

AISI 431 麻田散鐵不銹鋼相變態研究

Study on Phase Transformations in AISI 431 Martensitic Stainless Steel

計劃編號：NSC89-2216-E-002-024

執行期間：88/8/1 ~ 89/7/31

主持人：楊哲人教授 台灣大學材料所

一、中文摘要（關鍵字：麻田散鐵不銹鋼、連續冷卻、麻田散鐵相變態起始溫度、微細雙晶、殘留沃斯田鐵、熱機處理）

本實驗材料 AISI 431 具有良好硬化能，且其麻田散鐵相變態起始溫度遠高於室溫，在緩慢冷卻條件下可以獲得完全麻田散鐵組織。基於上期計畫(NSC88-2216-E-002-037)在 AISI 410 麻田散鐵不銹鋼所發現的問題： M_s 溫度隨著冷卻速率上升而下降，且其板條結構含有細微雙晶，本計畫乃研究 AISI 431 之相關相變態特性。首先在膨脹儀進行一系列的連續冷卻相變態處理，經由膨脹儀曲線、光學金相及穿透式電子顯微組織分析各種條件下之動態相變化及其對應組織。藉著本研究，進一步釐清低碳麻田散鐵不銹鋼相變態特性。

英文摘要 (Keywords: martensitic stainless steel, continuous cooling, M_s , micro-twins, retained austenite, thermomechanical treatments)

The investigation of retained austenite associated with martensite in martensitic stainless steel has assumed great significance, primary due to its apparent influence on the mechanical

properties of commercially used quenched and tempered ultra-high strength steels. In the last year project, we found that thin films of inter-lath austenite are retained in AISI 410 martensitic stainless steel although its M_f temperature is well above room temperature. The reasons for the lack of complete martensitic transformation are not clear. It used to be the view that martensitic structure gives dislocated laths if carbon content of the steel is less than 0.4wt%. However, we found that microtwins exist in the martensitic laths in AISI 410. It was also found that in AISI 410 steels M_s temperature is dependent on the cooling rate during continuous cooling treatment.

Based on the above issues, the present work has examined the martensitic transformation in AISI 431 (a commercial nickel-bearing low-carbon martensitic steel) for comparison. A series of continuous cooling experiments for this steel has been carried out on a Dilatronic III dilatometer of theta Industries, Inc. The dilatometric curves, optical metallography and transmission electron microscopy has been investigated to find out the microstructural development and

the transformation kinetics. Through this research work, the transformation behaviors in low-carbon martensitic stainless steels could be elucidated.

二、計畫緣由與目的

於上一年度國科會計畫，針對 AISI 410 不銹鋼作麻田散鐵相變化研究，發現有三個問題極待釐清：1. AISI 410 的 M_f 溫度遠高於室溫，為什麼其淬火組織仍會有薄膜狀的殘留沃斯田鐵；2. 低碳麻田散鐵不銹鋼 AISI 410 其板條(lath)麻田散鐵組織常發現含有細微雙晶；3. AISI 410 的 M_s 溫度會隨著冷卻速率的下降而上升。基於這些問題，因此以硬化能比 AISI 410 稍強的 AISI 431 為研究材料，再進一步探討。先前殘留沃斯田鐵對麻田散鐵不銹鋼之淬火一回火機械性質有所影響，主要的原因乃殘留沃斯田鐵與基地麻田散鐵兩者之回火組織有所差異。因此最近熱處理研究非常重視深冷處理(sub-zero treatment)，主要著眼乃將淬火殘留的沃斯田鐵完全轉變為麻田散鐵，以便獲得均勻的回火組織。對於低碳麻田散鐵不銹鋼，其 M_f 溫度遠高於室溫，但其淬火組織仍含有薄膜狀殘留沃斯田鐵，是否沃斯田鐵受到鄰近麻田散鐵剪應變波及而造成所謂沃斯田鐵之機械穩定作用 (mechanical stabilization of austenite) 有待深入了解。另一方面，為什麼板條狀麻田散鐵含有微細雙晶？亦有待顯微結構方面的分析，以探討是否相鄰近的麻田散板條特殊方位所造成的應變調適結果。至於慢速冷卻導致 M_s 溫度的提升，是否因為

慢速冷卻造成合金碳化物析出，使得沃斯田鐵基地局部區域合金成份下降，因而 M_s 溫度上升。以上這些研究方向，國內外相關研究尚未深入涉及，本計畫期望藉著精細的熱處理控制，進行分析研判。

三、研究方法與成果

1. 研究方法

本研究所用材料是由榮剛材料科技公司所提供的 AISI 431 棒材，直徑為 25mm，其合金含量為 Fe-0.17C-15.41Cr-1.47Ni-0.62Mn-0.39Si(wt%)。首先將試片封於石英管內（其真空度為 10^{-5} torr）並置於高溫爐施以二段式的均質化處理（於 1200°C 保溫小時之後爐冷至 1050°C 持溫 24 小時），使鋼材中的合金元素均可分佈，並促使 δ 肥粒鐵之消除。而後再加工成直徑、長度的膨脹儀試片，進行熱膨脹儀的處理。實驗主要可分為幾部份：連續冷卻處理（1050°C 保溫 10 分鐘沃斯田鐵化後分別以 0.5 - 100°C/s 冷卻）、恆溫熱處理（1050°C 保溫 10 分鐘沃斯田鐵化後，隨即冷至 220, 200, 180°C 分別恆溫 10 分鐘）、熱機處理（1050°C 保溫 10 分鐘沃斯田鐵化後在 750°C 分別施以 0 - 40% 加工量而後在 M_s 下方 30°C，即溫度為 200°C 持溫 10 分鐘，再升溫至 350°C 回火）。熱處理後所得試片分別作金相觀察，並以 JEM 100CXII 穿透式電子顯微鏡觀察其顯微組織。

2. 成果

AISI 431 不銹鋼施以二段式的均質化處理（於 1200°C 保溫小時之後爐

冷至 1050°C 持溫 24 小時)，可消除完全 δ 肥粒鐵，而獲得高溫單一個沃斯田鐵相，以利麻田散鐵相變態之研究。連續冷卻處理（1050°C 保溫 10 分鐘沃斯田鐵化後分別以 0.5 - 100°C/s 冷卻）的試片在金相觀察，發現快冷至 100°C/s 與慢冷至 0.5°C/s，皆可獲得麻田鐵組織；在冷卻速率愈快的條件下，組織有愈細化之趨勢。由膨脹儀曲線顯示：冷卻速率愈快， M_s 溫度愈低。另外由 TEM 觀察亦顯示慢冷的試片組織中有較粗的板條，而且整體組織裏面板條粗細差異生；而快冷的試片的整體組織則含寬度較細之板條。而快冷的試片的整體組織則含寬度較細之板條。在所觀察的 TEM 板條組織，值得注意的是板條間有殘留沃斯田鐵存在，以及在板條裏面有微細雙晶存在。除此之外，我們亦發現對先前沃斯田鐵施以塑性變形會抑制麻田麻散鐵相變態。以上所觀察到的現象與上年度計畫研究 AISI 410 麻田散鐵相變態特性非常類似。

四、結論與討論

討論

圖一為 AISI 431 於 1050°C 沃斯田鐵化後，隨即以不同冷卻速率（0.5 - 100°C/s）冷至室溫之膨脹曲線，顯示隨著冷速之加快， M_s 溫度愈低；慢速冷卻(0.5°C/s)條件下之 M_s 溫度為 230°C，而快速冷卻(100°C/s)條件下之 M_s 溫度為 185°C，兩者溫度有極大差異。這現象可以解釋如下：在快速冷卻條件下，先前沃斯田鐵的基地含有過飽和濃度的空孔（vacancies），而且不會有合金鉻的碳化物析出；在此情

況下，過飽和濃度的空孔有強化基地與差排之交互作用，而沒有鉻的碳化物析出則可維持原先的固溶強化，因此 M_s 溫度也就下降。

板條麻田散鐵與板片麻田散鐵內部之本質缺陷是不同的，前者以差排而後者以微細雙晶存在。在低碳的麻田散鐵不銹鋼 AISI 431 的 TEM 還是可以觀察到板條的麻田散鐵內含有微細雙晶（如圖二所示），但其特徵與板片麻田散鐵之微細雙晶有所不同；前者雙晶厚度較大且雙晶密度也較低。值得注意的是 AISI 431 板條內之微細雙晶滲入旁邊的另一板條內部（如圖二與圖三所示），這奇特外觀可解釋如下：相鄰的麻田散鐵板條，若它們的方位互為雙晶，當這些板條成長而互相碰撞時，就會以雙晶成長互相滲入對方，藉此機制來消除麻田散鐵板條本身的不可變平面應變能（invariant-plane-strain strain）。

結論

1. AISI 431 於 1050°C 沃斯田鐵化後，冷卻速率在 0.5°C/s 以上，所得組織為板條麻田散鐵及少量的薄膜狀沃斯田鐵。而板條內部可發現有互相滲入相鄰板條的微細雙晶。這特徵乃相鄰板條互為雙晶方位所造成的效應，藉此雙晶的互滲來消除板條本身的不可變平面應變能。

2. AISI 431 的麻田散鐵起始相變態溫度 M_s 隨著冷卻速率之加快而呈現明顯下降，此現象可解釋為：快速冷卻使得先前沃斯田鐵基地含有過飽和的空孔，且不會有鉻的碳化物析出，使得基地空孔與差排交互作用，以及原有固溶強化，使得麻田

散鐵起始相變態溫度 M_s 下降。

五、自我評估

本研究發現了古典麻田散鐵相變態的一些疑點，對這些有趣的現象提出解釋，正準備論文投稿於國際期刊：*Materials Science and Engineering A*。

六、參考文獻

1. H.K.D.H Bhadeshia, *Acta Met.*, 29(1981)1117.
2. T.Y. Hsu and Y. Linfah, *J.Mater. Sci.*, 3. 18(1883)3213
4. A. Ali and H.K.D.H. Bhadeshia, *Mater.Sci. Tech.*, 7(1991)895.
5. E. R. Park, *Metall. Trans.*, 8A(1997)1025.
6. G. Thomas, *Metall. Trans.*, 9A(1978)439.
7. G. Thomas, *Iron and Steel International*, 46(1973).
8. M. Raghvan and G. Thomas, *Metall. Trans.*, 2(1971)3433.
9. S. K. Das and G.Thomas, *Metall. Trans.*, 1(1970)325.
10. D. Huang and G.Thoma, *Metall. Trans.*, 2(1971)1587.
11. K.H. Khan and W.E. Wood, *Metall.*, *Trans.*, 9A(1978) 899.

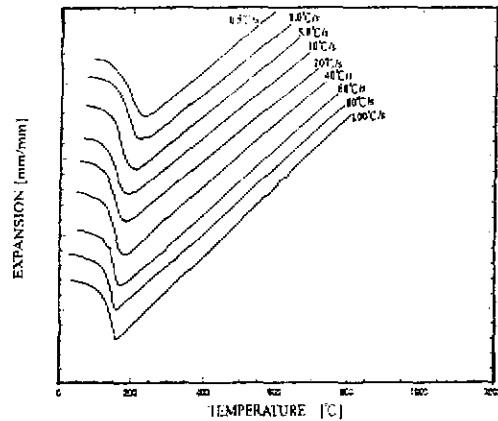


Fig. 1 Dilatometric curves for a series of continuous cooling treatments with a wide range of cooling rates (0.5 - 100°C/s).



Fig. 2 TEM showing micro-twins extending partially across the martensite unit.

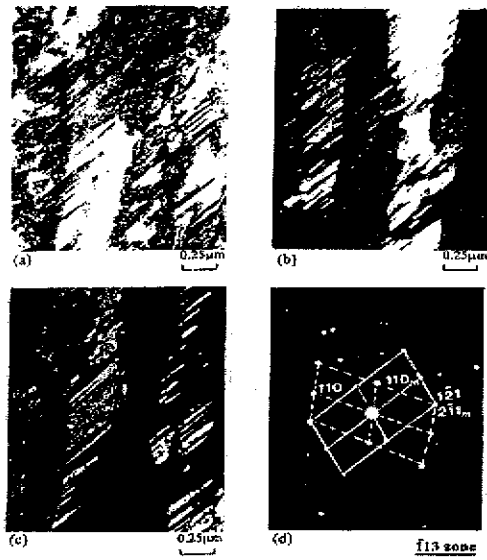


Fig. 3 TEM showing twin-related martensite variants and interpenetrating twins within martensite units.