

= 低温割れ (その2)・・・鋼の熱影響部マイクロ組織と硬いマルテンサイト =

前話では、低温割れ (その1) として鋼の分類、炭素鋼の種類、さらには溶接部マクロ組織からみる溶接熱影響部についてその概要を説明した。

本話では、「溶接熱影響部の組織」について技術図書 の力を借りながら説明を続けます。

いま炭素鋼の溶接熱影響部について考えてみる。図 167-01 の左図は Fe-C系の状態図であり、右側の図はビードを置いた溶接部をマクロ的にスケッチしたものである。このマクロ図の熱影響部でボンドより下方へ1, 2, 3, …, 6とすると、その各点が溶接中に受けた熱サイクルは図 167-01 の中央の図に示すようになる。

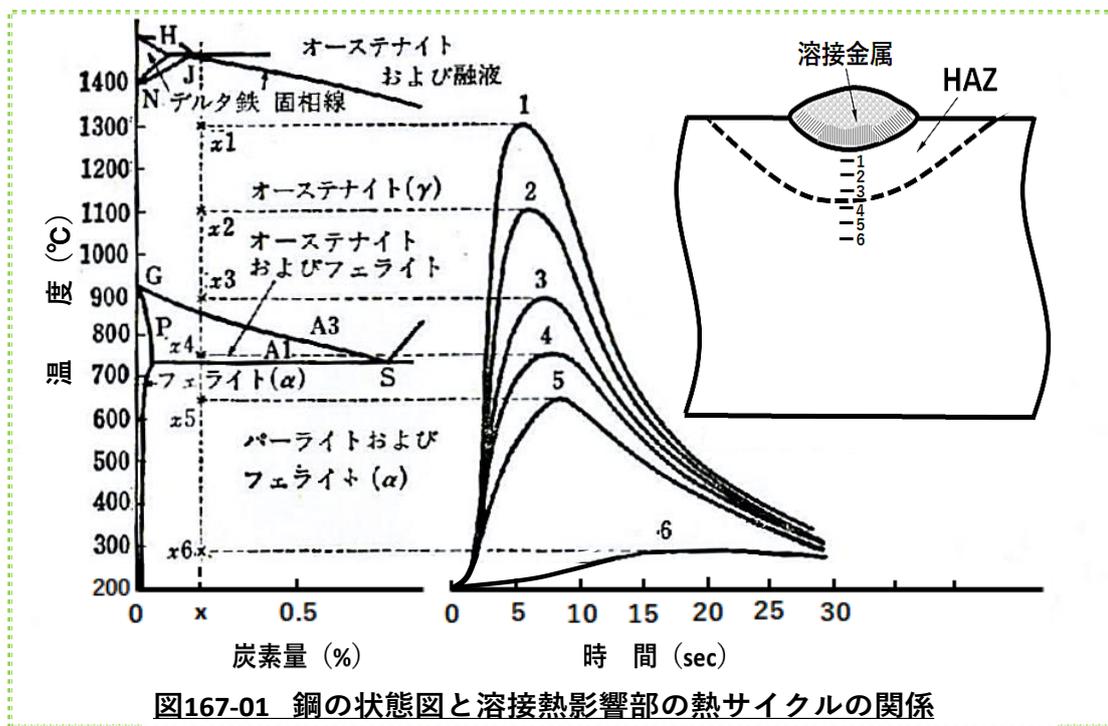


図167-01 鋼の状態図と溶接熱影響部の熱サイクルの関係

いま炭素量を x (%) のときを考えると、点1 は溶接熱により急速に最高1300°C以上まで加熱された位置である。この部分の組織は一度完全にオーステナイトになり、そしてそれが粗粒化したのちに、冷却過程に入り、G-S線においてフェライトをオーステナイト粒界に析出する。しかし結晶粒が大きくまた冷却速度が速いのでフェライトの析出がある特定面に層状に析出した中間段階組織となる。

点2 は点1よりオーステナイト結晶粒が少し小さくなった状態で他はほぼ点1と同様である。

点3 は一度オーステナイトに変態したのち結晶粒が粗大化しないうちにまた冷却によりフェライトとパーライトに変態した位置で、きわめて細粒化した状態の領域である。

点4 は加熱時にパーライトのみがオーステナイト化しようとして、パーライト中のセメンタイトが一部拡散し粒状化したときに冷却過程に入った位置であり、パーライト中のセメンタイトが球状化したままの組織となる。

点5は変態点直下まで加熱された位置で、組織的にはほとんど変化したあとが見られない。しかしミクロ的には材料の性質としては焼きもどし脆化など劣化している。

点6以下は組織的にも性質もほとんど変化しない母板のままの組織である。

以上述べてきた**最高加熱温度とその組織および特性**をまとめて示すと**表 167-01**のようになる。

また参考として、**図 167-02**に顕微鏡による軟鋼溶接部のミクロ組織^{*2)}を示す。

上記の**点1**、**2**および**3**の領域は、もし焼入れ性の強い**C**や**合金元素**が多く入った鋼およびさらに**冷却速度**が大きい場合には、フェライト+パーライトの混在した部分は次第にフェライトが少なくなり、ち密なパーライト、あらいペーナイト、微細なペーナイトさらにはもっとかたいマルテンサイトに変化する。このように鋼の粗粒域の組織を決定する主要因子は、鋼の成分と冷却速度（冷却時間）である^{*1)}。

一方、「なぜ、焼きを入れると硬くなるの?」、「マルテンサイトとはどんなもの?」の問いに答えて以下に説明を続けます。

図 167-01の**G-S**線(**A3**)以上の温度に加熱保持し、組織を完全にオーステナイトとした後**急冷**すると、オーステナイトはフェライトとパーライトの変態を起こすひまがないため、**過冷オーステナイト**の状態のまま冷却を続け、ある温度に達すると**マルテンサイト**という極めて硬い組織に変態する。

鋼も他の物質と同様に結晶構造体で、固体状態でも温度によりその構造が変わる「**変態**」を起こす。

この温度は鋼種によって異なるが、**構造用鋼**では通常**300~400°C**であり、**M_s点**と呼ばれる。鋼の組織をオーステナイトからマルテンサイトに変態させる処理を「**焼入れ**」と呼ぶ。

*オーステナイト=炭素**C**を2%まで固溶できる組織 (γ 鉄=面心立方格子; f c c)

*フェライト =炭素**C**をほとんど固溶しない組織 (α 鉄=体心立方格子: b c c)

*パーライト =フェライトとセメンタイト(鉄の炭化物; $F e_3 C$)の混合組織

高温ではオーステナイト(f c c)、常温ではフェライト(b c c)+セメンタイト(炭化物)になっている。これを急速に冷やすとマルテンサイト(b c c)という硬い特性に変態する。

マルテンサイトは急冷でのみ得られるものであり、したがって超徐冷である平衡状態図には出てこない組織なのである。では溶け込んだ炭素**C**はどこへ行ったのか?

実は結晶格子の中に封じ込められてしまったのである。すなわち炭素**C**が過飽和の状態の α 鉄格子の中に無理矢理**C**を封じ込めると格子は膨らみ、すなわち硬くなるのであります。

*硬度=HV, HB, HRCなどの測定法があるが全て外力に対しての変形度を測っている。

それゆえに硬度と引張強度の換算が比較的容易にできる。

図 167-01の**点1**、**2**および**3**の領域のオーステナイトから、**マルテンサイトに変態する機構**は面心立方格子から体心立方格子に変わるため**膨張(密→粗)**が起こる。

これがいわゆる**変態応力の発生要因**であり変形や溶接の場合では低温割れ、焼入れ処理の場合では焼割れの大きな原因のひとつとなる。

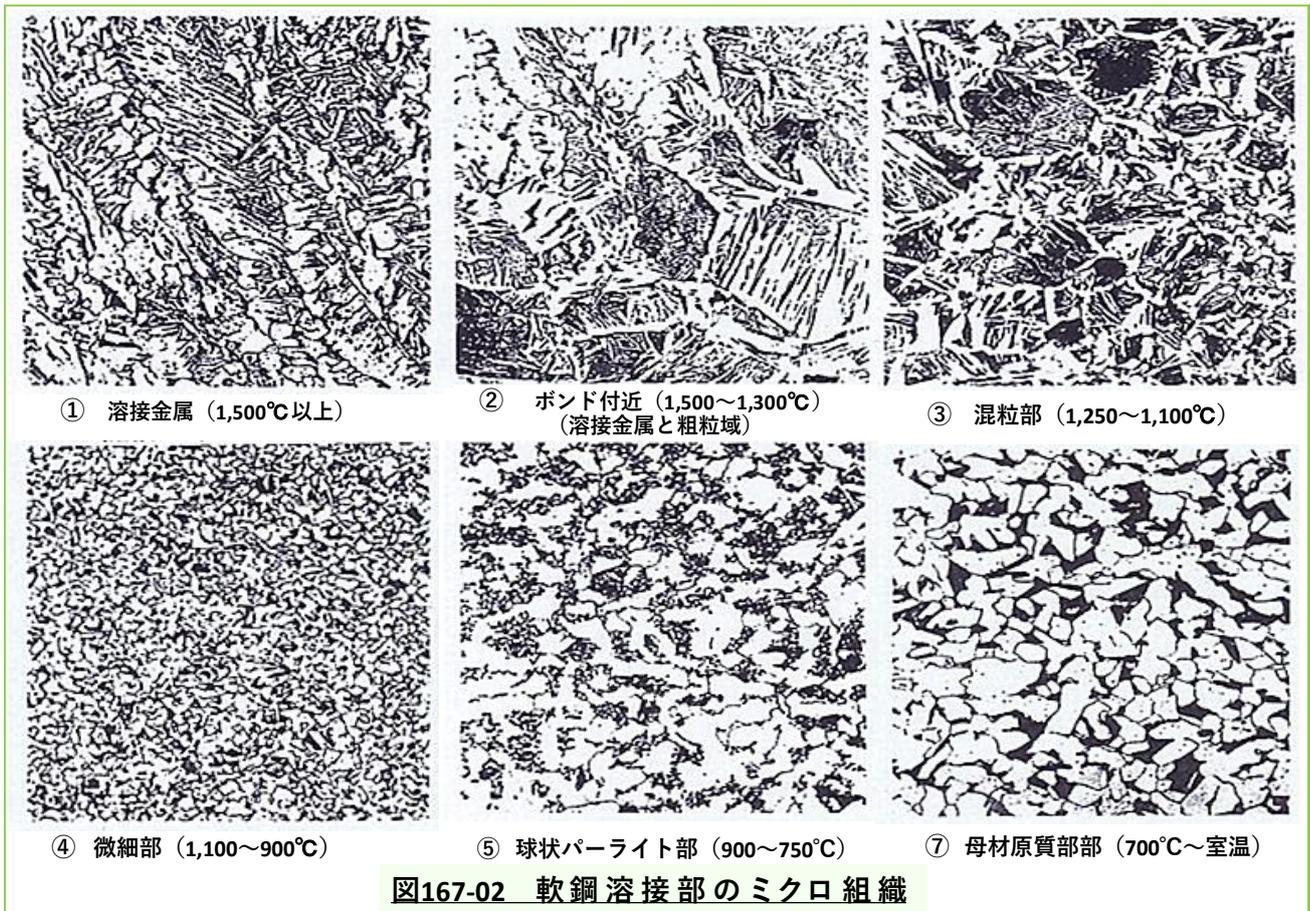
逆に言えば固溶している**炭素が低い(<0.3)**場合は、いくら急冷しても結晶格子を膨らませるほど封じ込めが生じないため結果として硬くならないことになる。

*1) 日刊工業新聞社, 溶接冶金学, 松田福久著 p196-199 より抜粋、引用

*2) 産報出版, 溶接・接合技術入門, 溶接学会編 p86 より引用

表167-01 鋼の溶接熱影響部の組織

名称	加熱温度範囲 (約)	摘要	図167-01
① 溶接金属	熔融温度 (1500℃)以上	熔融凝固した範囲, デンドライト組織を呈する	
② 粗粒域	>1250℃	粗大化した部分, 硬化しやすく, 割れなどを生じる	1
③ 混粒域(中間粒域)	1250~1100℃	粗粒と細粒の中間で, 性質もその中間程度	2
④ 細粒域	1100~900℃	再結晶で微細化, じん性など機械的性質良好	3
⑤ 球状パーライト域	900~750℃	パーライトのみが変態, 球状化, しばしば高Cマルテンサイトを生じ, じん性劣化	4
⑥ ぜい化域	750~200℃	熱応力および析出によりぜい化示すことがある。顕微鏡的に変化なし	5
⑦ 母材原質域	200℃~室温	熱影響を受けない母材部分	6



次話では引き続き低温割れ (その3) として「溶接熱影響部の組織」について説明します。

以上。