

# 特殊合金扣件熱處理

文 / Daniel H. Herring

## 使用特殊扣件的理由

材料的性能是至關重要的，如圖1所示，扣件材料的選用須足以應付常態需求及極端需求，而這也是特殊扣件與標準件的區別。



圖1、非常態類型合金扣件的關鍵性能應用：噴射引擎  
(圖片提供：性能審核研究中心)

## 什麼是特殊扣件？

特殊扣件，是一種應用性能考量高於成本考量的扣件。機械、物理和冶金性能比標準扣件涉及的性能更嚴格。仰賴「特殊扣件」以發揮作用的設備和產業有發電(例如燃氣渦輪機、近海發電功能平台)、紙漿造紙廠以及電子設備。

在航太領域應用，像是飛機、旋翼飛機、太空，專用扣件使用在外部、內飾、航空電子和飛行系統，如起落架，產品包括有蓋螺釘、鉚釘、供氣彈簧、翻蓋式彈性聯軸器、快放銷、張力門以及望遠鏡伸縮滑軌。在汽車領域，舉凡跑車、一般車、越野車、重卡，扣件和夾緊裝置常見於引擎發動機、車身和次要系統。

## 合金扣件材料

設計超高強度(超高性能)扣件在材料選擇方面涉及一些特有的挑戰。這類型扣件的螺紋根部經常處於高度應力集中的狀態(高度夾緊載荷所導致的拉伸應力)，可能造成疲勞的任何荷載都強加其上。為了因應這些挑戰，設計師往往選擇那些歸類為『非常態類型』的合金材質，主要取其化學性質以及高溫條件下(表1)的性能。

表1、特殊扣件非常態類型合金的類別

| 類別 | 合金               | 例子  |
|----|------------------|---|
| 0  | 鋼 <sup>a</sup>   | A286  |
| 1A | 不銹鋼 <sup>b</sup> | 合金20、合金50、合金60、客製450、卡本特 [Carpenter] 21、卡本特 [Carpenter] CB3、904L、AL6XN、阿維斯塔 [Avesta] 254SMo |
| 1B | 不銹鋼 <sup>a</sup> | 13-8、17-4、17-7  |
| 1C | 不銹鋼 <sup>c</sup> | 2304、2205、2507、2707、3207、高溫合金鋼 (Ferralium) 255-SD50   |
| 1D | 不銹鋼 <sup>d</sup> | 50、60   |
| 2A | 超合金 <sup>e</sup> | B、C-276、C-2000、C-22、C-4、G、X   |
| 2B | 超合金 <sup>f</sup> | 230、HR120、HR160、ULTIMET 1233  |
| 2C | 超合金 <sup>g</sup> | 600、601、615、718、800 / 800H、825、925、X750、25-6MO  |
| 2D | 超合金 <sup>h</sup> | 沃斯帕洛合金 (Waspaloy)   |
| 3A | 鎳合金              | B2、B3、G30   |
| 3B | Monel (蒙乃爾) 合金   | 400、405、500   |
| 4  | 其他               | 鈷、鉍、鈦、鋳   |

注意事項：

[a] 沉澱硬化類 [b] 鎳-鎳-鉬合金類(添加幾種特定的合金) [c] 雙相合金和超級雙相合金類 [d] Nicronic鎳合金 [e] 哈氏合金(Hastalloy)類 [f] 美國哈氏合金國際公司(Haynes International alloys) [g] Inconel 鎳鉻合金類 [h] 其它超級合金類

## 合金化學

特殊合金(表2A-2C)的化學組成成分就是帶給這些合金獨特性能的因素，以因應特有應用上的需求。

表2A、第一類選擇-標稱合金化學成份

| 元素    | 合金20(%)            | 合金50(%)            | 客製450(%)           | AL6XN(%)           | 17-4(%)            | 17-7(%)            | 904L(%)            |
|-------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 鐵     | -                  | -                  | [c]                | [c]                | -                  | [c]                | [c]                |
| 鎳     | 32 - 35            | 11.5 - 13.5        | 5 - 7              | 23.5 - 25.5        | 3 - 5              | 6.5 - 7.75         | 23 - 28            |
| 鉻     | 19 - 21            | 20.5 - 23.5        | 14 - 16            | 20 - 22            | 15 - 17.5          | 16 - 18            | 19 - 23            |
| 鉬     | 2 - 3              | 1.5 - 3            | 0.50 - 1.0         | 6 - 7              | -                  | -                  | 4 - 5              |
| 錳     | 2.0 <sup>b</sup>   | 4 - 6              | 1.0 <sup>b</sup>   | 2.0 <sup>b</sup>   | 1.0 <sup>b</sup>   | 1 <sup>b</sup>     | 2.0 <sup>b</sup>   |
| 矽     | 1.0 <sup>b</sup>   | 1.0 <sup>b</sup>   | 1.0 <sup>b</sup>   | 1.0 <sup>b</sup>   | 1.0 <sup>b</sup>   | 1.0 <sup>b</sup>   | 1.0 <sup>b</sup>   |
| 氮     | -                  | 0.20 - 0.40        | -                  | 0.18 - 0.25        | -                  | -                  | -                  |
| 鋁     | -                  | -                  | -                  | -                  | -                  | 0.75 - 1.5         | -                  |
| 碳     | 0.060 <sup>b</sup> | 0.060 <sup>b</sup> | 0.050 <sup>b</sup> | 0.030 <sup>b</sup> | 0.07 <sup>b</sup>  | 0.09 <sup>b</sup>  | 0.02 <sup>b</sup>  |
| 硫     | 0.035 <sup>b</sup> | 0.010 <sup>b</sup> | 0.030 <sup>b</sup> | 0.03 <sup>b</sup>  | 0.030 <sup>b</sup> | 0.040 <sup>b</sup> | 0.035 <sup>b</sup> |
| 銅     | 3 - 4              | -                  | 1.25 - 1.75        | 0.75 <sup>b</sup>  | 3 - 5              | -                  | 1 - 2              |
| 鈮     | -                  | 0.10 - 0.30        | -                  | -                  | -                  | -                  | -                  |
| 磷     | 0.035 <sup>b</sup> | 0.040 <sup>b</sup> | 0.030 <sup>b</sup> | 0.04 <sup>b</sup>  | 0.040 <sup>b</sup> | 0.040 <sup>b</sup> | 0.045 <sup>b</sup> |
| 鈾     | -                  | 0.10 - 0.30        | -                  | -                  | -                  | -                  | -                  |
| 鈷 + 鉍 | [d]                | -                  | -                  | -                  | 0.15 - 0.45        | -                  | -                  |

注意事項：[a] 最小值 [b] 最大值 [c] 平衡 [d] 添加 Cb (鈷) + Ta (鉍) (8.0 × 碳% ~ 1.0%)  
<http://www.rolledalloys.com/alloys/nickel-alloys/all-20/en/>

表2B、第二類選擇 - 標稱合金化學成份

| 元素 | HR-120[%]        | HR-160[%]       | Inconel 600[%]     | Inconel 718[%]     | Inconel 925[%]     | C276[%]            |
|----|------------------|-----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 鐵  | 33 <sup>b</sup>  | <sup>2</sup> b  | 6 - 10             | [C]                | 22 <sup>a</sup>    | 4.0 - 7.0          |
| 鎳  | 37               | 37 <sup>c</sup> | 72 <sup>a</sup>    | 50 - 55            | 42 - 46            | 55.0               |
| 鈷  | 3 <sup>c</sup>   | 29              |                    | 1.00 <sup>b</sup>  | -                  | 2.5 <sup>b</sup>   |
| 鉻  | 25               | 28              | 14 - 17            | 17 - 21            | 19.5 - 22.5        | 14.5 - 16.5        |
| 鉬  | 2.5 <sup>c</sup> | 1 <sup>c</sup>  | -                  | 2.8 - 3.3          | 2.5 - 3.5          | 15 - 17            |
| 鎢  | 2.5 <sup>c</sup> | 1 <sup>c</sup>  | -                  | -                  | -                  | 3.0 - 4.5          |
| 鈳  | 0.7              | 1 <sup>c</sup>  | -                  | -                  | -                  | -                  |
| 錳  | 0.7              | 0.50            | <sup>1.0</sup> b   | 0.35 <sup>b</sup>  | <sup>1.0</sup> b   | <sup>1.0</sup> b   |
| 矽  | 0.6              | 2.75            | 0.5 <sup>b</sup>   | 0.35 <sup>b</sup>  | 0.5 <sup>b</sup>   | 0.08 <sup>b</sup>  |
| 氮  | 0.20             | -               | -                  | -                  | -                  | -                  |
| 鋁  | 0.1              | -               | -                  | 0.20 - 0.80        | 0.1 - 0.5          | -                  |
| 碳  | 0.05             | 0.05            | 0.15 <sup>b</sup>  | 0.08 <sup>b</sup>  | 0.03 <sup>b</sup>  | 0.010 <sup>b</sup> |
| 硼  | 0.004            | -               | -                  | 0.006 <sup>b</sup> | -                  | -                  |
| 鈦  | -                | 0.5             | -                  | 0.65 - 1.15        | 1.9 - 2.4          | -                  |
| 硫  | -                | -               | 0.015 <sup>b</sup> | 0.015 <sup>b</sup> | 0.030 <sup>b</sup> | 0.030 <sup>b</sup> |
| 銅  | -                | -               | 0.50 <sup>b</sup>  | 0.30 <sup>b</sup>  | 1.5 - 3.0          | -                  |
| 銱  | -                | -               | -                  | 4.75 - 5.50        | 0.5 <sup>b</sup>   | -                  |
| 磷  | -                | -               | -                  | 0.015 <sup>b</sup> | -                  | 0.04 <sup>b</sup>  |
| 鈳  | -                | -               | -                  | -                  | -                  | 0.35 <sup>b</sup>  |

注意事項：[a] 最小值 [b] 最大值 [c] 平衡

表2C、第三類選擇 - 標稱合金化學成份

| 元素 | B2[%]              | B3[%]              | G30[%]             | Monel 400[%]       | Monel K500[%]      |
|----|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 鐵  | 2.0 <sup>b</sup>   | 1.0 - 3.0          | 13 - 17            | 2.5 <sup>b</sup>   | 2.0 <sup>b</sup>   |
| 鎳  | [c]                | 65 <sup>a</sup>    | [c]                | 63.0 <sup>a</sup>  | 63 - 70            |
| 鈷  | 1.0 <sup>b</sup>   | 3.0 <sup>b</sup>   | 5.0 <sup>b</sup>   | -                  | -                  |
| 鉻  | 1.0 <sup>b</sup>   | 1.0 - 3.0          | 28 - 31.5          | -                  | -                  |
| 鉬  | 26 - 30            | 27 - 32            | 4 - 6              | -                  | -                  |
| 鎢  | -                  | 3.0 <sup>b</sup>   | 1.5 - 4.0          | -                  | -                  |
| 錳  | 1.0 <sup>b</sup>   | -                  | 1.5 <sup>b</sup>   | 2.0 <sup>b</sup>   | 1.5 <sup>b</sup>   |
| 矽  | 0.010 <sup>b</sup> | 0.10 <sup>b</sup>  | 0.80 <sup>b</sup>  | 0.5 <sup>b</sup>   | 0.50 <sup>b</sup>  |
| 鋁  | -                  | 0.50 <sup>b</sup>  | -                  | -                  | 2.30 - 3.15        |
| 碳  | 0.02 <sup>b</sup>  | 0.010 <sup>b</sup> | 0.030 <sup>b</sup> | 0.30 <sup>b</sup>  | 0.25 <sup>b</sup>  |
| 鈦  | -                  | 0.20 <sup>b</sup>  | -                  | -                  | 0.35 - 0.85        |
| 硫  | 0.030 <sup>b</sup> | -                  | 0.020 <sup>b</sup> | 0.024 <sup>b</sup> | 0.010 <sup>b</sup> |
| 銅  | -                  | 0.20 <sup>b</sup>  | 1.0 - 2.4          | 28 - 34            | [c]                |
| 磷  | 0.040 <sup>b</sup> | -                  | 0.04 <sup>b</sup>  | -                  | -                  |

注意事項：[a] 最小值 [b] 最大值 [c] 平衡

## 熱處理

特殊扣件(表3)的熱處理是為了提高它們的性能(冶金、機械、物理)同時讓它們的使用性能最大化。這需要精確的製程管控以及設備的可變性,包括時間,溫度和爐內氣氛的重複性。使用的設備類型有許多,批量式或連續式(圖2~3)兩者都很常見,就看製程需求而定。



圖2、振動篩底式爐鈦合金扣件熱處理(前端)  
(照片提供: DF Industries)



圖3、振動篩底式爐鈦合金扣件熱處理(後端)  
(照片提供: DF Industries)

表3、非常態類型扣件合金熱處理

| 合金                           | 熱處理  |
|------------------------------|--|
| A286                         | 對於高應力斷裂強度: 980°C (1800°F), 一小時固溶熱處理, 快速冷卻, 720°C (1325°F) 16小時老化, 空氣冷卻 <sup>a</sup><br>對於高室溫拉伸強度和應力斷裂延展性: 900°C (1650°F) 兩小時溶液處理, 快速冷卻, 720°C (1325°F) 16小時老化, 空氣冷卻 <sup>b</sup> |
| Avesta (阿維斯塔) 2205 合金        | 1020°C - 1100°C (1870°F - 2010°F) 固溶退火, 然後, 水淬火。 <sup>c, d</sup>   |
| HR-120 <sup>e</sup>          | 除非另有規定, 正常是在固溶退火過後的狀態下供應。1175°C - 1230°C (2150°F - 2250°F) 固溶退火, 並迅速冷卻 <sup>f</sup> 。  |
| HR-160 <sup>e</sup>          | 除非另有規定, 正常是在固溶退火過後的狀態下供應。1120°C (2050°F) 固溶退火, 並快速冷卻, 以獲得最佳性能。製造和成型製程所需的中度退火, 則以低至1065°C (1950°F) 的溫度。   |
| 230 <sup>e</sup>             | 正常是在固溶加熱過後的狀態下供應。1175°C - 1245°C (2150°F - 2275°F) 之間固溶熱處理, 然後, 快速冷卻或水淬火, 以獲得最佳性能。 <sup>g</sup>  |
| 高溫合金鋼<br>Ferrallium 255-SD50 | 1070°C (1960°F) 固溶熱處理, 然後快速冷卻, 最好在水中。 <sup>h</sup> 製程所需的消除應力熱處理方式, 應加熱至350°C (660°F), 維持該溫度狀況兩小時, 接著空氣冷卻。 <sup>i</sup>   |

| 合金                    | 熱處理   |
|-----------------------|---|
| 雙相合金2205              | 以1040°C (1900°F) 退火，然後迅速冷卻，最好以水淬火的方式。 <sup>j</sup>  |
| 雙相合金2304              | 980°C (1800°F) 退火，然後迅速冷卻，以防止不希望的金屬相析出。 <sup>k</sup>   |
| 超級雙相合金2507            | 最低1050°C (1925°F) 固溶退火，然後，快速空氣或水淬火。 <sup>l,m</sup>  |
| 超級雙相合金3207            | 在1040°C下 - 1140°C (1905°F - 2085°F) 固溶退火，然後，在空氣中，保護氣氛或水中迅速冷卻。   |
| 鎳鐵合金 Inconel 600      | 1010°C (1850°F) 退火15分鐘。短暫暴露於1040°C (1900°F)，可讓軟質材料不致於產生粗晶粒結構。 <sup>n</sup><br>1090°C - 1150°C (2000°F - 2100°F) 退火1 - 2小時，以獲得最大的抗蠕變和破裂強度。 <sup>o</sup>  |
| 鎳鐵合金 Inconel 718      | 常用的熱處理有兩種：<br>1. 以 925°C - 1010°C (1700°F - 1850°F) 固溶退火，然後迅速冷卻，通常在水中；另外，以 720°C (1325°F) 沉澱硬化8小時，爐冷至620°C (1150°F)，維持老化總計18小時，然後空氣冷卻。<br>2. 1040°C - 1065°C (1900°F - 1950°F) 固溶退火，然後迅速冷卻，通常在水中；760°C (1400°F) 沉澱硬化10小時，爐冷至650°C (1200°F)，維持老化總計20小時，然後空氣冷卻。 <sup>p</sup>  |
| 鎳鐵合金 Inconel 825      | 只能以冷作方式硬化。955°C (1750°F) 退火，並以空氣快速冷卻。 <sup>q,r</sup>  |
| 鎳鐵合金 Inconel 925      | 980°C (1800°F - 1900°F) 固溶退火，空氣冷卻。730°C (1350°F) 老化8小時，以每小時40°C (75°F) 的冷卻速率使爐冷至635°C (1175°F)，維持至少12小時，然後以空氣冷卻。  |
| 哈氏合金 Hastelloy C276   | 通常配置是固溶加熱過後的狀態。1040°C - 1150°C (1900°F - 2100°F) 固溶熱處理，並快速冷卻。 <sup>s</sup>  |
| 哈氏合金 Hastelloy B3     | 通常配置是固溶加熱過後的狀態。1065°C (1950°F) 固溶熱處理，並快速淬火。 <sup>t</sup>  |
| 哈氏合金 Hastelloy G30    | 固溶熱處理包括加熱至1180°C (2150°F)，隨後快速空氣冷卻或水淬火。 <sup>u</sup>  |
| 哈氏合金 Hastelloy C-2000 | 1135°C (2075°F) 固溶退火，隨後快速空氣冷卻或水淬火。 <sup>v</sup>   |
| 哈氏合金 Hastelloy C-4    | 1066°C (1950°F) 固溶熱處理，並且快速淬火。   |
| 蒙乃爾合金 Monel 400       | 870°C - 980°C (1600°F - 1800°F) 退火，冷卻速率不重要。 <sup>w</sup> 如果是必要的應力消除，則以540-570°C 施行。冷加工材料的應力消除則以300°C (510°F) <sup>x</sup>   |
| 蒙乃爾合金 Monel 405       | 這種合金可以870°C - 980°C (1800°F 1600°F) 退火，冷卻速度不重要。除此之外，這種合金並不受熱處理影響。   |
| 蒙乃爾K500               | 在750°C - 870°C (1400°F - 1600°F) 之間退火y 另外，熱表面處理產品以980°C (1800°F)，冷軋拉產品以1040°C (1900°F) 作為退火溫度，以利後續老化變硬的最佳化。 <sup>z</sup><br><br>以下推薦的老化變硬步驟可望達成最高性能 <sup>aa</sup> ：<br>1. 軟質材料 (140-180布氏硬度，75-90 RB)。16 小時維持在590°C - 610°C (1100°F - 1125°F)，然後，以每小時15 到20°F 速率使爐冷卻至480°C (900°F)。不考慮冷卻速率，藉由爐內或空氣冷卻，或是藉由淬火，將溫度從900°F 降至室溫。bb<br>2. 中度冷加工材料 (175-250布氏硬度，8-25 RB)。8小時或更長時間維持在1100至1125°F，隨後以每小時不超過8°C - 14°C (15°F - 25°F) 的速率冷卻至480°C (900°F)。藉由維持這溫度16小時的方式，可獲得較高硬度，尤其當該材料只經過輕微冷加工。作為一般規則，初始硬度只有175-200布氏的材料必須維持完整16 小時。接近頂端 (250布氏硬度，或 25 HRC) 的材料應該可在8小時內達到完全的硬度。cc<br>3. 完全冷加工材料 (260-325布氏硬度，25-35 RC)。6小時或更長時間維持在525°C - 540°C (980°F - 1000°F)，隨後以每小時不超過8°C - 14°C (15°F - 25°F) 的速率冷卻至480°C (900°F)。 <sup>dd</sup> |
| 904L不銹鋼               | 藉由1090°C - 1175°C (1995°F - 2150°F) 固溶熱處理達到硬化，然後迅速冷卻。   |
| 沃斯帕洛                  | 熱處理三步驟 (固溶熱處理，穩定化和老化變硬)。<br>1. 高溫蠕變和應力破斷性能的最佳化：<br>- 4小時1080°C (1975°F) 固溶熱處理，隨後空氣冷卻 (預期硬度：20-25 HRC)。<br>藉由加熱至845°C (1550°F) 24小時達到穩定化，隨後空氣冷卻。<br>- 以 760°C (1400°F) 16小時老化變硬，隨後空氣冷卻 (所得硬度：34-40 HRC)。<br>2. 室溫和高溫拉伸性能的最佳化：<br>995-1035°C (1825-1895°F) 4小時固溶熱處理，然後油淬火。<br>藉由加熱至845°C (1550°F) 4小時，以求穩定化，隨後空氣冷卻。<br>760°C (1400°F) 16小時老化變硬，隨後空氣冷卻 (所得硬度：34-44 HRC)。   |
| AL6XN                 | 1110°C (2025°F) 和1230°C (2250°F) 之間退火，隨後快速 (空氣) 冷卻 <sup>ee</sup> 。  |

注意事項：

- [a] ASTM (美國材料與試驗協會) A638 系列, 等級660, 第2類; ASTM A453 系列, 等級660, B 級; ASTM A891 系列, 第2類; AMS (美國航太材料標準) 5732 系列。
- [b] ASTM A638 系列, 等級660, 第1類; ASTM A453 系列, 660 等級, A 級; ASTM A891 系列, 第1類; AMS (美國航太材料標準) 5732 系列。
- [c] 固定工件, 以使失真減到最小, 因為這合金在退火溫度的強度較低。
- [d] 如果冷卻太慢, RA2205 不銹鋼的耐腐蝕性將顯著降低。RA2205 不銹鋼不可在爐中冷卻, 否則會產生無法接受的機械和抗腐蝕特性。
- [e] 美國哈氏合金國際公司 (Haynes International alloys)。
- [f] 視產品型式而定。
- [g] 退火溫度若低於固溶熱處理溫度會產生碳化物析出, 這可能略微影響合金的強度和延展性。
- [h] 溫度均勻性要求為  $\pm 10^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 18^{\circ}\text{F}$ ) 或更高。必須允許足夠的時間, 以便確保該部分在該溫度下始終充分浸泡。淬火必須在爐中取出當時, 立即進行, 務必將遞送到淬火槽在空氣中冷卻的時間減到最少。
- [i] 本項處理可依據組成部分的性質, 以及機械加工要求程度和所要求的容許差, 決定應該在加工週期某一階段或多個階段進行。
- [j] 本項處理適用於固溶退火和應力消除。任何較低溫度的應力消除處理都帶來有害的金屬或非金屬相析出的風險。
- [k] 較高溫度的退火仍可接受, 但是微結構所出現的鐵素體含量會增加。
- [l] 在熱或冷成型之後進行固溶熱處理以及淬火。
- [m] 為了獲得最大的耐腐蝕性, 熱處理後的產品應進行酸洗和水洗。
- [n] 這種合金加熱到約  $980^{\circ}\text{C}$  ( $1800^{\circ}\text{F}$ ) 之後, 晶粒才會開始生長。在這溫度, 合金微結構開始聚結細密分佈但抑制晶粒生長的碳化物顆粒。
- [o] 碳化物的固溶大約開始在  $1040^{\circ}\text{C}$  ( $1900^{\circ}\text{F}$ )。處理 1-2 小時可完全溶解碳化物, 並帶來晶粒尺寸增加的結果。
- [p] 如果該材料尚待機械加工, 成型或焊接, 購買來的狀況通常已經過工廠退火或消除應力。這個材料在製造時就具有它可能的延展性和可塑性。製造之後, 也可根據應用規格需求作熱處理。
- [q] 冷成型可以使用標準模具加工, 但是普通的碳素工具鋼並不推薦, 因為這種工具常常帶來材料的磨損。軟質模具材料 (銅, 鋅合金等) 磨損最少, 產生表面良好, 但是模具壽命短一些。若要生產運作久一些, 合金工具鋼 (D-2, D-3) 和高速鋼 (T-1, M-2, M-10) 可得良好效果, 特別是表面如果經過可減少磨損的鍍鉻硬化。模具加工也應允許自由淨空和半徑範圍。所有的成型作業都應該使用長效型潤滑劑, 以便將磨損最小化。藉由溫度  $180^{\circ}$  彎曲板材或片狀材料時, 一般而言, 材料厚度達 0.1 250 “ (3.175 毫米) 者, 彎曲半徑限於 1 T, 材料厚度大於 0.1 250” (3.175 毫米) 者, 彎曲半徑限於 2 T。
- [r] 熱加工可行, 但應控制在溫度  $925^{\circ}\text{C}$  ( $1700^{\circ}\text{F}$ ) 下, 以保持合金最佳的耐腐蝕性。
- [s] 為了最佳耐腐蝕性, 從固溶熱處理溫度冷卻到變為黑色 ( $540^{\circ}\text{C}/1000^{\circ}\text{F}$ ) 的過程控制在兩分鐘或更少。消除應力的熱處理對於這個合金是無效的, 若考慮其他材料消除應力熱處理, 應進行完全退火。
- [t] 光亮的退火板材或線圈產品, 應以  $1150^{\circ}\text{C}$  ( $2100^{\circ}\text{F}$ ) 固溶處理, 並且在氫氣中冷卻。
- [u] 經過熱成型的部件在最後製造或安裝之前, 應該進行固溶退火。
- [v] 只可以冷作硬化。
- [w] 這種合金的晶粒生長迅速, 所以使用溫度範圍和最小時間的下限即可, 以維持良好強度。
- [x] 屈服強度明顯增加, 而不影響其它性能。
- [y] 本處理的進行既是為了加工後基質軟化的目的, 同時也為了金相老化變硬的固溶。
- [z] 晶粒生長在  $980^{\circ}\text{C}$  ( $1800^{\circ}\text{F}$ ) 以上變得快許多, 如果需要細緻晶粒結構, 較高溫的加熱時間應維持在最低限度。為了老化反應的最佳化以及柔軟度的最大化, 從加熱溫度到水淬火, 有效不耽擱的冷卻很重要。淬火的耽擱或緩慢可能造成金相老化變硬部分沉澱, 損害後續老化的反應。水中加入約 2% 的乙醇 (以體積計算) 可將氧化減少到最低, 並促進酸洗。
- [aa] 此處所描述方法通常會產生較高的性能。在某些情況, 無論是為了節省成本, 或是為了取得中段性能, 可能必須減少時間。應執行測試運行, 以確定實際取得的性能。
- [bb] 此方法適用於已經鍛造和淬火或退火鍛造製程, 處理退火或熱軋棒, 大型冷拉棒 (直徑 40mm (1-1/2 “) 以上), 以及軟質回火線材和帶材。
- [cc] 這些方法適用於冷拉棒, 軸心硬質鋼帶, 冷鍛鍛件以及中段回火鋼絲線材。
- [dd] 在某些情況, 藉由維持溫度 8 至 10 小時, 可得稍微高一些的硬度 (尤其是靠近硬度範圍下端的材料)。這個方法適用於彈簧回火鋼帶, 彈簧鋼絲或重冷加工件, 如冷作成型的小鋼球。爐體冷卻可以  $38^{\circ}\text{C}$  ( $100^{\circ}\text{F}$ ) 為一階, 每一階維持 4 至 6 小時的方式。
- [ee] 相對較慢的冷卻會增加西格瑪 (sigma) 或  $\chi$  (chi) 金相沉澱的可能, 這種金相通常使材料無法具有耐蝕性。這種合金中添加氮雖可減緩但無法消除這些金相在  $1040^{\circ}\text{C}$  到  $540^{\circ}\text{C}$  ( $1900^{\circ}\text{F}$  到  $1000^{\circ}\text{F}$ ) 沉澱的傾向。空氣 (或其它氧化性氣氛) 退火會造成富含鉻的氧化鱗狀表皮的形成。例如退火時間過長, 爐體漏縫, 氣氛循環不良, 以及預先存在鱗狀表面的狀況都應該避免, 因為這些狀況可能會導致所謂氧化的災難情況, 那就會在金屬表面上產生凹陷坑洞。

## 結論

特殊扣件的熱處理是整體熱處理工業重要的領域, 特別要求製程與設備兩方面都需嚴謹控制, 才能符合所因應產業對於超高性能的特殊需求。

## 參考資料

1. Leigh, Joanna, New Checklist for Nadcap Audits (全新的Nadcap 稽核清單), Industrial Heating (工業熱處理), November 2011。
2. Specialty Metals (特種金屬) ([www.specialmetals.com](http://www.specialmetals.com))
3. Metal Suppliers Online (金屬供應商在線) <http://www.supplieronline.com>
4. Rolled Alloys (滾軋合金) ([www.rolledalloys.ca](http://www.rolledalloys.ca))
5. 美國哈氏合金國際公司 (Haynes International alloys) ([www.haynesintl.com](http://www.haynesintl.com))
6. 防腐蝕材料 ([www.corrosionmaterials.com](http://www.corrosionmaterials.com))
7. [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)