

Photo. 2. Extraction replica image and its electron diffraction pattern of Ti-bearing steel at the condition as air cooled after heating at 700°C for 1hr.

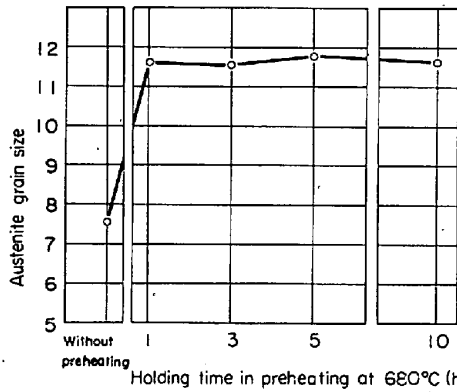


Fig. 3. Relation between austenite grain size and holding time in preheating at 680°C in 0.09 wt% Ti-bearing steel.

900°Cで最大を示すことがわかった。Photo. 2は0.1% Tiを含有する圧延材を700°C×1hr加熱後空冷した試料の抽出レプリカ法による電子顕微鏡写真である。基地鉄中に認められる微細析出物は電子線回折の結果TiCであることがわかった。このようなTiCはオーステナイト化加熱の際にオーステナイト生成の核を提供し、結晶粒の微細化に寄与するものと考えられる。

4. ま と め

TiCのほとんど認められない圧延材に700°C付近で低温焼なましをほどこすとPhoto. 2に認められるような微細なTiCが全面析出する。このような微細なTiCはAINの場合と同様に焼入加熱の際のα→γ変態でオーステナイト核生成の場所として働き、またオーステナイト結晶粒の成長を防げるものと考えられる。低温焼なましをほどこした試料の焼入性が低下するのはオーステナイト結晶粒が微細なためであろう。

低温焼なまし温度の上昇あるいは低温焼なまし時間の延長はフェライトマトリックス中へのTiCの析出を促進するので焼入性を害する。TiCの定量分析結果によると800°~900°Cまでは加熱温度の上昇に伴ってTiCの析出量が増加することを示している。このことからオー

ステナイト化加熱の間にもTiCの析出は進行しているものと考えられるが、オーステナイト中に析出したTiCはもちろんオーステナイト生成の核とはなり得ないし、また析出したTiCの凝集も考えられるのでオーステナイト化加熱の時間の延長による結晶粒の成長が生ずるのであろう。

以上のごとく含Ti鋼の低温焼なましによる焼入焼もどし後の機械的性質の劣化は焼入性の低下によるもので、これは低温焼なましによるTiCの全面微細析出とそれによるオーステナイト結晶粒の微細化に起因するものであると推察される。

文 献

- 1) 足立, 荻野: 日本金属学会誌, 30 (1966) 4, p. 394
- 2) M. A. GROSSMANN: Elements of Hardenability, (1952), p. 114, ASM.

(224) 含 Ti 強靱鋼の機械的性質におよぼす高温熱履歴の影響

大同製鋼, 中央研究所

○渡辺 敏幸・福井 彰一

工博 加藤 剛志・浅田 千秋

The Effect of Thermal History in the High Temperature Range on the Mechanical Properties of Ti-Bearing Constructional Steel

Toshiyuki WATANABE, Shoichi FUKUI

Dr. Goshi KATO and Chiaki ASADA

1. ま え が き

圧延後1100°C以上の高温加熱をほどこした含Ti低合金鋼の焼入れ焼もどし後の機械的性質は高温加熱の際の温度および冷却速度によつて著しく影響されることが認められた。含Ti系強靱鋼におけるこのような機械的性質の熱履歴依存性は材力の安定性という意味から、実用上重要な問題であるとともに、現象としても興味深い事柄である。

そこで、熱履歴現象を究明して、含Ti強靱鋼の材力を一そう安定なものとするため、その現象と冶金学的特性について調べたので、これについて報告する。

2. 供 試 材

本研究には主としてTable 1に示すような化学成分の含Ti強靱鋼を用いた。

またTi含有量を変えた実験には主要成分はほぼTable 1と同じでTi含有量のみ変えたものを用いた。

Table 1に示す供試材は、15t電気弧光炉溶解後1.3t鋼塊とし、皮削、分塊圧延、疵取りを経て直径22mmに熱間圧延されたものである。各種の熱処理は直径22

Table 1. Chemical composition. (%)

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Ti
0.19	0.85	1.27	0.022	0.015	0.10	0.06	1.57	0.11

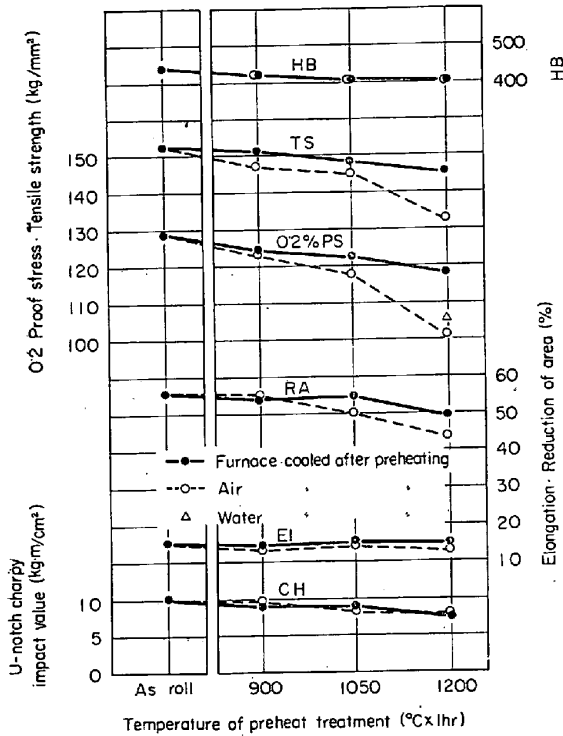


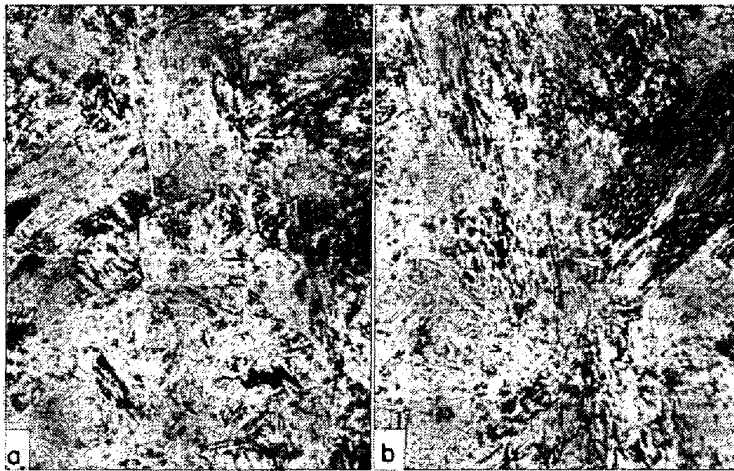
Fig. 1. Effect of cooling rate after pre-heating and its temperature on mechanical properties of Ti-bearing steel in quenched and tempered condition.

mmの状態で行ない、熱処理後 JIS 4 号引張試験片、あるいは JIS 3 号衝撃試験片に機械加工して実験に供した。また顕微鏡組織観察用試片は、主として引張試験片残材で歪の影響を受けていない部分より切り出したものを用いた。

3. 実験結果

3.1 含 Ti 強靱鋼の高温熱履歴現象

Fig. 1 に含 Ti 強靱鋼の焼入焼戻後の機械的性質におよぼす高温加熱温度および高温加熱後の冷却速度の影響



×600 etchant 5% Nital (5/7)

Photo. 1. Micro-structure at the quenched-and tempered condition after preheating in Ti-bearing steel. a) slow cooled after preheating b) rapid cooled after preheating

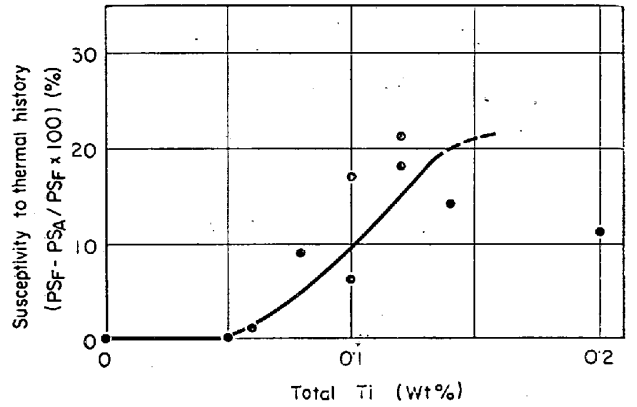


Fig. 2. Effect of total Ti content on susceptibility to thermal history.

(Note, PS_F; 0.2% proof stress of Ti bearing steel at the quenched- and tempered condition previously cooled slowly after pre-heating at 1200°C for 1hr. PS_A; 0.2% proof stress of the steel in quenched- and tempered condition, previously cooled rapidly after the same preheating.)

を示した。焼入れは 880°C × 30 min 油冷、焼もどしは 300°C × 1hr 油冷に一定とした。加熱温度の上昇および高温加熱後の冷却速度が大きくなるにつれて焼入焼もどし後の機械的性質は劣化し、とくに 0.2% 耐力値の低下が著しいことが認められる。高温加熱後急冷したために機械的性質が低下したものは、引張試験片の破断部近傍で、大きな塑性変形を受けた部分の表面はオレンジピール状の肌荒れを呈し、これは機械的性質の低下が著しいものほど顕著である。なお炉冷材ではこの現象は認められない。

1200°C 加熱後炉冷および空冷した試片の焼入焼もどし後の顕微鏡組織を比較して Photo. 1 に示す。炉冷材は一般の圧延材の焼入焼もどし組織と同じで、良好な低炭素マルテンサイト組織を示しているが、空冷材は針状に発達したフェライト (α) が混在する粗大マルテンサイト組織を呈する。このような傾向はやはり、加熱温度が高く、高温加熱後の冷却速度が大なるほど著しい。

また Fig. 2 のごとく機械的性質の熱履歴依存性は Ti 含有量によつて著しく左右され、およそ 0.05% 以下の場合には熱履歴感受性は認められないが、約 0.05% を越えると Ti 含有量の増加につれて、熱履歴感受性も増大していくことがわかる。

3.2 変態特性におよぼす高温加熱後の冷却速度の影響

顕微鏡組織の観察の結果から、含 Ti 鋼の熱履歴現象は、高温加熱による焼入加熱時の変態特性の異常性と関連するものであることが予想される。

1200°C 高温加熱後急冷(空冷以上)されたものの変態点を加熱速度 200°C/hr で測定すると、一般の圧延材、または高温加熱後の炉冷材に比べて、Ac₃ 変態点だけが約 20°C 上昇することがわ

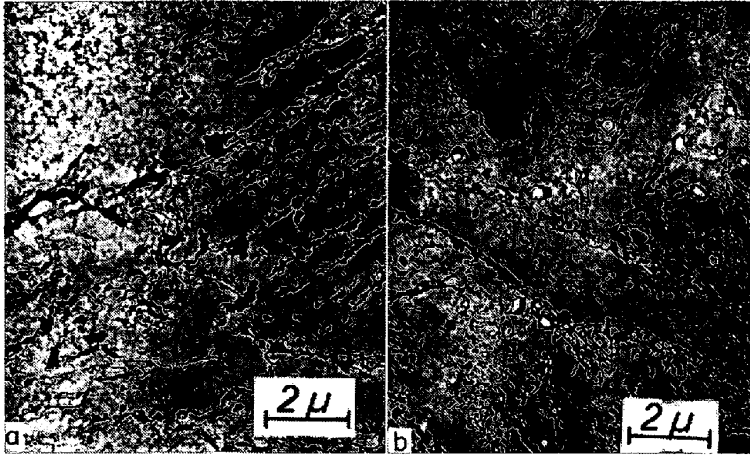


Photo. 2. Extraction replica images at the quenched condition after preheating in Ti-bearing steel.
a) slow cooled after preheating
b) rapid cooled after preheating

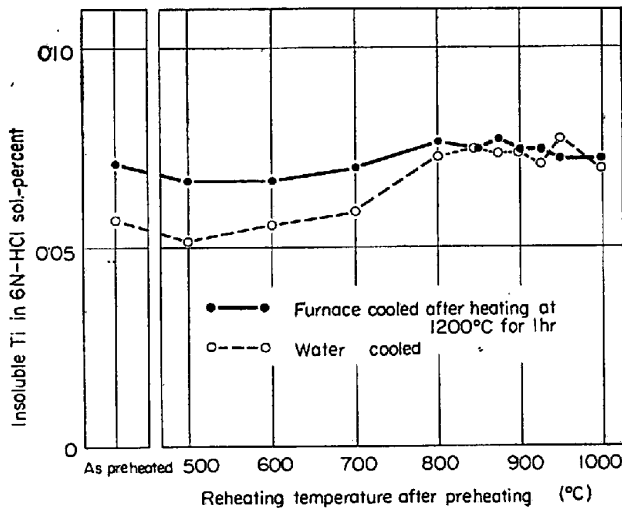


Fig. 3. Change of acid insoluble Ti with reheating temperature in Ti-bearing steel after preheating at 1200°C for 1 hr.

かつた。また加熱速度を約 30°C/min とした場合も同様な傾向が認められた。

高温加熱後の冷却速度の影響が焼入性にも表われる。すなわち高温加熱後空冷されたもの(以後急冷材という)と高温加熱後炉冷されたもの(以後徐冷材という)との焼入性を、ジョミニー試験における 95% マルテンサイトカタサの得られる臨界直径で比べると、急冷材は徐冷材の約 1/2 にまで低下していることがわかった。

急冷材は A_{c3} が上昇し、さらにマルテンサイト変態に対する臨界冷却速度が短時間側に移動する。すなわち焼入性が低下し、このため組織中に針状フェライトが混在したものと思われる。

急冷材および徐冷材について、焼入加熱温度に再加熱した際のオーステナイト (γ) 粒度を測定した結果、 γ 粒度は高温加熱温度あるいはその後の冷却速度によらず一様に微細化されていることがわかった。

3.3 高温加熱による炭化物の挙動

Fig. 2 およびその他の結果から、高温加熱による焼入

性の低下現象は、鋼が Ti を含有することと関連を有することが推定されたので、さらに炭化物の挙動と熱履歴との関係について追求した。

各種の加熱温度から水冷した試料について $H_2SO_4(1:9)$ 水溶液に可溶および不溶の Ti 量を調べたところ、酸可溶 Ti は加熱温度の上昇とともに増加し、他方酸不溶 Ti 量は減少した。X線回折、XMA により、酸不溶 Ti について調べたところ、その主成分は TiC であることがわかった。また、加熱温度を変えて焼入れした試料について焼入焼もどし軟化抵抗性を調べたところ、焼入加熱温度が高いものの方が焼もどし軟化抵抗性が大きい結果が得られた。これらの結果から加熱温度の上昇に伴ない TiC が基地鉄中に固溶していくものと思われる。

つぎに、急冷材および徐冷材を各種の温度に再加熱してから水冷した試料について、6N HCl に対する不溶 Ti 量を測定した結果を Fig. 3 に示す。

徐冷材は急冷材より酸不溶 Ti の量が多く、高温からの急冷によつて TiC の析出が阻止されていることがわかる。再加熱温度の上昇にもなつて酸不溶 Ti 量は増加するが、その増加の程度は急冷材のほうが著しく、とくに 700°C 以上で急増して、800°C 以上では酸不溶 Ti の量は徐冷材と差がない。このように焼入加熱温度までの加熱の途中に析出する TiC の量は高温加熱後の冷却速度によつて差はないが、TiC の析出する場所は前処理によつて著しく異なることが認められた。

Photo. 2 は急冷材および徐冷材を焼入温度付近に再加熱後急冷した場合の抽出レプリカ法による電顕組織である。急冷材では全面に微細に析出した TiC のほかに未固溶の粒状セメンタイトが散在し、また高温加熱後の急冷で生成したマルテンサイトの粒界と思われる部分に連なつて析出した TiC と思われる析出物が認められる。他方、徐冷材は全面に TiC の微細析出が認められるだけである。

急冷材および徐冷材を 700°C に再加熱し、この温度から急冷して析出しているセメンタイト中の元素を XMA によつて調べた。その結果、急冷材のセメンタイト(焼もどし過程中に析出した)には Cr が含まれているが徐冷材のセメンタイトには Cr は含まれず、Mn が含まれていることがわかった。また、いずれの場合もセメンタイト中に Ti が認められた。

4. 考察および結言

以上の実験結果から含 Ti 強靱鋼に認められた高温熱履歴現象の機構について考察すると次のとおりである。高温加熱により固溶した $TiC_{(s)}$ は、その後の急冷により析出が阻止されて、常温では過飽和状態となる。その後の焼入加熱の過程では、高温からの急冷で生じていたマルテンサイト葉の周囲に TiC が優先析出し、その近傍では合金元素、とくに C の稀薄な部分を生ずるものと考えられる。この部分が針状フェライトの生成に寄与し、さらにセメンタイト中に Cr を含むためにセメンタイトの固溶が遅延され、 A_{c3} の上昇と焼入性の低下をもたらすものと考えられる。酸化法によつてオーステナイト粒度を測定すると細粒を示すが、焼入加熱時に旧マルテン

サイト葉(粗大針状晶)内に生成するオーステナイトの方位の差は比較的小さく、したがってこれらのオーステナイトから生成するマルテンサイトの方位の差もまた小さなものと思われる。そのため塑性的挙動は粗大結晶粒のそれを示し、引張試験片の破断部近傍にオレンジピール状肌荒れを生ずるものと思われる³⁾。高温加熱後徐冷した場合には TiC は冷却過程でオーステナイト粒内に均一に析出し、またマルテンサイトも生じないので、焼入れのための再加熱に際して炭化物の局所的な析出は起こらず、セメンタイトの組成も固溶しやすいものであるために、高温熱履歴現象を示さないものと思われる。以上のことから高温加熱による含 Ti 強靱鋼の機械的性質の劣化を改善するためには、高温加熱により地鉄中に固溶した Ti を TiC としてフェライト中に均一に析出せしめるような冷却方法または再熱処理をとればよいことがわかった。

文 献

- 1) 盛, 沢村: 鉄と鋼, 43 (1963), p. 31
- 2) 第22回溶接冶金研究会資料, No. WM-99-65, p. 12
- 3) R. L. KENYON: Trans. Amer. Soc. Metals, 22 (1934), p. 1099

(228) 低合金フェライト・パーライト鋼の機械的性質におよぼす低温変態生成物の影響

金属材料技術研究所

○青木 孝夫・金尾 正雄

東京大学, 工学部 工博 荒木 透

The Effect of Low Temperature Transformation Products on the Mechanical Properties of Low Alloy Steels with Ferrite-Pearlite Structures

Takao AOKI, Masao KANAO
and Dr. Toru ARAKI

1. 緒 言

現在用いられている非調質の溶接構造用高張力鋼は大部分がフェライト・パーライト組織を有する。高張力鋼は溶接性の点から炭素量を低く押え合金元素の合理的な添加によつて強度を高めているが、合金量が多くなると、偏析、冷却速度などにより、フェライト・パーライト以外の低温変態生成物が混在するようになり、機械的性質に影響をおよぼすおそれがある。この点については IRVINE¹⁾や遠藤²⁾も触れているが、本研究は、パーライト変態を抑制する効果の大きい Mo の含有量と、焼ならしの冷却速度を変えて組織を変化させ、フェライト・パーライト鋼の機械的性質におよぼす低温変態生成物の影響を明らかにする目的で行なつたものである。

2. 供試材および実験方法

高周波誘導炉で溶製した 20 kg 鋼塊の化学成分を Table 1 に示す。14 mm 角に鍛圧した試料を

Table 1. Chemical composition of steels tested.

Sample No.	C	Si	Mn	Mo	P	S
1	0.096	0.21	1.36	—	0.019	0.020
2	0.092	0.22	1.40	0.23	0.018	0.022
3	0.100	0.21	1.37	0.43	0.019	0.020
4	0.101	0.18	1.33	0.62	0.019	0.020

900°C × 30 min 加熱後、800~500°C の平均冷却速度がそれぞれ、約 100°C/min, 22°C/min および 1.6°C/min となるように冷却した。100°C/min は 14 mm 角の材料の空冷速度、22°C/min は厚さ 25 mm の 1m² の鋼板の中心部の空冷速度にほぼ相当する。機械的性質は引張試験, JIS 4号試験片による衝撃試験で調べた。引張試験は, ASTM 小型試験片に準拠した直径 6 mm φ, 標点間距離 25 mm のものを用い、インストロン試験機で 5.6 × 10⁻⁴/sec のひずみ速度で行なつた。また LiF の結晶モノクロメーターを用いた X 線デフラクトメーターで、point by point 法により残留オーステナイトの定量を行なつた。

3. 実験結果および考察

3.1 顕微鏡組織

光学顕微鏡とレプリカによる電顕観察で組織を調べた。1.6°C/min で冷却した組織は、Mo が 0 と 0.2% の場合はフェライトとパーライトであり、0.4 と 0.6% では上部ベイナイト的な組織が、やや混在した。この系列ではフェライト結晶粒度がかなり変化し、Mo 0.2% の試料が最も微細であつた。22°C/min で冷却した組織は、Mo が 0 の時はフェライトとパーライトであつたが (Photo. 1 a), Mo が含まれるとベイナイト的な炭化物配列がみられる組織と、マルテンサイト的な部分が混在した (Photo. 1 b)。100°C/min では、Mo が 0 の試料でもベイナイトが混在し、パーライトはわずかであつた。これら低温変態生成物またはパーライトの占める量は、1.6°C/min と 22°C/min の時は Mo 量にしたがつてわずかに増加するのみであつたが、100°C/min では著しく増加した。

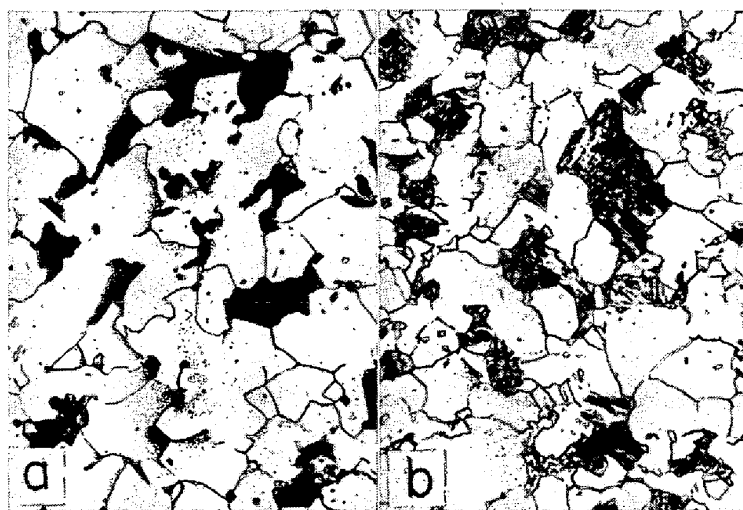


Photo. 1. Microstructures of steel No. 1 and No. 3 (cooling rate 22°C/min). ×800 (3/5)