

(討13) 高Mn-Cr オーステナイト鋼の組織，低温靱性および熱膨張率について

新日鐵 八幡技研 ○吉村博文，清水高治，矢田 浩
八幡厚板部 山田直臣
製品技研 本間弘之

I 緒 言

一般に実用オーステナイト鋼は18-8ステンレス鋼や耐熱鋼などのようにNi, Crを多量に含有させ耐食性耐熱性を向上させたものが多いが，結晶構造がFCCであるために脆性遷移現象を起さず低温でも完全延性を示す。したがってこれら耐食用耐熱用として開発されたオーステナイト鋼もそのまま低温用鋼として適用される場合がある。また非鉄材料においてもFCC構造をもつAl合金例えば5083なども高力耐食合金として開発されたものであるが，これを低温用材料として適用される場合も多い。このようにオーステナイト(γ)組織を有する材料は低温靱性に対してきわめて有利な特性をもっている。低温用材料としては靱性の他に低温の熱膨張率も考慮する必要がある，最近 γ 系で熱膨張率の小さい低温用材料の要求も強い。そこで著者らは低温での諸特性，特に靱性，熱膨張率に注目して γ 化元素として高価なNiの代りにより安価なMnを有効に利用したMn-Cr系 γ 鋼の基礎研究を行なった。

Mn系 γ 鋼の従来の研究としては，安定 γ 域としてはKinzel⁽¹⁾らは20Mn-12Cr系，またBinder⁽²⁾らは高NでMn>12%，Cr<15%で得られるとしており，その他Schumann⁽³⁾，Holden⁽⁴⁾，西山⁽⁵⁾らによるFe-Mn系のMn%と相に関する研究，田村⁽⁶⁾らによるTRIP現象の解明研究がある。また靱性についてはSchumann⁽⁷⁾によれば16~19%MnでCr量の増加とともに γ -相となり靱性を向上することを報告している。この他高Mn γ 鋼のPの挙動等の研究があるが，いずれも低温用材料として適用するための系統的研究は行なわれていない。

そこで本研究では，まず高Mn-Cr系をベースとして安定 γ でしかもすぐれた低温靱性を有し，かつ低温における熱膨張率のできるだけ小さいものについて探索し適正ベース成分系の選定を行なった。さらにこのベース成分系において各種微量元素の添加効果について調べた。⁽⁹⁾以下にその概要を説明する。

II オーステナイト領域と機械的性質および熱膨張率

-196℃の極低温域まで安定して γ 相を有するベース成分系選定のためにMn5~35%，Cr0~15%，Ni0~1%，C0.01~0.15%の範囲で組織と強度靱性の関係を調べた結果(図1)，まず溶体化処理後室温において γ を示す領域は10Mn-10Crと20Mn-0Crを結ぶ線(点線)以上のMn, Cr量の成分範囲になる。-196℃へ深冷処理後ではこの γ 境界線はかなり高Mn, Cr側に移動し15Mn-10Crと25Mn-0Crを結ぶ線(実線)になってくる。

強度は γ 化にともない低下し，例えば一部マルテンサイト(α')を含む10Mn-5Cr系ではC0.01%でも耐力(0.2%PS)57.2kg/mm²，引張強さ(TS)135.3kg/mm²を示しているのに対し，これよりMnが増加し γ 化がすすむにつれMn25%でTSが約60kg/mm²にまで低下してくる。また γ 域ではCの増加により，とくに0.2%PSが上昇するようである。

靱性(vE₋₁₉₆)については強度とは全く逆の傾向で γ 化につれ向上してくる。例えば5Crをベースとしてみると，20Mnまでは靱性は低いが25MnになるとvE₋₁₉₆=10kg-mを示し極低温において充分なる靱性を有して

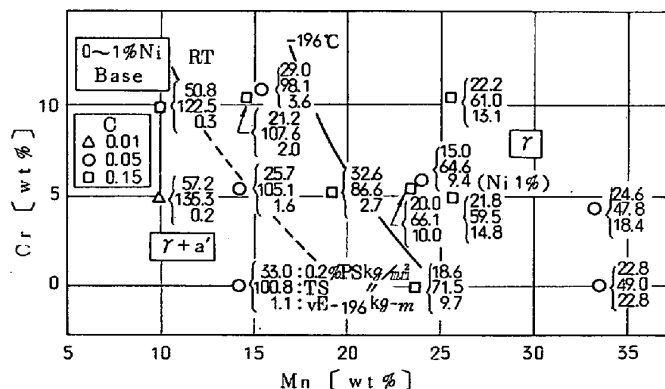


図1. Mn-Cr鋼の組織と強度靱性

いる。25Mn-5Cr系にさらに1%のNiを添加すると $vE_{-196} = 14.8 \text{ kg-m}$ と向上しきわめて安定した高位の靱性を示してくる。

上記で検討した各種Mn-Cr成分系について室温～-196℃での平均熱膨張率を調べた結果、図2に示すようにMn-Cr系7鋼は全般的に約 $9 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 以下であり、既存のCr-Ni系7鋼例えば18-8ステンレス鋼の $13 \sim 14 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ などに較べるとかなり小さい値を示している。なかでも25Mn-5Cr系は6.7～7.2 $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ととっても小さく18-8ステンレス鋼の約半分であり、また同じFCC構造を有するAl合金の $18 \sim 23 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ の約3分の1程度である。

以上の結果から極低温まで安定して γ を示し、強度靱性ともに良好でかつ熱膨張率の小さい成分系としては、0.15C-25Mn-5Cr-1Ni系が選定される。

Ⅲ 25Mn-5Cr-1Ni鋼の組織、強度および靱性におよぼす微量元素の影響

適正ベース成分系として0.15C-25Mn-5Cr-1Ni系の組織、強度および靱性におよぼすNb, V, TiおよびNの微量元素の添加効果を調べた。尚熱膨張率におよぼす影響はいずれの元素においても認められなかったので省略する。

組織におよぼす各元素の効果は次のようである(写真1)。

(1) Nbを添加すると γ 粒が著しく細粒化し、 γ 粒径はベース成分系で $39.1 \times 10^3 \text{ nm}$ であるのに対し、0.08および0.11%Nbで各々13.6, $9.0 \times 10^3 \text{ nm}$ となる。

(2) Vを添加すると組織的にはNb添加の場合と同様に細粒化するが、その程度はNbの場合に較べて小さく0.05および0.10%Vで粒径は各々18.8, $14.5 \times 10^3 \text{ nm}$ となる。

(3) Tiを添加するとNb, Vと同様に細粒化するが、その程度は上記二者の間になっており0.06および0.09%Tiで粒径は各々21.1, $10.5 \times 10^3 \text{ nm}$ となる。

(4) N添加では組織変化はみとめられなかった。

以上のようにNb, V, Tiで細粒化効果が認められるが、そのうちNbの効果がもっとも大きい。

これに対応する機械的性質の変化は次のようである。

(1) Nbの添加により0.2%PSおよびTSは上昇し、例えば0.11%添加で0.2%PS, TSとも 10 kg/mm^2 程度の強化を示す。一方これに対応して伸び(ϵ_l), 絞り(RA), 靱性(vE_{-196} , pE_{-196})いずれも低下する傾向を示す(図3)。しかしこの場合の試験片の破断破面はいずれも100%延性である。

(2) VもNbと同様の強化効果を示すがNbに較べその効果は小さく、したがって ϵ_l , RAおよび vE_{-196} , pE_{-196} もほとんど低下しない。

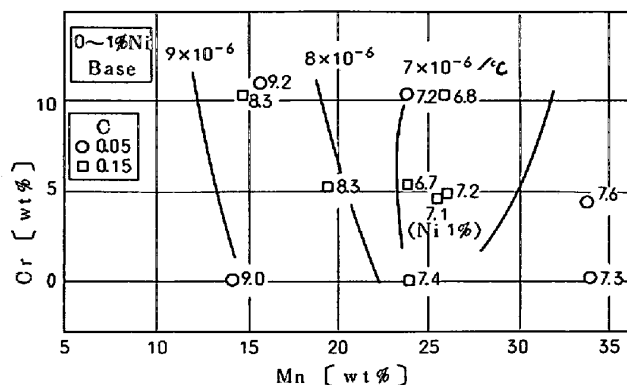


図2. Mn-Cr鋼の平均熱膨張率(室温～-196℃)

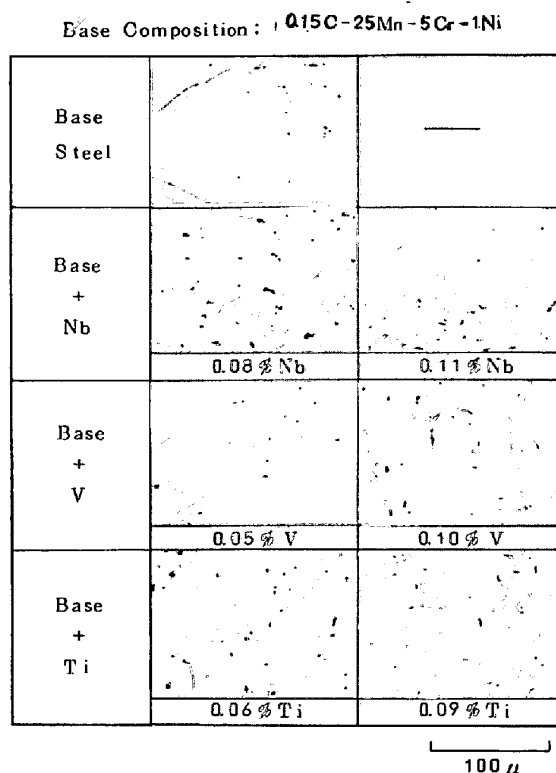


写真1. 25Mn-5Cr-1Ni鋼の組織におよぼす微量元素の影響

(3) Ti 添加は組織変化の場合と同様にNb, V 添加の場合の中間となる。

(4) N 添加にともなう0.2% PSの変化をNb 有無の場合について図4に示す。Nb なしではN 0.05%で平均3 kg/mm² 上昇する。一方Nb 添加ではさらに大巾に上昇する。これはN による固溶硬化とNb-Nの析出による細粒化の効果が加わったためと考えられる。

IV γ 粒径と強度靱性

これまでの結果より γ 粒径と機械的性質の間にはある相関々係があるように思われる。

図5は γ 粒径の $d^{-1/2}$ と0.2% PS の関係を示している。これより明らかなように $d^{-1/2}$ が大きくなるにつれ、すなわち γ 粒径が小さくなるにつれ0.2% PS が増し両者の間には直線関係がみられ、フェライト(α)鋼と同様Petch⁽¹⁰⁾の式にしたがって次のようにあらわせる。

$$0.2\% \text{PS} = 7.5 + 2.75 d^{-1/2}$$

またこのような関係はTS においても得ることができる。

図6に γ 粒径とvE-196の関係を示す。図より γ 細粒化とともに靱性は低下することがわかる。

γ 系でも前述のように結晶粒細粒化により強化することは α 系の場合と変わらないが、靱性が低下する点は従来知られている α 系の場合とかなり異なった挙動を示す。この点について若干の考察を加えてみる。

一般に α 系での破壊ではマトリクスそのものは本質的に脆性破壊を起す性質を有し、破壊の発生伝播を阻止するためには結晶粒径を出来るだけ小さくして破壊伝播経路をできるだけ小さくすることが有効であるとされている⁽¹¹⁾。一方 γ 系では破壊は本質的に完全延性破壊であり、 γ そのものはきわめて靱性の高いものである。ところがこれを細粒化することは結晶粒界なる格子欠陥をより多く導入することであり靱性に対しては不利に働くものと考えられる。このように γ 系と α 系とでは靱性におよぼす結晶粒界の影響が本質的に異なるようである。

γ 粒径と強度、 γ 粒径と靱性に各々関係があるならば強度と靱性にも一定の関係があるのは当然である。図7にその一例としてTS とvE-196 の関係を示す。この図から明らかなように強度と靱性の間にも一定の相関があり、

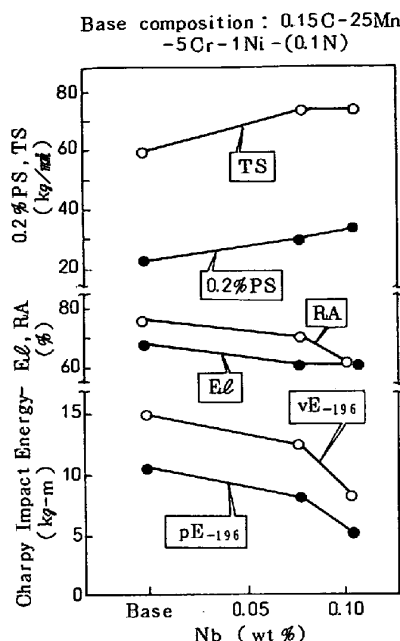


図3. 25Mn-5Cr-1Ni 鋼の強度靱性におよぼすNbの効果

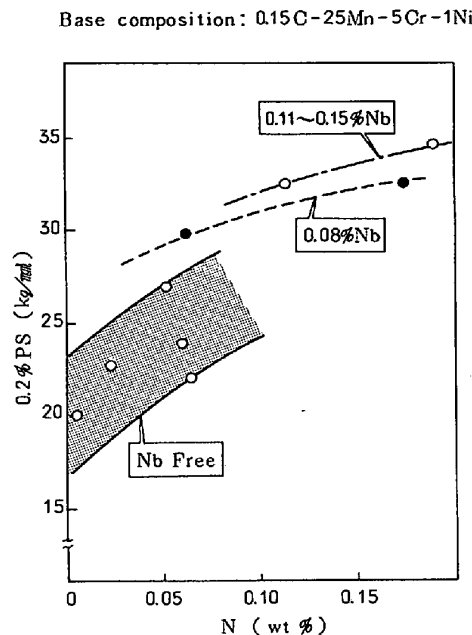


図4. 25Mn-5Cr-1Ni 鋼の強度におよぼすNの効果

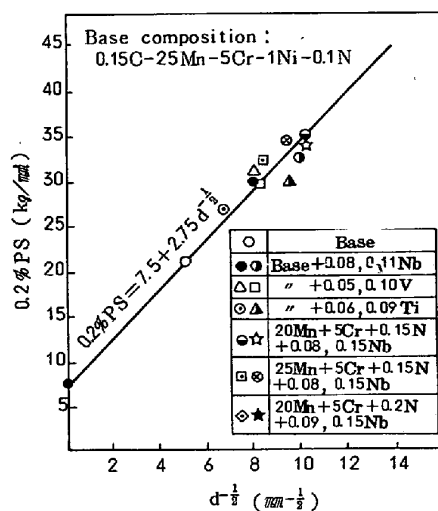


図5. 25Mn-5Cr-1Ni 鋼の γ 粒径と0.2% PS

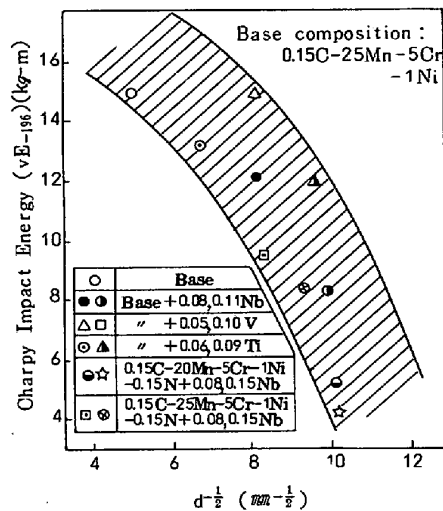


図6. 25Mn-5Cr-1Ni 鋼の γ 粒径とvE-196

'75-A 52

強度が上昇すれば靱性は低下する。この場合 9Ni 鋼等で代表される低温用鋼で要求されていた靱性 $vE_{-196} > 3.5 \text{ kg-m}$ を満足する最大の TS は 80 kg/mm^2 程度であることがわかる。0.2% PS と vE_{-196} との間にも同様の関係がみつめられる。

V 低温における強度と伸び

図 8 に 25Mn-5Cr-1Ni ベース成分系および 0.11% Nb 添加の場合の低温引張試験結果を示す。

まずベース成分系では TS は室温において約 60 kg/mm^2 あるのに対し試験温度低下とともに上昇し、 -196°C では 120 kg/mm^2 程度となる。一方 0.2% PS についても同様で室温で 20 kg/mm^2 程度から -196°C で 50 kg/mm^2 程度と直線的に上昇する。このように TS と 0.2% PS は温度低下とともに平行もしくはその差が開きながら変化する。一方 ϵ_l についてみると室温の 70% 程度から -196°C の 30% 程度へとほぼ直線的に低下するが、 -196°C の TS 120 kg/mm^2 と考えると、一般の α 系鋼などの強度/伸びの関係と比較するとこの値は大きい。このことからこの系の鋼は極低温においても充分なる延性を示すことがわかる。図 8 には Nb の有無の差も示しているが両者の関係は室温での強度、伸びの差つまり Nb 添加により高強度化し、 ϵ_l は小さくなるという傾向が -196°C までほぼ平行して持続されている。

VI まとめ

以上高 Mn-Cr オーステナイト鋼の基本検討を行なったがその結果をまとめると次のようになる。

(1) 極低温まで安定 γ 相を示し強度靱性ともに良好でかつ熱膨張率の小さいベース成分系として 0.15C-25Mn-5Cr-1Ni 系が選定された。

(2) このベース成分系に対する微量元素 (Nb, V, Ti, N) の添加効果を調べた結果 Nb の細粒化効果が大きく、高強度と充分な靱性がえられる。0.2% PS はとくに Nb-N の複合添加で顕著な上昇が見られる。

(3) 25Mn-5Cr-1Ni 系において γ 粒径、強度、靱性の間には各々相関があり、 γ 粒径が小さくなれば強度は上昇し靱性は低下する。

(4) 25Mn-5Cr-1Ni 系は低温で強度の上昇が著しいが、これに伴う延性の低下は比較的少ない。

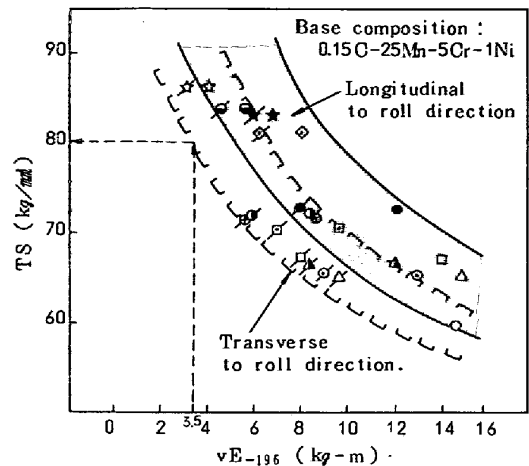


図 7. 25Mn-5Cr-1Ni 鋼の強度と靱性

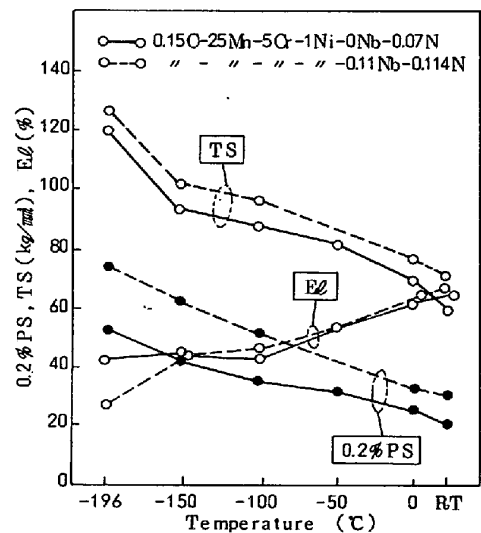


図 8. 25Mn-5Cr-1Ni 鋼の低温引張特性

参考文献

- | | |
|---|---|
| (1) A.B.Kinzel et al; "Alloys of Iron & Chromium" P277 Mc Grow Hill Book. | (6) 田村ら ; 鋼の強靱性 (1971) 721 |
| (2) W.O.Binder et al; Trans. ASM 47(1955) 231 | (7) H.Schumann ; Neue Hütte. 7 (1962) 735 |
| (3) H.Schumann ; Arch. Eisenh. 38 (1967) 647 | (8) シェルスチュークら; 金相学と熱処理 10 (1972) 82 |
| (4) A.Holden et al ; JISI 209 (1971) 721 | (9) 吉村ら ; S48 鉄鋼協会 86 回講演予講 P 419 |
| (5) 西山ら ; J.Phys. Soc. Japan. 15 (1960) 131 | (10) N.J.Petch ; JISI 191 (1953) 25 |
| | (11) 松田ら ; 鋼の強靱性 (1971) 45 |