

(超細粒鋼溶接熱影響部の金属組織学的検討 一第2報一)

物質・材料研究機構 ○伊藤 礼輔、平岡 和雄、春日井 孝昌
科学技術振興事業団 志賀 千晃

Mechanism of Softening in HAZ for ultra-fine grained steel

—Metallurgical Study in Weld Heat-Affected Zone for Ultra-Fine Grained Steel (Report 2) —

R. Ito, K. Hiraoka, T. Kasugai and C. Shiga

キーワード：超細粒鋼、低炭素低合金鋼、溶接熱影響部、HAZ 軟化

KEY WORDS: Ultra-Fine Grained Steel, Low C Low Alloyed Steel, Heat Affected Zone,
Softening in HAZ

1. 緒言： 前報¹⁾で報告したように、超細粒鋼及び HT780 鋼の溶接熱影響部 (HAZ) は母材よりも硬さの低い領域、すなわち HAZ 軟化域が存在した。本報告は両鋼 HAZ の軟化域が溶接方法及び溶接条件によってどのように影響されるかを調べるため、再現試験により HAZ 軟化域の大きさ及びその機構を調べた。

2. 供試鋼及び実験方法： 本研究に用いた鋼材は前報¹⁾と同じ鋼材である。試験片 ($\phi 4 \text{ mm} \times 1.2 \text{ mm}$) は高周波誘導加熱式再現装置 (改造型 Formaster-F) を用いて加熱・冷却した。各試験片の最高加熱温度は $600\text{C} \sim 1350\text{C}$ であり、最高加熱温度まで約 $2 \sim 3 \text{ s}$ で加熱し、その温度で保持することなく再現溶接熱サイクルに従って冷却した。なお、最高加熱温度が 1350C 未満のものは、ボンド部で測定された溶接熱サイクルの所定温度以下の部分を再現した。

3. 実験結果及び考察： Fig. 1 及び Fig. 2 は超細粒鋼及び HT780 鋼の再現 HAZ における最高加熱温度と 540C における冷却速度に対する冷却後の硬さ曲線を示すとともに、マイクロ組織をも併記したものである。同図にある極太線は、溶接入熱量 15 kJ/cm で 20 mm の鋼板を超狭開先 CO_2 ガス溶接したときの HAZ 各位置における最高到達温度とその冷却速度である。

3.1 超細粒鋼： 再現 HAZ の硬さが母材よりも低くなる、言い換えれば再現 HAZ が軟化する最高加熱温度域は Fig. 1 のように約 650C 以上であり、冷却速度が小さいほど高温側に大きく広がるとともに、低温側にも若干広がる傾向にあった。母材よりも硬さが低くなる最高加熱温度が約 $650\text{C} \sim 670\text{C}$ から Ac_1 の温度域の場合、加熱速度 1C/min で熱膨張曲線を測定すると SM490 鋼は Ac_1 温度まで直線的に膨張するが、超細粒鋼は約 420C 以上 Ac_1 まで試験片の収縮が見られた。この現象はマイクロ組織に大きな変化がないことから、マトリックス内部の微細構造の変化によるものであり、転位の回復によるものと推察される。最高加熱温度が Ac_1 直上付近では、分散していたセメンタイト及びその周囲のフェライトがオーステナイト化する。このオーステナイトがフェライト+セメンタイトに分解するとともに、冷却速度が大きい場合には M-A も生成する。しかし、この最高加熱温度でたとえ M-A が生成してもその量は少なく、先に述べたマトリックスであるフェライトの軟化を打ち消すほどではないと考えられる。最高加熱温度が Ac_3 に近づくと最高加熱温度の高いほど加熱時に変態したオーステナイト量が多く、未変態フェライト量は少なくなる。冷却時はこの未変態フェライトを核としてオーステナイトから塊状フェライトやウィドマンステッテンフェライトが成長して HAZ 軟化を助長した。 Ac_3 以上の最高加熱温度になると、最高加熱温度の高いほどフェライト及びパーライトは冷却速度が小さい側で析出し、再現 HAZ の軟化域が高温側にも存在するようになったと考えられる。

3.2 HT780 鋼： Fig. 2 のように超細粒鋼と同様な軟化域が存在した。しかし、HT780 鋼は超細粒鋼よりも軟化する最高加熱温度幅は狭く、かつ冷却速度が小さくなると存在した。最高加熱温度が約

650C~670CからAc₁の温度域で硬さが母材よりも低下しはじめ、700C付近でより軟化する傾向にあった。この軟化は超細粒鋼の場合と同様に熱膨張曲線が収縮していたことから、マトリックスの過剰な焼戻しにより、転位の回復等微細構造の変化によって生じたものと考えられる。なお、HT780 鋼は添加元素量が超細粒鋼よりも多く、Fig. 2の軟化域は超細粒鋼よりも冷却速度が小さい場合に存在したものと推察される。最高加熱温度がAc₃に近いほど、生成したオーステナイト量が多く、再現 HAZ の軟化域にはベイニティックフェライト或いはウイドマンステッテンフェライトが析出し成長した。最高加熱温度 950C付近では Fig. 2 のように他の最高加熱温度のものより硬さが高かったが、この原因は不明である。

3.3 HAZ の軟化機構：
HAZ 軟化域は母材のマイクロ組織及び強度あるいは硬さに関係すると推察される。溶接構造用鋼は①合金元素量が少なく熱間圧延のまま、あるいは焼きならしの組織をもつ鋼（例えば SM 材等）、②これ

を強加工して母材の強度を高くした鋼（例えば超細粒鋼、TMCP 鋼等）、③合金元素の添加と調質処理により析出強化を行った鋼（例えば HT780 鋼のような低炭素低合金鋼等）に大別される。これら鋼の HAZ 軟化は母材と HAZ との相対的な硬さの差によるものであり、このうち②及び③のような処理を行って母材の強度を高めた低炭素低合金鋼 HAZ は母材よりも硬さが低下する可能性があるかと推察される。この HAZ 軟化の金属学的要因の一つは溶接熱で生じる転位の回復等マトリックスの微細構造変化によるものであり、もう一つの要因は HAZ にフェライトのような軟化マイクロ組織が析出成長するなどその鋼の持つ変態特性によるものと考えられる。

1) 伊藤、平岡、春日井、志賀；“超細粒鋼溶接熱影響部に生じる軟化域” 溶接学会全国大会講演概要, 70, (2002), No. 331

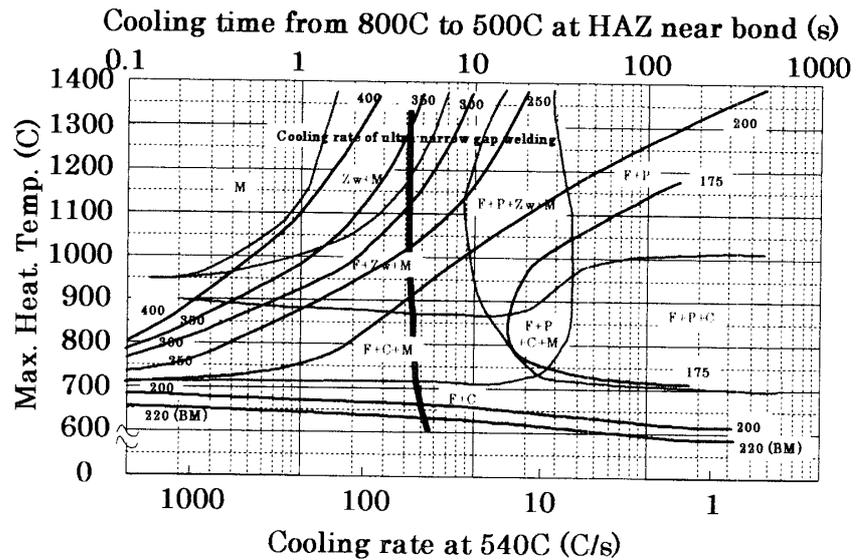


Fig. 1 Hardness and microstructures after cooling in synthetic HAZ heated at various max. heat. temp. for ultra-fine grained steel.

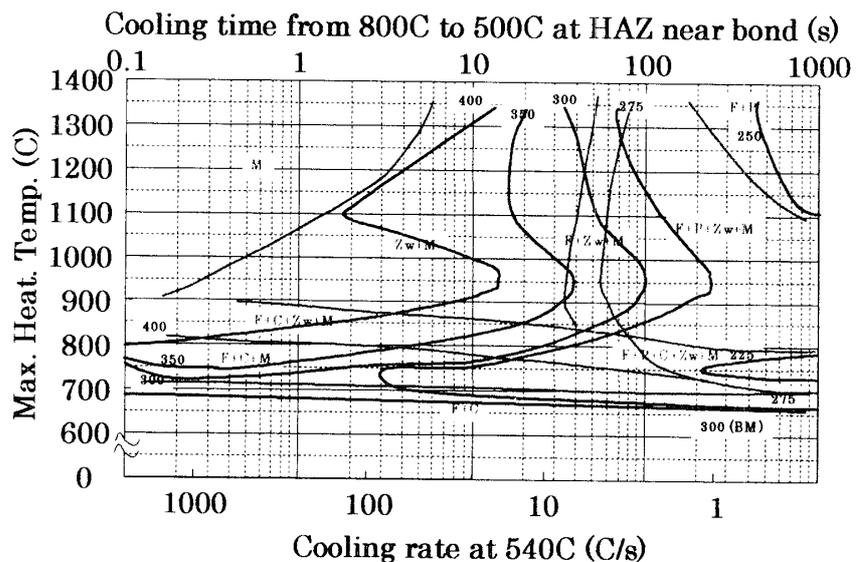


Fig. 2 Hardness and microstructures after cooling in synthetic HAZ heated at various max. heat. temp. for Steel HT780.