6 Chemical compositions of braze zone of **KG3,KE13,VA70**/Cu-9Sn/KDA1 vacuum brazed joint at 1050°C for 15min.

碳化鎢種類	成份(wt%)				
	Fe	C	Co	Sn	Cu
KG3 (9% Co)	1.0	2.7	1.0	7.0	88.3
KE13 (13% Co)	0.6	3.1	0.8	5.6	89.9
VA70 (15% Co)	0.5	2.7	0.8	7.4	88.6

Table.7 Chemical compositions of precipitate of **KG3,KE13,VA70**/Cu-9Sn/KDA1 vacuum brazed joint at 1050°C for 15min.

碳化鎢種類	成份(wt%)				
	Fe	C	Co	Sn	Cu
KG3 (9% Co)	31.8	4.0	21.0	4.4	38.8
KE13 (13% Co)	32.4	4.0	30.4	2.3	30.9
VA70 (15% Co)	33.6	1.8	50.5	1.0	13.1

由 **Table.6** 及 **Table.7** 的 EPMA 定量分析顯示硬鋁填料區均有少部分的 Fe、C、Co 元素進入，造成原填料中的 Sn 含量下降。而鋁道內白色點狀析出物主要成份為 Co、Fe、Cu 元素，故此析出物為 Co-Fe-Cu 固溶體，與先前元素分佈地圖分析(mapping)和 EPMA 之 Line scan 分析結果互相吻合。且隨著碳化鎢鈷含量增加，析出物內的 Co、Fe 含量也會增加，造成 C、Sn、Cu 含量下降。由此現象可知含 Co 量越多的碳化鎢其 Co 原子越容易擴散到鋁道與 Fe 原子結合。

3.4 硬鋁持溫時間對鋁道寬度、硬度與剪切強度之影響

三種碳化鎢持溫 5、10、15 分鐘接合件其鋁道寬度、硬度與剪切強度之數值如 **Table.8** 所示。可以發現隨硬鋁持溫時間增加，鋁道寬度明顯縮減，鋁道硬度上升，且剪切強度也會上升。在 KE13 / Cu-9Sn / KDA1 持溫 15 分鐘時，有最佳之鋁道硬度 $670.3 \pm 17 \text{ HV}_{0.05}$ 及剪切強度 $260 \pm 18 \text{ MPa}$ 。

Table.8 Width and hardness of interfaces and shear strength of **KG3,KE13,VA70** /Cu-9Sn/KDA1 vacuum brazed joint at 1050°C in various time durations. (Width of original filler were 150 μm .)

碳化鎢種類	持溫時間 (min)	鋁道寬度 (μm)	鋁道硬度 ($\text{HV}_{0.05}$)	剪切強度 (MPa)
KG3 (9% Co)	5	118 ± 1	200.4 ± 4	203 ± 23
	10	91 ± 1	242.2 ± 9	225 ± 6
	15	61 ± 1	527.7 ± 9	232 ± 13
KE13 (13% Co)	5	129 ± 4	153.3 ± 5	203 ± 16
	10	77 ± 3	373.6 ± 15	224 ± 16
	15	57 ± 2	670.3 ± 17	260 ± 18
VA70 (15% Co)	5	108 ± 2	143.0 ± 3	198 ± 8
	10	69 ± 2	193.0 ± 11	216 ± 8
	15	62 ± 3	265.4 ± 16	220 ± 10

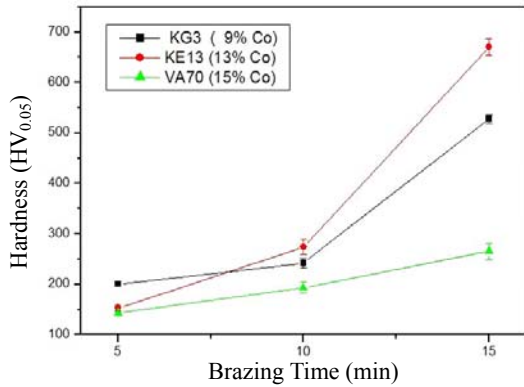


Fig.18 Hardness of of braze zone of **KG3,KE13**,**VA70**/Cu-9Sn/KDA1 vacuum brazed joint at 1050°C in various time durations.

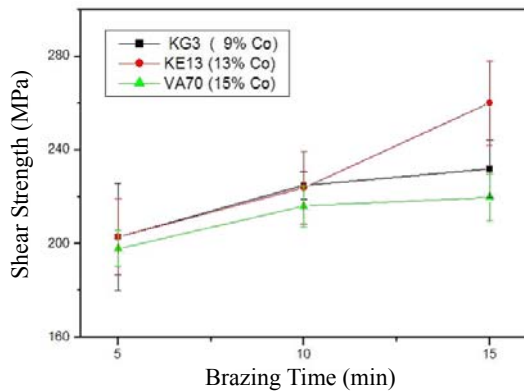


Fig.19 Shear strength of **KG3,KE13,VA70** /Cu-9Sn/KDA1 vacuum brazed joint at 1050°C in various time durations.

4.結論

1. 利用 Cu-9Sn 填料將碳化鎢與 KDA1 試片進行真空硬鉚接合，由鉚道微觀組織觀察並無缺陷產生，顯示有良好的冶金接合效果。
2. 以 1050°C 持溫 15 分鐘內之 WC / Cu-9Sn / KDA1 真空硬鉚接合件，其鉚道均為銅基填料固溶相且有白色點狀析出物產生。
3. 由 SEM 之 EDS 進行元素分佈地圖分析 (mapping) 以及 EPMA 之 Line scan 分析，Co、Fe 及 C 元素有明顯的擴散現象，從基材擴散進入銅基填料區中，W 及 Sn 元素仍在 WC-Co 側及銅基填銅基填料區中，並無

明顯的擴散現象。

4. 隨硬鉚持溫時間增加，鉚道寬度明顯縮減，鉚道硬度上升，且剪切強度也會上升。
5. 在 KE13 / Cu-9Sn / KDA1 持溫 15 分鐘時，有最佳之鉚道硬度 $670.3 \pm 17 \text{ HV}_{0.05}$ 及剪切強度 $260 \pm 18 \text{ MPa}$ 。

致謝

感謝國科會 NSC 97-2221-E-036-008 計畫案於經費上之協助。

參考文獻

- [1] Ralph W.Stevenson, Metals Handbook, Ninth Edition, Volume7, ASM, Ohio, pp773-783, 1985
- [2] Neil J.Culp, Dennis D.Huffman and R.J. Henry, Metals Handbooks, Desk Edition, ASM, Ohio, pp18.1-18.16, 1985
- [3] 陳羽辰, WC 與 AL0.5CoCrCuFeNi 超硬合金燒結製程與機械性質之研究, 碩士論文, 國立清華大學, 2004.
- [4] 高鄂, 碳化鎢入門, 徐氏基金會, 1982.
- [5] Brazing Handbook 4th ed., American Welding Society, 1991.
- [6] M. M. Schwartz, Brazing, ASM International, 1987.
- [7] G. Humpton and D. M. Jacobson, Principles of Soldering and Brazing, ASM International, 1993.
- [8] 張晏碩, 以銅錳基鉚材真空硬鉚鑽石之研究, 碩士論文, 國立台北科技大學, 2004.
- [9] D. L. Olson et. Al., ASM Handbook Vol. 6 Welding, Brazing, and Soldering, ASM International, 1993.
- [10] M. E. Wilms, V. J. Gadgil, J. M. Krougman and F. P. Ijsseling, Effect of σ -phase precipitation at 800 °C on the corrosion

- resistance in sea-water of a high alloyed duplex stainless steel, *Corrosion Science*, Vol. 36, No. 5, pp.871-881, 1994.
- [11] 蘇程裕、周長彬、吳柏成、劉茂賢, 真空硬鐸的原理與應用, *工業材料*, Vol. 120, pp. 58, 1996.
- [12] 林韋廷, 真空硬鐸製程和不同填料對 WC-Co 與 CrMo 合金鋼真空硬鐸件特性之影響, 碩士論文, 大同大學, 2009.
- [13] W. B. Lee, B. D. Kwon, S. B. Jung, Effect of bonding time on joint properties of vacuum brazed WC-Co hard metal/carbon steel using stacked Cu and Ni alloy as insert metal, *Materials Science and Technology*, Vol.20 , pp. 1474-1478, 2004.
- [14] W. B. Lee, B. D. Kwon, S. B. Jung, Effect of Cr_3C_2 on the microstructure and mechanical properties of the brazed joints WC-Co and carbon steel, *International Journal of Refractory Metal & Hard metals*, Vol.24, pp. 215-221, 2006.
- [15] M. Uzkut, N. S. Koksai, B. S. Unlu, The determination of diffusion in connecting SAE 1040/WC material by brazing, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.169, pp. 409-413, 2005.
- [16] 春保鎢鋼公司碳化鎢合金特性值表
- [17] ASM, *Metals Handbook*, Volume 3 Alloy Phase Diagrams, p. 313, 1992.
- [18] Liu-Ho Chiu, Hsin-Fu Wang, Chia-Pao Huang, Ching-Tsung Hsu, and Tsung-Chi Chen, Effect of Brazing Temperature on the Microstructure and Property of Vacuum Brazed WC-Co and Carbon Steel Joint, *Advanced Materials Research*, Vols. 47-50, pp. 682-685, 2008.
- [19] Liu-Ho Chiu, Hsin-Fu Wang and Heng Chang, Effect of Tin Content on the Microstructure and Property of Brazed WC-Co/CrMo Alloy Steel Joints, *Advanced Materials Research*, Vols. 47-50, pp. 596-599, 2008.
- [20] 邱六合, 林韋廷, 王信富, 銅錫合金填料對碳化鎢與 SCM440 鋼材硬鐸接合件之影響, 中國礦冶工程學會論文, 2008.