

起子頭用鋼表面淬硬不穩定之形成機制

Mechanism of Surface Hardness Instability For Steel Bits After Quenching

張恆碩* 林宜穎** 郭瑩澤**

Herng-Shuoh Jang* Yi-Ying Lin** Ying-Che Kuo**

*中鋼公司-鋼鐵研究發展處-鋼鐵產品開發組 **鋼板條線品管組

摘要

硬度是起子頭最基本之機性要求之一。國內部分手工業者採強韌性俱佳的60SiCrV彈簧鋼來產製起子頭，但起子成品的表面硬度常常會發生不穩定的現象，檢視熱處理前之球化線材又無發現明顯脫碳之組織，造成鋼廠、線材加工廠及起子熱處理廠在訴賠權責上難以界定。透過本研究發現，60SiCrV鋼的Ac3變態點恰處於業者施以熱處理的沃斯田鐵化溫度範圍，因此起子表面若存在碳當量不足的区域，這些區域將無法完全沃斯田鐵化，造成淬火硬度偏低的現象。為改善此現象建議可拉高前段爐溫或是採碳含量較高的鋼種，以避免沃斯田鐵化不完全的組織出現。

關鍵字：起子、60SiCrV、硬度、脫碳

Abstract

Hardness is one of the most basic demand for the mechanical properties of steel bits. Parts of hand tool manufacturers use spring steel 60SiCrV with its better strength and toughness to produce bits, but hardness of the bit surface is often instable for products. There is no obvious decarburized microstructure found on the surface of spheroidized wire when inspecting. As a result, it is difficult to judge who must be responsible for the indemnification among steel company, wire rope manufacturing company and

heat treated company. This research has found that the transformation point Ac3 of 60SiCrV is located near the heat treating temperature for austenitizing. Therefore, some spots of bit surface will be unable to austenize entirely in where the carbon equivalent is insufficient and the hardness will be lower after quenching. To improve the phenomenon, it is suggested that increasing austenizing temperature in former section of the furnace or adding higher carbon content in the steel will prevent the microstructure from occurring incomplete austenization.

1. 前言

台灣為國際著名之手工工具製造王國，常為國際知名手工工具大廠代工製造。由於國際手工工具大廠對於產品特性之需求相當嚴苛，再好的鋼料若沒有透過適當的熱處理，往往容易產製出硬度不均，特性不佳的產品，以致無法滿足客戶之需求。其中，Cr-V鋼為手工工具常見用鋼，也是起子類用鋼最常用的鋼種。中鋼生產之60SiCrV鋼種，原為熱捲彈簧用之鋼種，由於具有高抗扭高強度的特性，因此由中鋼推廣，亦被國內部分手工業者用於螺絲起子的製造。

螺絲起子的blade製程，基本上為：盤元→球化→抽線→車削加工→熱處理→電鍍，而

熱處理後的產品特性則必須量測起子的表面硬度及扭力值。其中，硬度為最基本的特性要求，也是最容易評判產品是否符合要求的特性，常見的 6150 鉻釩鋼硬度約為 HRC54，而 60SiCrV 則約 HRC56。由於客戶端反應，採 60SiCrV 六角棒所產製的螺絲起子，硬度無法穩定滿足 HRC56±2 之需求，雖然有些批量的起子表面硬度可滿足硬度需求，但仍有部份批量的起子表面硬度僅 HRC46，顯示產品特性不穩定，對於製程品管來說，將造成出貨的困擾。問題的成因若不加以釐清，則難以使鋼廠、線材球化廠及起子熱處理廠在訴賠的權責上加以界定。

為了釐清 60SiCrV 起子用鋼表面硬度發生不穩定的原因，茲安排相關試驗予以澄別。

2. 實驗方法

2.1 起子之加工製程

根據中鋼某手工工具廠商表示，其生產起子之主要製程為：盤元→球化→抽線→車削加工→熱處理→電鍍，其中熱處理溫度主要為 860℃，碳勢約為 0.3~0.4 之間。

2.2 熱處理展開前之起始材備料

為了比對起子表面硬度是否為球化材脫碳所引起，本次實驗準備 50 組起子頭試片，並將起子頭一切為二，頭端則由起子熱處理廠進行 QT 熱處理，尾端則留樣，藉以比對球化料與 QT 熱處理料的表面組織。

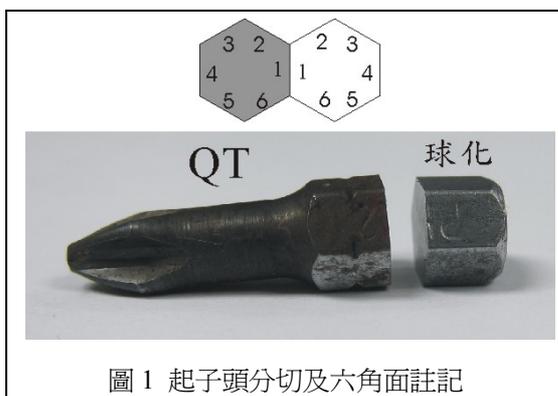


圖 1 起子頭分切及六角面註記

其中，圖 1 中每支試棒以打樣“PH.2”之六角面定義為第 1 面，其它 2~6 面之標示則如圖 1 所示。實驗過程將這 50 支起子分為 5 組，每組 10 支，其中#1 及#2 為中鋼球化材，#3~#5 為下游球化廠之球化料。

2.3 熱處理

委託國內起子業者將前述分切之起子頭的頭端進行 QT 熱處理。再者，施以不同溫度無保護氣氛之熱處理，觀察 60SiCrV 鋼材之脫碳行為。此外，研究室亦將球化材進行正常化，以進一步反推起子表面是否出現全脫碳層。

2.4 膨脹儀變態點量測

將球化試棒加工為 $\varphi 3\text{mm} \times 6\text{mm}$ 試棒，利用膨脹儀量測變態點曲線。

2.5 硬度量測

將 QT 熱處理後之 6 面試棒隨機磨除 3 面，再利用洛氏硬度試驗機，隨機量測起子試棒之六角面經磨除及未磨除表面之硬度 (採 HRC)。

2.6 金相組織觀察

利用光學顯微鏡及掃描式電子顯微鏡，針對試片進行組織觀察。

3. 結果與討論

3.1 硬度試驗

表 1 為 5 組試驗材，每組試驗材分切後，起子頭端採 QT 熱處理後，表面經隨機研磨與不研磨，再以洛氏試驗機量測之 HRC 硬度。試驗結果顯示，不管採中鋼球化材或下游球化廠之球化材，經 QT 熱處理後，未研磨試片之表面硬度約有 6 成不符合 HRC56±2 之需求。而經研磨後，仍有部分試片之次表面硬度無法滿需求，然中鋼球化料較下游球化廠為佳，但仍無法滿足客戶製程穩定之需求。

表 1 五組球化材經起子熱處理廠熱處理後之硬度

加工	#1 組		#2 組		#3 組		#4 組		#5 組	
	未研磨	研磨								
1	53.9 ⁶	56.5 ²	48.9 ⁶	50.0 ⁵	56.1 ⁶	54.6 ²	55.5 ⁵	55.7 ⁶	48.3 ⁶	49.5 ⁵
2	54.7 ⁶	56.2 ⁵	48.4 ³	51.7 ⁵	57.2 ²	55.3 ⁶	57.0 ²	54.7 ⁶	50.1 ⁶	51.1 ²
3	53.1 ⁶	56.4 ⁵	54.5 ⁶	56.4 ²	55.8 ²	52.0 ⁶	52.3 ²	48.5 ⁶	52.6 ⁶	56.1 ²
4	55.0 ⁶	56.9 ²	55.1 ⁶	56.1 ⁵	56.7 ²	54.2 ⁶	56.4 ²	53.4 ⁶	53.2 ⁶	56.7 ⁵
5	52.9 ⁶	56.4 ²	53.7 ²	55.1 ⁶	56.0 ⁵	54.4 ⁶	56.3 ⁵	54.6 ⁶	50.5 ²	52.3 ³
6	54.5 ⁶	56.2 ²	46.2 ⁴	49.3 ⁵	56.2 ²	53.1 ⁶	53.0 ⁵	51.2 ⁶	52.7 ⁶	56.4 ⁵
7	53.9 ⁶	55.9 ⁵	53.9 ⁶	56.2 ²	51.9 ⁵	51.2 ⁶	52.1 ³	49.4 ²	52.0 ⁶	56.5 ²
8	53.7 ⁶	55.1 ²	54.8 ⁶	56.3 ²	55.6 ²	54.2 ⁶	54.6 ²	51.3 ⁶	54.0 ⁶	55.7 ²
9	52.1 ⁶	54.6 ⁵	52.5 ⁶	56.4 ²	50.0 ²	48.1 ⁶	52.1 ⁵	47.1 ⁶	52.0 ⁶	54.2 ⁵
10	46.6 ⁶	54.1 ²	55.6 ⁶	56.0 ⁵	53.9 ²	53.5 ⁶	56.0 ⁵	54.6 ⁶	53.7 ⁶	56.2 ⁵

3.2 60SiCrV 於不同溫度之脫碳行為

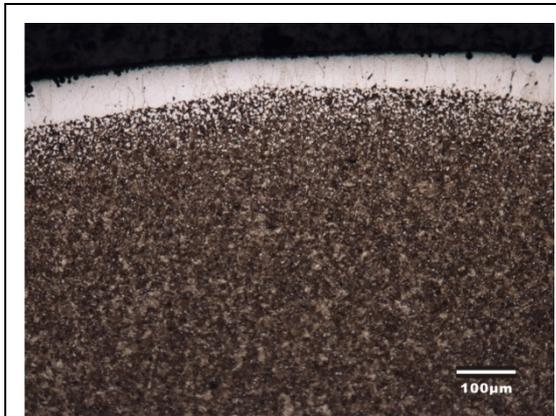


圖 2 850°C 反應 20 分鐘



圖 3 900°C 反應 20 分鐘

圖 2 及圖 3 為 60SiCrV 鋼材在無保護氣氛下，分別在 850°C 及 900°C 反應 20 分鐘的表面組織，顯示 60SiCrV 在 850°C 反應，若無適當的碳勢保護，試片表面的脫碳程度會高於 900°C 反應者。這是由於越高溫，二相區的肥粒鐵體積百分比會降低，沃斯田鐵相會增加，因為

沃斯田鐵相的固溶碳分率遠高於肥粒鐵，因此當加熱溫度超過 Ac3 溫度時，且有適當碳勢保護，當碳充分固溶在表面基地，將可避免脫碳層的產生。

3.2 60SiCrV 球化材之正常化

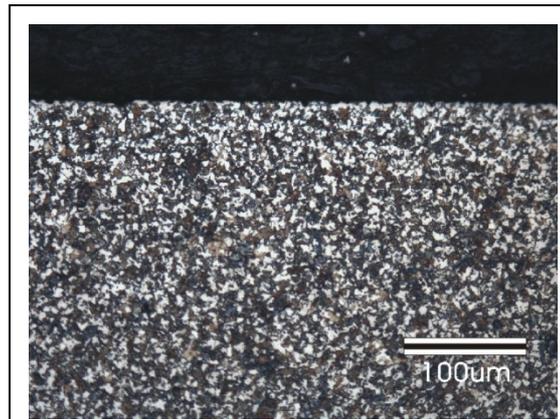


圖 4 中鋼球化材施以正常化

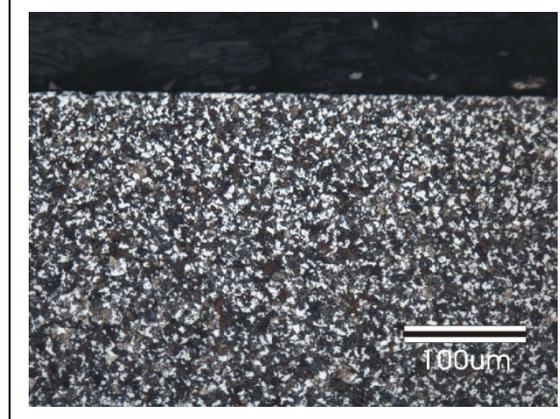


圖 5 下游球化廠球化材施以正常化

圖 4 及圖 5 分別為中鋼及下游球化廠的球化料施以正常化的組織，顯示為波來鐵+肥粒鐵之混合組織。由此反推，二者之球化料並無全脫碳之組織，因全脫碳層須更高的溫度使組織轉變為完全沃斯田鐵，基地方始有固溶碳的能力，組織冷卻後才能獲得肥粒鐵+波來鐵的混合組織。

3.3 60SiCrV 之球化材組織

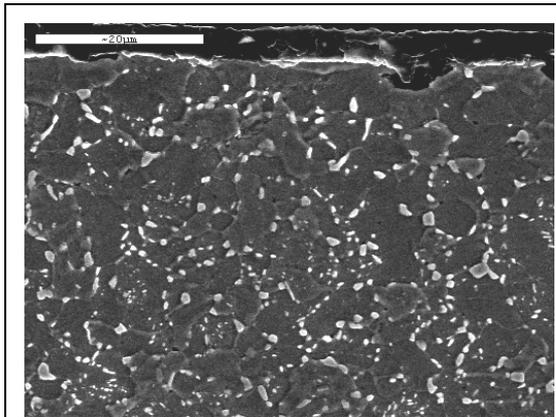


圖 6 60SiCrV 球化材表面(SEM)

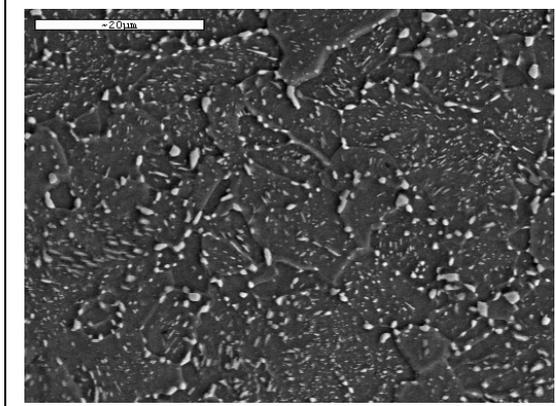


圖 7 60SiCrV 球化材心部(SEM)

圖 6 及圖 7 分別為以掃描式電子顯微鏡觀察 60SiCrV 球化材表面及心部的顯微組織。其中圖 6 顯示，球化材表面雖未有全脫碳層組織，但約在 10~20um 深度，球化顆粒的密度略低於圖 7 顯示之心部組織。然而以光學顯微鏡觀察，大部分的區域則如圖 8 所示，球化材表面與心部的碳顆粒密度並無明顯差異，這也是導致球化業者常認定自己本身球化料的組織並

無異常的原因，但卻常發生表 1 所示起子頭表面硬度不穩定的現象。顯示起子表面硬度不穩定很難由光學顯微組織影像中找到明顯的對應關係。

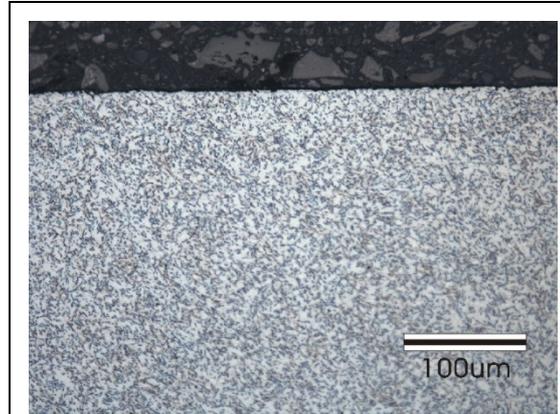


圖 8 60SiCrV 球化材表面(OM)

圖 9 為 8mm 盤元抽製為 1/4" 六角棒之截面示意圖。圖中顯示，有些區域伸線加工量較大，有些區域則較輕。對於 8mm 球化盤元而言，表面勢必有些區域的碳含量遠較心部為低，有些區域則與心部相近。這些分布不同碳含量的盤元表面，經過不同加工量的抽製，自然導致六角棒不同區域會有不同碳顆粒密度分佈的差異。而這也是造成熱處理過後，硬度發生不穩定的起始原因之一。

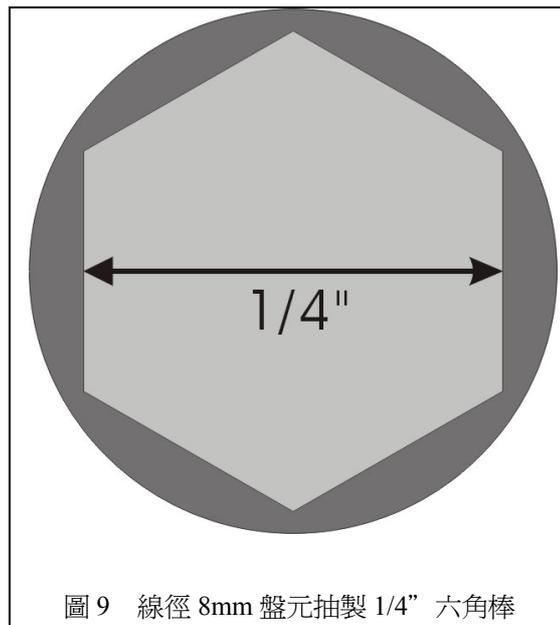


圖 9 線徑 8mm 盤元抽製 1/4" 六角棒

3.4 變態點量測

利用膨脹儀量測 60SiCrV 之 Ac3 變態點，實驗結果如圖 10 所示，本試樣之 Ac3 變態點約為 866°C。根據實驗經驗，不同爐號成分略微差異之 60SiCrV 鋼材，其 Ac3 變態點大約落在在 830°C~860°C 之間為主。這個實驗結果顯示，對於碳成分下限鋼種，Ac3 點會升高，相同地，表面碳當量較低的區域，其 Ac3 點會高於 860°C 之作業溫度，進而導致沃斯田鐵化過程，這些碳當量較低的區域仍處在二相區，而二相區的肥粒鐵因固溶碳的能力較低，即使透過滲碳氣氛，亦無法強化表面基地。

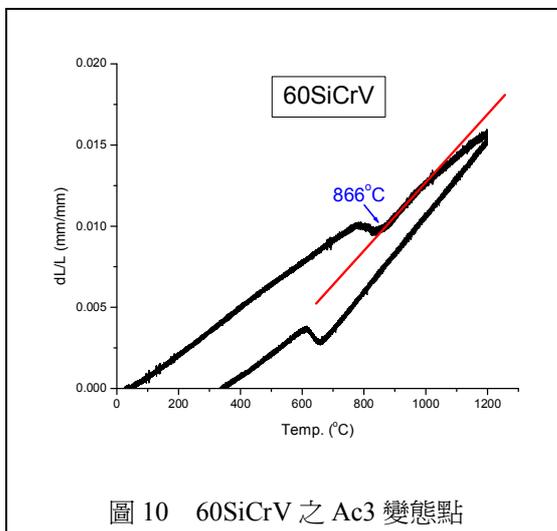


圖 10 60SiCrV 之 Ac3 變態點

3.5 熱處理

由圖 11 可得知起子熱處理廠在對起子施以沃斯田鐵化作業所採取之加熱方式主要是採階梯狀加熱方式，而 860°C 則為主要的沃斯田鐵化作業區，該溫度必須將組織脫離兩相區，並進入單一沃斯田鐵區，才能獲得合金充分固溶，溶質元素分佈較均勻的組織型態。必須注意的是，實際沃斯田鐵化作業，爐子的溫度是有變異的，也就是設定 860°C 的爐溫，實際的溫度有可能落在 855°C~865°C 之溫度區間。而這溫區剛好落在 60SiCrV 鋼材的 Ac3 變態點附近。若起子表面存在碳當量不足的区域便很容易發生二相區的相變化。

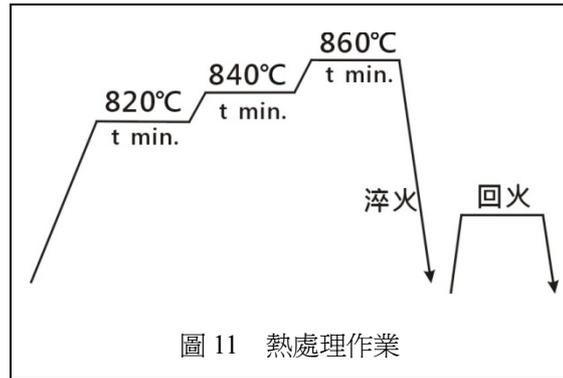


圖 11 熱處理作業

圖 12 為 60SiCrV 之二相示意圖，圖中顯示，860°C 的作業溫度對 60SiCrV 而言是在二相區與沃斯田鐵化區的臨界變態溫度，尤其當碳顆粒密度較小區域，碳含量 < 0.6% 之區域，當試片置於 860°C 加熱，這些碳含量較低的區域因為還在二相區，無法充分沃斯田鐵化，儘管加熱爐有碳勢氣氛保護，但仍無法對二相區的肥粒鐵具有滲碳的能力，因此 QT 後很容易形成圖 13 之肥粒鐵+麻田散鐵混合組織。

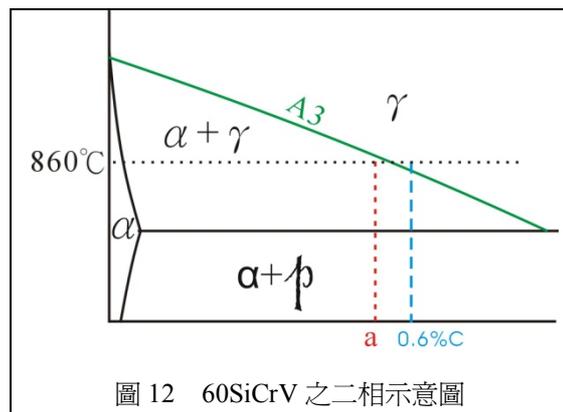


圖 12 60SiCrV 之二相示意圖

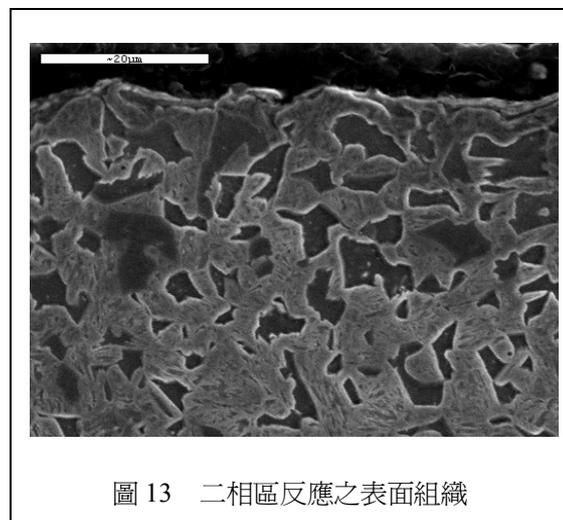


圖 13 二相區反應之表面組織

3.5 起子表面硬度不穩定的形成機構

透過光學顯微鏡並不易鑑別出球化碳顆粒密度的差異，而這些碳顆粒分布密度卻是影響熱處理硬度是否滿足需求的關鍵，主因在於 860°C 的作業溫度是 60SiCrV 的 Ac3 變態點附近，碳含量將是攸關材料是否發生完全沃斯田鐵變化的關鍵。由於不同爐號，不同成分，平均變態點大約落在 830°C~860°C 之間，由於六角棒在伸線過程，截面的加工量不一樣，盤元原始的球化顆粒密度分佈也不一，因此會造成有些區域的碳當量剛好可滿足完全相變態，有些區域則因碳當量過低，導致 860°C 的加熱溫度仍存在二相區。這也就是起子經淬回火後，起子表面硬度出現不穩定的原因。

因此，在球化材表面顆粒密度難免低於心部碳顆粒密度的情況下，脫離二相區加熱是起子表面硬度是否足夠之關鍵。建議可將圖 11 第一階段的爐溫升高至 870°C~880°C，讓起子表面碳含量較低的區域升溫超過變態點，產生單一沃斯田鐵相，隨後再將溫度拉回 840°C 及 860°C，讓起子內部維持既有的加熱作業方式，以避免升溫導致晶粒粗化，韌性降低。此外，宜供應碳含量偏上限鋼種，以降低 Ac3 溫度，避免變態溫度過於接近 860°C 作業溫度。

4. 結論

- (1) 起子表面硬度不穩定主要為 60SiCrV 之沃斯田鐵變態溫度相當接近客戶熱處理溫度。當盤元球化顆粒密度偏低，則容易形成兩相區反應，導致硬度偏低。
- (2) 建議中鋼提供碳含量上限之鋼種，可避免變態溫度過於接近客戶 860°C 之作業溫度。
- (3) 可拉高第一區爐溫，使表面低碳含量區完全沃斯田鐵化，避免進入二相區熱處理。

5. 致謝

感謝該手工具廠提供相關之試樣與實驗數據回饋，因商業機密關係，則不便透漏公司名稱。

透過此次的合作關係，再次證明中鋼高層決定將研發單位走向 2.5 級產業之決心。透過服務增值的方式，使中鋼鋼料能以最佳的特性落實在客戶端產品之生產。

