

扣件用鋼材晶粒

文 / 白光

改善與應用

鋼材的晶粒粗細不均之混晶現象，會影響產品之加工性及最終機械性質，例如，連續轉動之汽車軸，或是往復來回運作之避震器活塞桿，若是鋼材之晶粒不均勻，則會造成耐疲勞性不穩定，或是導致產品加工失敗。因此，扣件用鋼材晶粒粗細不均之現象，有待進一步研究並改善；亦即，如何避免鋼材混晶，或是抑制鋼材組織中，局部晶粒粗大之問題，實為品質改善的一門學問。

故本文以深入淺出的方式，介紹鋼材混晶導致產品加工失敗之案例，以及沃斯田鐵晶粒度與鋼材要求粗晶的理由，並且針對有沃斯田鐵粗晶要求之中低碳鋼材(含1045SK GG、1038SK CG、1022SK CG)，如何避免混晶；以及針對S45C鋼種之棒鋼混晶，利用冶金理論探討並加以改善，期使條線產品品質更精進，所製成的扣件成品行銷全球，因此讓台灣再度享有「螺絲螺帽王國」的美譽。

鋼材混晶(含晶粒粗細不均)導致產品加工失敗的案例

以下舉出三個鋼材混晶，造成產品加工失敗的案例，前二個案例，係因鋼材軋延異常，造成鋼材表面粗晶或心部的局部晶粒粗大；第三個案例，則為低碳鋼材退火不當，造成鋼材表面晶粒粗大，說明如下：

鋼材表面晶粒粗大造成鉚釘冷打裂

鉚釘加工製程： $\phi 6.35\text{mm}$ 線材盤元 \rightarrow 抽線 $\phi 4.62\text{mm}$ \rightarrow 冷打鉚釘。



圖1 鉚釘冷打裂外觀

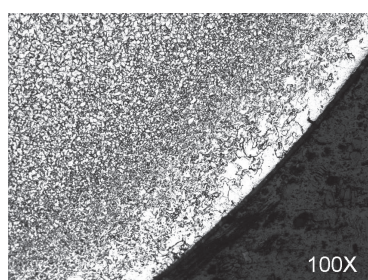


圖2 金相觀察鋼材表面粗晶



圖3 扳手壓彎斷裂外觀

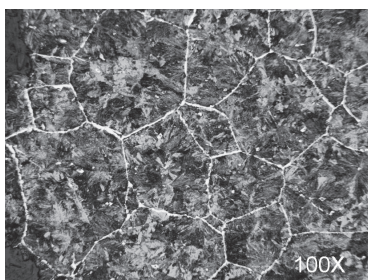


圖4 金相觀察鋼材晶粒粗大

加工失敗原因：鉚釘腳部鉚合破裂，如圖1，金相觀察鋼材表面粗晶，如圖2。

鋼材心部晶粒粗大造成扳手壓彎發生斷裂

扳手加工製程： $\phi 24\text{mm}$ 棒鋼 \rightarrow 下料 \rightarrow 熱鍛 \rightarrow 加工研磨 \rightarrow 壓彎。

加工失敗原因：扳手壓彎發生斷裂，如圖3，金相觀察鋼材心部晶粒粗大，如圖4。

鋼材表面晶粒粗大造成扣件表面橘皮現象

加工失敗原因： $\phi 10\text{mm}$ 線材盤元，經退火後冷打加工，發現扣件頭部外圍有嚴重橘皮之表面粗糙現象，如圖5，金相觀察鋼材表面晶粒粗大，如圖6。



圖5 扣件頭部外圍表面橘皮外觀

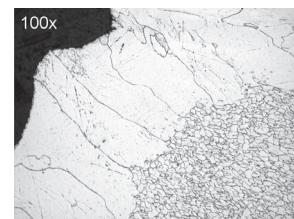


圖6 金相觀察鋼材表面晶粒粗大

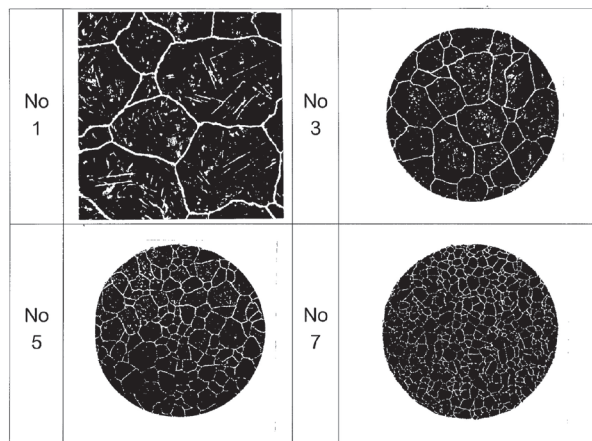


圖7 JIS G0551定義不同號數之晶粒大小

γ (沃斯田鐵)晶粒度與鋼材要求粗晶的理由

γ 晶粒度定義

γ 晶粒度，係指鋼材在高溫加熱，於沃斯田鐵狀態下，存在之結晶粒度，例如，JIS G0551定義不同號數之晶粒大小，號數(晶粒度)愈小，則表示晶粒愈大，如圖7。

γ 晶粒度影響

γ 晶粒度會影響鋼料的疲勞性、衝擊韌性、淬火性與機械性質，其中含碳量愈高，或晶粒愈大(ASTM結晶粒度愈小)則鋼材的淬火性愈佳(相關係數愈大)，淬火深度愈深，如圖8。



鋼材要求粗晶的理由

(1) 鋼料淬火性好壞之指標為硬化能，一般而言，鋼材中添加碳(C)、錳(Mn)、鉻(Cr)、鉬(Mo)、矽(Si)、鎳(Ni)及硼(B)等合金成分，可提升硬化能，以達成螺栓、軸類等，於淬火熱處理後，具備良好的硬化能之目標。

(2) 但部份棒線產品，因規格限制為一般碳鋼，或基於成本考量而不適合添加合金元素來提升硬化能，故成分設計上必須採用矽脫氧(Si-Killed)的煉鋼方式，以生產淬火性較佳的粗晶鋼材，進而提升硬化能，並達成扣件(含螺栓)淬火熱處理後，具備良好的硬化能之目標。

γ混晶探討與改善

γ混晶的定義

鋼材之沃斯田鐵晶粒度(號數)≥5號時稱為細晶，晶粒度(號數)<5號時稱為粗晶，當晶粒度(號數)有大有小，若是其大小差別≥3時，則視為混晶，如圖9。

γ混晶探討與改善

有粗晶(CG: Coarse Grain)要求之中低碳鋼材(含1045SK GG、1038SK CG、1022SK CG)，則必須適當管制鋁(Al)、鉍(Nb)及鈦(Ti)之成分上限，以免造成混晶，說明如下：

(1) 鋼材中的鋁，若是與氮(N)或氧(O)結合而形成細小析出物或介在物，則在高溫下，會抑制沃斯田鐵之晶粒成長。

(2) 鋼材中的鉍，若與碳結合而形成穩定碳化物，則會使晶粒細化。

(3) 鋼材中的鈦，若與氮結合而形成TiN析出物，則會促進肥粒鐵於沃斯田鐵(晶)粒內成核，因而抑制了沃斯田鐵晶粒成長，亦即，沃斯田鐵晶粒被抑制而細化。

(4) 綜合上述，有沃斯田鐵粗晶要求之鋼材，要避免鋼材混晶出現之改善對策為：必須適當管制上述(鋁、鉍、鈦)成分上限，以及控制良好之鋼材清淨度才行。

改善鋼材混晶(波來鐵團塊)組織

由於鋼材之混晶會影響產品之加工性、最終機械性質、耐疲勞性，且易造成扣件冷鍛(打)裂發生，因此，如何避免鋼材混晶或抑制鋼材中局部晶粒粗大，以S45C鋼種之棒鋼混晶探討與改善為例，說明如下：

S45C鋼種之棒鋼混晶的金相觀察

鋼種S45C之熱軋(As-rolled)棒鋼，經加工製成避震器零件後，金相觀察發現鋼材內部含有大小不一的混晶(波來鐵團塊)組織，如圖10。

棒鋼混晶的理論探討

理論上，在鋼材實際加熱過程中，會持續發生合金碳、氮化合物(含AlN、NbCN)固溶，使得阻礙晶界移動的力量逐漸減小，一旦減小到不足以與晶粒成長動能相抗衡時，沃斯田鐵晶粒即開始成長，而產生大小晶粒共存之混晶組織。

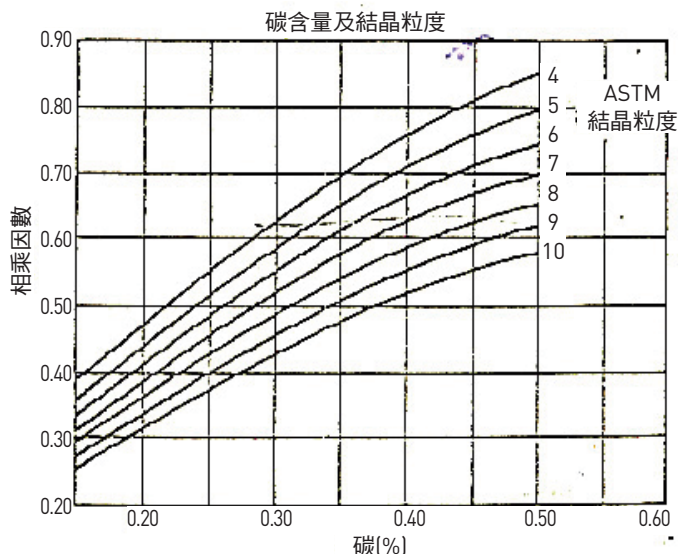


圖8 鋼材含碳量及沃斯田鐵晶粒度對硬化能之影響

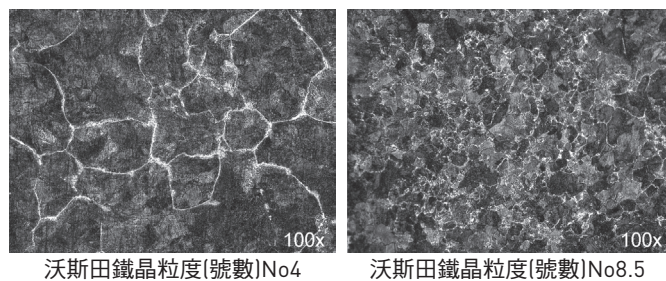


圖9 γ混晶(鋼材中γ晶粒度之大小差別≥3)

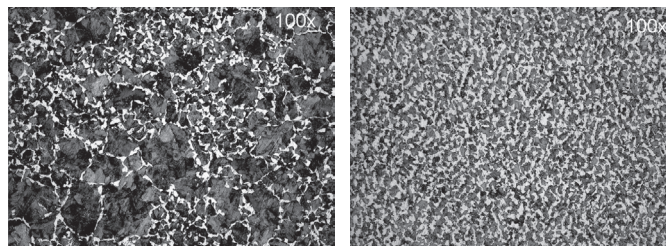


圖10 S45C棒鋼金相觀察混晶(波來鐵團塊)組織

圖11 S45C鋼材金相觀察均勻的細晶組織

此外，鋼材的應變速率較慢且應變量較小，則不利於產生均勻之細晶組織。

S45C鋼種之棒鋼混晶原因

綜合上述研判，S45C鋼種之棒鋼混晶(晶粒粗細不均)原因，主要為高溫軋延(包括鋼材長時間高溫加熱)，導致碳、氮化合物固溶增加，沃斯田鐵晶粒成長，因而產生大小晶粒共存之混晶組織。

此外，在高溫軋延下，若鋼料表面與心部溫度差異過大，尤其是軋延速度較慢，且完軋裁減率較低時，則較易造成S45C鋼種局部晶粒成長較快，因而產生大小晶粒共存之混晶組織，亦是造成S45C鋼種之棒鋼晶粒粗細不均的原因之一。



S45C鋼種之棒鋼混晶改善對策

針對S45C鋼種，採取鋼材低溫軋延製程，以利產出均勻的細晶組織。

針對S45C鋼種，增加鋼材軋延速度並提高裁減率，使應變量增加，促進再結晶速率提升，因而細化晶粒。

效果確認與應用

針對有沃斯田鐵粗晶要求之鋼材(含1045SK GG、1038SK CG、1022SK CG)，經適當管制鋁、鉬及鈦之成分上限，以及控制良好的鋼材清淨度後，皆能避免鋼材混晶出現。

針對S45C鋼種之棒鋼，利用軋延能力較佳的軋機進行軋延，經採取鋼材低溫軋延製程，以及增加鋼材軋延速度並提高裁減率後，均可產出均勻的細晶組織，如圖11。

改善後，無論是有沃斯田鐵粗晶要求之中低碳鋼材(含1045SK GG、1038SK CG、1022SK CG)，或是以低溫軋延之S45C鋼種之棒鋼產品，品質良好，皆符

合扣件業者高硬化能(拉力)之螺絲(栓)要求，以及避震器零件之品質需求。

結論

本文介紹 γ 晶粒度，及其對鋼料的淬火性與機械性質等影響，並透過冶金理論探討，包括有沃斯田鐵粗晶要求之中低碳鋼材(含1045SK GG、1038SK CG、1022SK CG)，適當管制鋁、鉬及鈦之成分上限，以及控制良好之鋼材清淨度，以避免鋼材混晶，達成提升扣件(含螺絲、螺栓)高硬化能的目標。

S45C鋼種晶粒不均的主要原因為，鋼材長時間高溫加熱，導致碳、氮化合物固溶增加，沃斯田鐵晶粒成長而造成大小晶粒共存之混晶組織，經利用軋延能力較佳的軋機，採取鋼材低溫軋延，以及增加鋼材軋延速度並提高裁減率，促進再結晶速率提升而細化晶粒，因此已可穩定生產均勻的細晶組織，使棒鋼產品皆符合扣件業者後續加工螺絲(栓)及避震器零件之品質需求。

「不創新，就滅亡」。因此棒線軋延工廠，在新增軋機或設備改造時，必須事先規劃並充分準備，創造更大的鋼鐵價值才行，故建議在規範中提出「低加熱溫度與低溫軋延」之需求，期能有效控制棒鋼晶粒粗細不均或晶粒粗大之品質問題。在人無我有、人有我優的創新精神下，持續精進棒線產品品質，進而提升扣件成品的國際競爭力。 ■

