

退火處理冷卻速率對 SKH9 高速工具鋼

碳化物析出之影響

The Effect of Cooling Rate of Heat Treatment on Carbide Precipitation in SKH9 High-speed Steel

林子堯^a 黃維彬^b 林東毅^{a,b} 楊勝閔^b

^a國立高雄大學化學工程及材料工程學系 ^b國立高雄大學扣件及鋼鐵技術研究中心

Tzu-Yao Lin^a, Wei-Ping Huang^b, Dong-Yih Lin^{a,b}, Sheng-Min Yang^b

a Department of Chemical and Materials Engineering, National University of Kaohsiung

b Fastener & Steel Research Center, National University of Kaohsiung

摘要

熱處理製程之冷卻速率對工具鋼之材料特性影響甚鉅，因此，本研究針對熱處理冷卻速率對 SKH9 高速工具鋼(或稱為 M2)之碳化物析出之影響作探討。實驗過程將試片材料加熱至 1200°C 後，持溫 150 秒，爾後分別以水淬、油淬、空冷三種不同的冷卻速率將試片冷卻至室溫，實驗後，利用光學顯微鏡(OM)、掃描式電子顯微鏡(SEM)分析其顯微組織以及碳化物之析出型態，並透過洛氏硬度計輔以探討碳化物形態與材料機械強度之關係。

實驗結果顯示材料經熱處理後，析出之碳化物以碳化釩及碳化鎢為主，另外，冷卻速率對碳化物之析出位置及分佈亦有明顯的影響；空冷試片的碳化物集中在晶界，而水淬及油淬之碳化物卻無特別的趨勢。從硬度試驗結果發現空冷試片的洛氏硬度為 72.0 HRC，油淬為 71.8HRC 及水淬為 72.5HRC。

關鍵詞：SKH9 高速工具鋼、M2、冷卻速率

學

1.前言

高速工具鋼主要用於製造高效率的切削工具，具有紅硬性高及機械强度高之特性，高速工具鋼在熱處理後的使用硬度可達 HRC63 以上⁽¹⁾。高速工具鋼的主要合金成分有鎢、鉬、鉻、釩等，其主要的特徵之一是含有大量的碳化物。鑄態高速工具鋼中的碳化物是為共晶碳化物⁽²⁾，熱處理後碳化物會固溶再析出，工具鋼在加熱過程中碳化物的基本型態隨溫度由 $Fe_3C \rightarrow M_2C \rightarrow M_6C + MC$ 變化⁽³⁾，而碳化物對高速工具鋼的強度與耐磨性影響甚大。碳化物的數量、類型與高速工具鋼的化

成分有關，而鎢、鉬是高速工具鋼的主要合金元素，對於鋼的硬化機制及其他性能起重要作用。

目前業界所使用工具鋼當中，以 SKH9 鋼材為大宗，目前在市面上廣為使用，主要因為它的硬度極高，使之備受青睞，這些優異的機械性質與材料中的碳化物分布及型態有著密不可分的關係，本研究將探討不同的淬火冷卻速率下之 SKH9 鋼材中碳化物的析出，藉以釐清熱處理過程中之冷卻速率與碳化物析出、分布的關係。

Table 1. The chemical composition of SKH9 sample.

	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	V	W	Fe
wt%	0.894	0.694	0.289	0.301	4.170	4.840	1.654	5.750	59.660

2. 實驗方法與步驟

2.1 實驗材料

本實驗所用材料為商用SKH9板材，其化學成分經ICP分析後如Table 1所示。

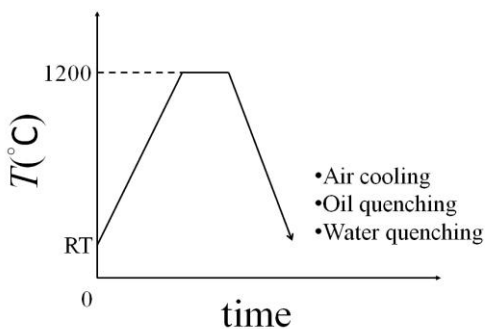


Fig.1 Schematic diagram of heat treatment process.

2.2 實驗步驟

首先將未經處理之原試片裁切成 10mm*10mm*6mm 之大小，爾後再把試片放入箱型加熱爐中，開始升溫(熱處理程序如 Fig.1)，升溫至 1200°C 持溫 150 秒後，分別以空冷、油淬、水淬方式冷卻至室溫，試片表面以 SiC 砂紙(80#、180#、240#、400#、600#、800#、1000#、1200#、1500#)研磨後，並以 1 μ 鑽石拋光液進行鏡面拋光處理，金相則利用 4%Nital 腐蝕液蝕刻。將處理完之試片以 OM、SEM 觀察碳化物型態及分佈，

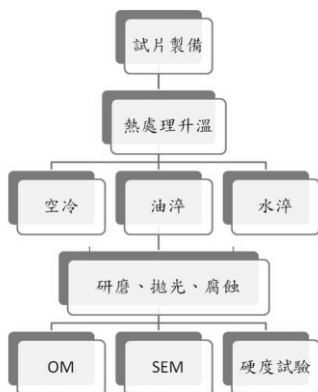


Fig.2 Experimental procedure.

並以 SEM-EDS 分析碳化物的元素含量，藉以瞭解碳化物的組成，最後，再利用洛氏硬度試驗機測試試片硬度。實驗流程圖如 Fig.2 所示。

3. 結果與討論

Fig.3 為原試片之顯微組織，鋼材在未經熱處理前，碳化物型態大部分呈現球狀，但大小則不一。

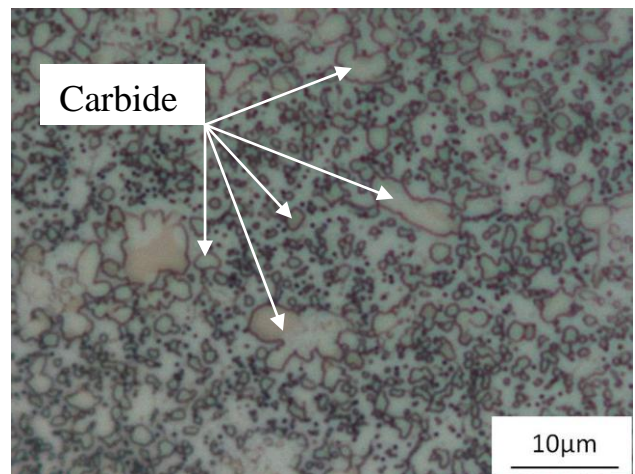


Fig.3 Metallographic of OM of specimen without H.T..

鋼材分別以空冷、油淬、水淬三種冷卻方式淬火後，顯微組織如 Fig.4 所示。Fig.4(a)、(c)、和(e)為空冷、油淬、水淬的金相，發現到在三種冷卻速率下，鋼材內的碳化物都有團聚的現象發生，此乃因為在試片加熱至高溫時，碳化物會開始發生固溶的現象，但是由於合金碳化物於沃斯田鐵相的溶解度有限，加上原本試片中的碳化物溶解溫度均較高，在此熱處理溫度及持溫時間下，尚無法完全固溶，造成在加熱時碳化物除了固溶進入基相外還會發生聚集，用以降低碳化物的表面能，因此使碳化物變成區域性的團聚狀⁽⁴⁾。

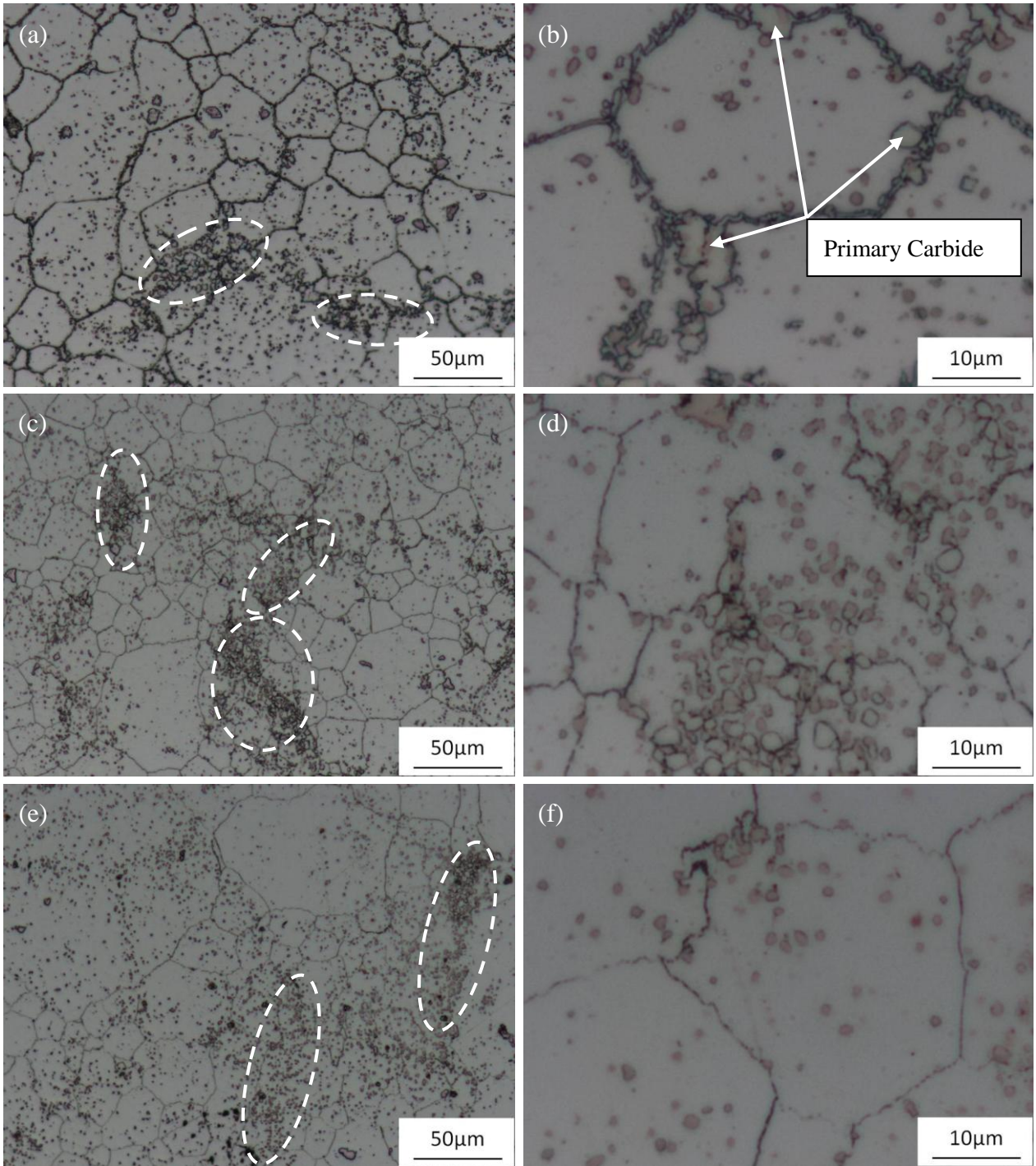


Fig.4 Metallographic of OM (a)and(b)are by air cooling, (c)and(d)are by oil quenched, (e)and(f)are by water quenched.

Fig.4(b)、(d)、及(f)為高倍率的組織觀察，從低倍率照片中發現碳化物在三種試片中皆有區域性大量集中的現象(虛線圓圈處)，且在碳化物聚集的區域，其晶粒明顯小於其他碳化物未大量聚集的區域。而從高倍率 OM 下觀察，於空冷試片中，碳化物大多集中在其晶界，大的片狀碳化物應為未完全固溶之起始碳化物(Primary Carbide)，經淬

火析出的碳化物型態以細小球狀和條狀為主，而大的片狀碳化物多存在於晶界的交界處。油淬試片中，相較於空冷試片晶界沒有發現明顯的析出物，但大的片狀碳化物一樣位於晶界的交界處。水淬試片中顯示，幾乎只有細小球狀的褐色碳化物出現。

在空冷試片中可以觀察到，細小的碳化物大

致分為 2 種，(1)在晶界上的條狀碳化物，析出成核方式為異質成核；(2)在晶粒中的褐色球狀碳化物，析出方式為均質成核，推測此現象應與冷卻速率造成的過飽和度有關。

Fig.5 為三種冷卻速率下試片的微觀組織。從 Fig.5a 發現碳化物佈滿晶界，在 Fig.5b 中晶界上的碳化物大量減少，但從觀察過程中還是可以看到部分細微的碳化物於晶界上呈現白色的亮點(箭頭處，更明顯放大圖如 Fig.8(a))，而 Fig.5(c)的金相照片已不見晶界中之細小碳化物。

以上結果顯示，淬火冷卻速率明顯影響碳化物的析出行為。當冷卻速率越快，會有越大的過飽和度，過飽和度會影響溶質原子成核的模式⁽⁵⁾。當冷卻速率慢，如空冷，溶質原子有足夠時間進行擴散，而異質成核相較於均質成核來的容易得多，所以碳化物多在材料晶界或缺陷處析出。冷卻速率快時，過飽和度大，材料內部有利於形成均質成核，甚至因為冷卻太快，使得溶質原子來不及成核便會有幾乎沒有碳化物析出的現象發生，如水淬。而油淬介於其中，雖有一定過飽和度但是不足，造成先行異質成核，待到溫度夠低時剩餘在晶粒中的溶質原子方才均質成核⁽³⁾。另從 SEM 照片中發現晶粒內部有被包覆住的突起物，在進一步以 SEM-EDS 進行顯微組織的成分分析，其結果如 Table 3 所示，且經與 Table 2 比對後發現，(a)點為 MC 碳化物，(b)點為基地相。Fig.8 為油淬試片的 SEM 和 BSE 照片，EDS 分析結果如 Table 3 中之(c)、(d)、(e)、(f)。BSE 照片較亮的碳化物表示其組成的元素原子序較大，所以就試片的成分可以推知，較亮部分可能含有較多鎢(W)和鉬(Mo)，較暗的部分可能含有釩(V)。EDS 成分分析結果也顯示在 SEM 照片中顏色偏暗色的碳化物成分中富含釩和些許的鎢及鉬，所以應屬於 MC 結構，如(a)、(c)、(e)、(f)點。而另外顏色偏亮的結構中鐵、鎢及鉬含量較高，比對 Table 2 後，其成分符合 M_6C 成分比例。

洛氏硬度試驗結果如 Table 4 所示。從結果中發現三者硬度並無明顯差異。

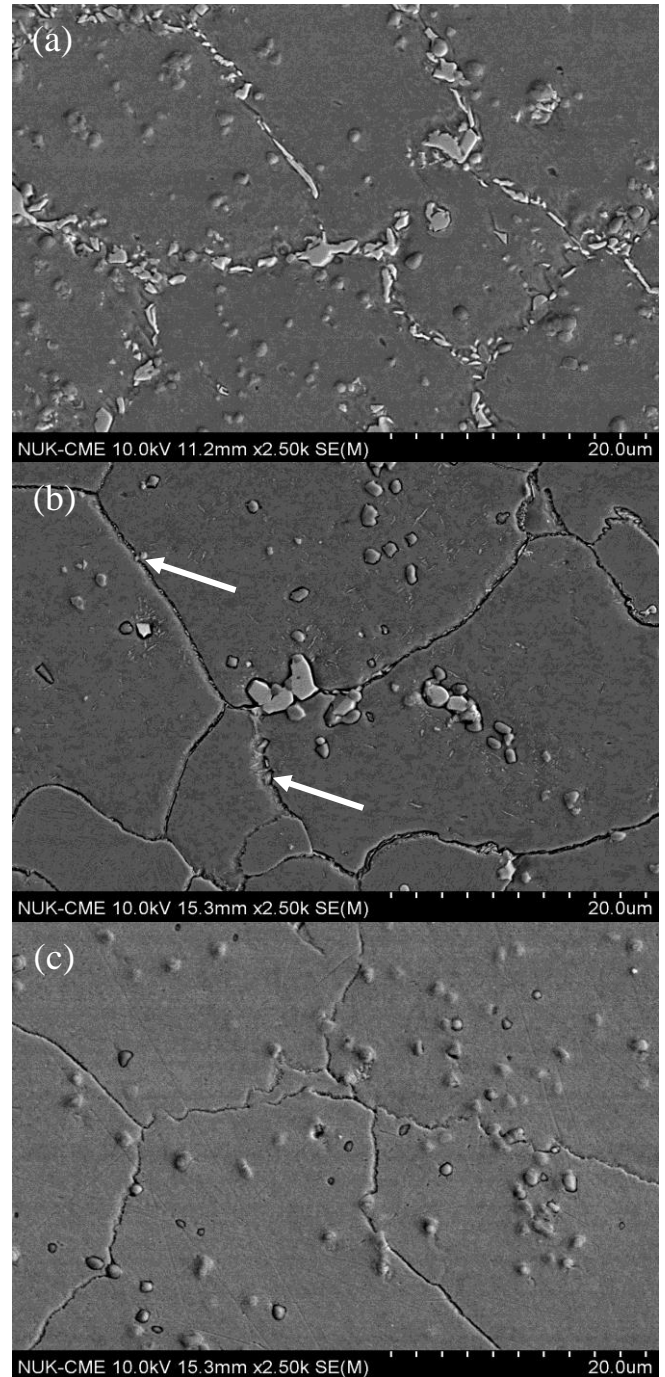


Fig.5 Metallographic of SEM(a)air cooling,(b)oil quenched,(c)water quenched.

Table 2 Average chemical composition of carbides presented in high-speed steel. ⁽⁴⁾

(wt%)	W	Mo	V	Cr	Fe
M₆C	33.9 ± 3.9	23.8 ± 2.6	3.8 ± 0.9	4.3 ± 0.7	32.5 ± 1.3
M₂C	42.0 ± 6.6	28.9 ± 5.9	13.6 ± 1.3	6.8 ± 0.9	5.1 ± 2.6
MC	19.9 ± 6.7	12.7 ± 3.3	49.2 ± 5.2	4.2 ± 2.0	3.1 ± 1.8

Table 3. The result of EDS analysis.

(wt%)	C	W	Mo	V	Cr	Fe
a	4.73	9.36	10.32	59.09	6.18	9.98
b	1.15	4.95	3.24	1.39	3.86	83.12
c	7.38	6.24	7.16	70.65	4.46	4.10
d	3.17	30.27	20.96	3.63	2.90	39.08
e	5.77	5.74	7.12	50.39	3.10	27.89
f	6.45	11.78	11.18	53.47	6.06	11.06

Table 4. The result of Rockwell hardness test.(HRC)

	1 st	2 nd	3 rd	Avg.
Air	71.5	72.3	72.1	72.0
Oil	71.2	72.0	72.1	71.8
Water	72.5	72.4	72.5	72.5

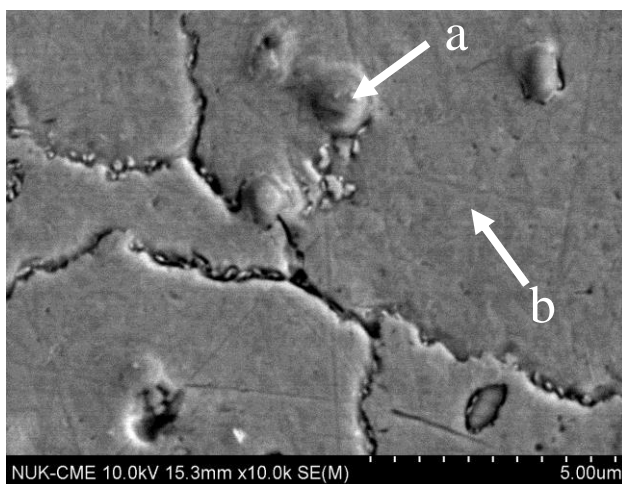


Fig.7 Metallographic of SEM of water quenched

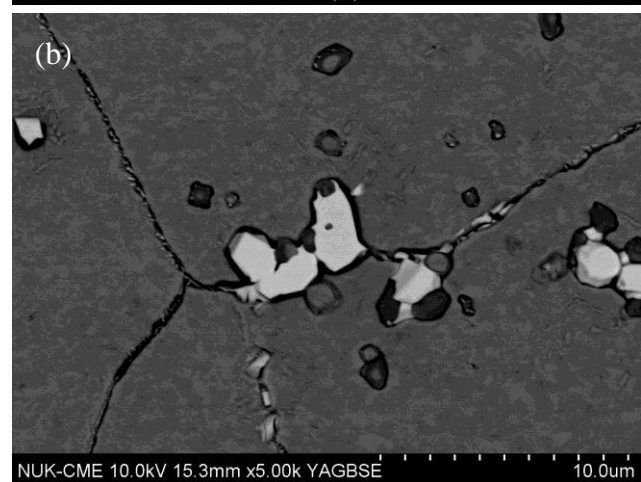
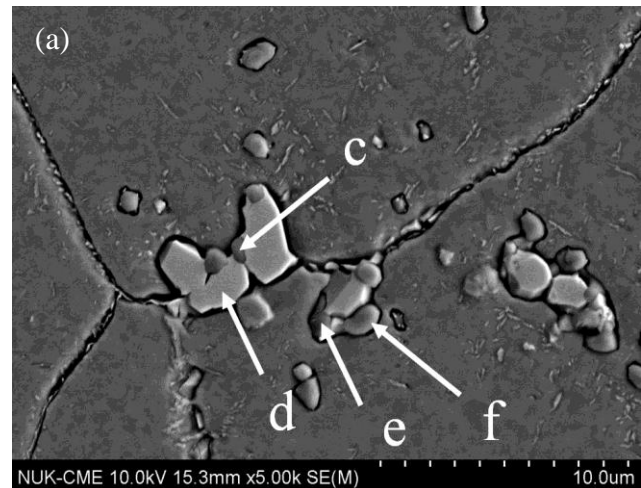


Fig.8 Metallographic of SEM of oil quenched

(a)SEM,(b)BSE

4.結論

本研究針對 SKH9 鋼材經不同冷卻速率淬火後，其碳化物析出及顯微組織的影響作探討。結果說明 SKH9 鋼材在淬火後析出的碳化物以 M_6C 及 MC 為主。冷卻速率越慢，碳化物集中分佈在晶界，隨著淬火速度增快，晶界中的碳化物析出量將變少。從硬度試驗結果發現不同冷卻速率對 SKH9 鋼材之硬度影響不明顯。

5.參考資料

- (1) 機械工程手冊電機工程手冊編輯委員會：鋼材料，五南，2002, pp.231-233。
- (2) M. R. GHOMASHCHI, The Morphology of Eutectic Carbides in M2-Grade High Speed Steel, METALLURGICAL TRANSACTIONS A. VOLUME 16A, DECEMBER, 1985, pp.2341-2342.
- (3) R.W.K. Honeycombe, H.K.D.H. Bhadeshia: Steels Microstructure and properties (Second edition), ISBN 0-340-58946-9, Elsevier, 1995.
- (4) M. M. Serna, An Overview of the Microstructures Present in High-Speed Steel -Carbides Crystallography, Materials Science Forum, Vol. 530-531, 2006, pp.48-52.
- (5) Reza ABBASCHIAN, Lara ABBASCHIAN, Robert E. Reed-Hill, Physical Metallurgy Principles, SI, Cengage Learning, 2010, p.378, pp.516-517.