

669.15'26'28-194:539.4.016.3:669.293

Fig. 2 にその結果を示した. Fig. 2 (a) は窒素量 0.10% 前後のもの、0.4% 以上の高窒素のものに分けて Mo 量の影響を図示したもので、窒素量の多少にかかわらず、2% までの Mo の添加による効果は著しく大きい。2% 以上 Mo を加えても 0.1% 以下の窒素の場合はほとんど効果がない。0.4% 以上の窒素を含む場合は Mo を 6% まで増してもなおかなり強度は向上するようである。Fig. 2 (b) は窒素量を横軸にとつて示したもので、窒素による高温強度の改善は Mo 量の多少によつてあまり変わらず、常にかかなり大きな効果を与えることがわかる。

これらの結果から、高濃度の窒素とともに 6% 程度の Mo を添加し、1100°C 付近で溶体化焼入すれば、700°C 付近でかなりすぐれた抗クリープ性を示すことが期待できよう。

#### 4. 結 言

Mo および窒素含有量の異なる数種類の 25Cr-28Ni 耐熱鋼についてクリープ破断試験を行ない、Mo および窒素量の影響、並びに溶体化温度の影響を検討した。その結果を要約すると、

(1) 窒素量約 0.1% 程度の場合は Mo 2% までの添加により高温強度はかなり向上するが、それ以上 6% まで Mo を増してもほとんど強度は変わらない。

(2) 窒素量約 0.4~0.54% の場合も 2% までの Mo による高温強度改善効果は顕著であるが、それ以上 6% まで Mo を増してもなおかなり強度が向上する。

(3) 窒素の添加は Mo 量の多少にかかわらず、常に著しく抗クリープ性を改善する。

(4) 溶体化温度の影響は顕著ではないが、1100°C 付近の比較的低い温度で溶体化して、未溶解窒化物を残存させた方が、長時間クリープ破断強度は大となる。

#### 文 献

- 1) 田中, 篠田: 鉄と鋼, 51 (1965) 11
- 2) E. J. DULIS & G. V. SMITH: Trans. Met. Soc., Amer. Inst. Min., Met. & Pet. Eng., 194 (1952), p. 1083
- 3) G. V. SMITH, E. J. DULIS & E. G. HOUSTON: Trans. Amer. Soc. Metals, 42 (1950), p. 935
- 4) 岡本, 田中, 深海: 鉄と鋼, 49 (1963), p. 1565
- 5) 岡本, 田中, 藤本: 鉄と鋼, 49 (1963), p. 1802
- 6) 岡本, 田中, 藤本: 鉄と鋼, 49 (1963), p. 613

### (160) SCM3 の機械的性質におよぼす少量 Nb 添加の影響

神戸製鋼所, 中央研究所 鈴木 章  
 " 神戸工場 金田 次雄  
 " 中央研究所 新名 英司  
 ○梶 晴男

#### The Influence of Small Niobium Addition on the Mechanical Properties of JIS SCM3 Steel.

Akira SUZUKI, Tsugio KANEDA  
 Eiji NIINA and Haruo KAJI.

#### 1. 緒 言

前報<sup>1,2)</sup>において、少量の Nb が低炭素鋼および中炭素鋼の諸性質におよぼす影響について報告し、Nb はオーステナイト結晶粒の微細化に非常に有効であり、通常の熱処理では結晶粒微細化によつて Al と同程度の機械的性質改善効果を示すが、とくに高いオーステナイト化温度で熱処理すれば、Nb 炭化物の析出硬化によつて常温および高温強度を著しく向上せしめることをのべた。Nb の有するこれら 2 つの作用は、焼入れ焼もどし組織に対しても有利な影響をおよぼす可能性があるため、構造用合金鋼として用途の広い SCM3 を選び、その諸性質におよぼす少量 Nb 添加の影響を調査した。

#### 2. 供 試 材

供試材は 0.04% Nb を含有するものおよび比較材として 0.012% Al を含有するもの 2 鋼種であり、100kVA 塩基性高周波炉を用いて溶解した。電気炉精製鋼を装入し、これが溶け落ちたとき Ferro Cr, Ferro Mo を投入し、次に Ferro Mn, Ferro Si で脱酸したのち Nb (Ferro Nb) または Al を添加し押湯付丸型鋳型に注入して 90kg 鋼塊を得た。各鋼塊は 30mm φ (ジョミニー試験および衝撃試験)、25mm φ (引張試験) および 20mm φ (疲労試験およびラプチャー試験) に鍛伸しそれぞれの試験に供した。Table 1 に供試材の化学成分を示す。

#### 3. 試 験 方 法

Nb 炭化物をオーステナイトに固溶させるには非常に高温 (1200°C 付近) に加熱する必要があるため、Nb がフェライトの硬化に有効であるためには、まずオーステナイトに固溶していることが必要であること、および未溶解の Nb は grain refining には有効であるが、それ自

Table 1. Chemical composition of steels tested. (%)

Steel	C	Si	Mn	P	S
Steel N	0.37	0.29	0.80	0.005	0.006
Steel A	0.39	0.33	0.79	0.006	0.006

Steel	Cr	Mo	Nb	Al	N
Steel N	1.03	0.25	0.04	—	0.0049
Steel A	1.03	0.24	—	0.012	0.0045

体では強度や焼入性にはほとんど影響しないことは前報<sup>1)2)</sup>より明らかである。したがって本研究でも Nb の効果を検出するためには焼入温度をかなり高くする必要があると考えられる。また SCM3 は炭素鋼と異なり変態点が高いので、空冷程度の冷却速度でも Nb の固溶状態を常温までもちきたす可能性があると考えられる。

以上の点を考慮し、焼入温度として通常の 850°C、Nb 炭化物が固溶する 1200°C および中間の 1000°C の 3 種を選び、完全焼入れ（油冷）または不完全焼入れ（空冷）したのち、各種温度で焼もどし処理をほどこした材料について諸性質を検討した。

#### 4. 試験結果ならびに考察

##### 4.1 オーステナイト結晶粒度

供試材のオーステナイト結晶粒度は 900°C~1200°C の範囲の 50°C ごとの各温度で、網目状初析フェライトによつて測定した。粗大化温度（JIS 粒度番号が 5 になる温度）は steel N が 1025°C、steel A が 960°C であり、Nb は SCM3 のような低合金鋼においてもすぐれた grain refiner であることが明らかである。

##### 4.2 焼入性

焼入加熱温度を 850°C とし、ジョミニ式一端焼入試験を行なった結果、steel N の焼入性は比較材よりごくわずかに小さかった。Nb は鋼中の炭素を固定するので焼入性を低下させる作用をもつと考えられるが、添加量が少ないときはその効果は微弱であると思われる。

##### 4.3 焼もどし硬さ

焼入れ焼もどし時の Nb の挙動を推定するため、小試料を 850°C または 1200°C に 2 時間加熱した後、油冷または空冷し、300°C~725°C の各温度で 2hr 焼もどしして硬さを測定した。Fig. 1 には 1200°C 油冷の場合を示す。焼入加熱温度が 850°C のとき両供試材の焼もどし硬さ曲線は全く一致して Nb の影響は認められない。次に加熱温度が 1200°C のとき、油冷または空冷のいずれの冷却条件でも、steel N は焼もどし温度 525°C~550°C で二次硬化を示している。0.04% Nb による二次硬化の量はピッカース硬さで 50~60 であり、Nb によ

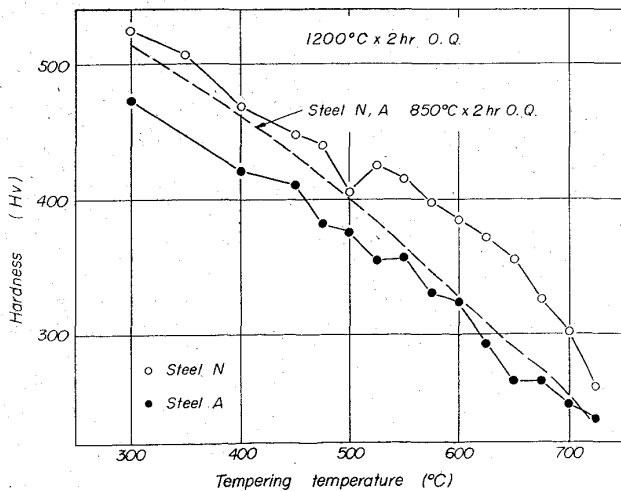


Fig. 1. Tempering hardness curves for steel N and steel A soaked at 1200°C before quenching.

る二次硬化の強さは同一重量濃度で比較するとき、Mo の数倍、Cr の数十倍と非常に大きい。微量 Nb による焼ならし炭素鋼の降伏点上昇は、冷却中に微細にしてフェライトと coherency を有する Nb 炭化物が析出することによると信じられているが、焼入れ焼もどし処理でも、Nb は同様な析出挙動を示すためこのように大きい二次硬化を示すものと考えられる。

##### 4.4 引張り性質

両供試材とも 25mm  $\phi$  × 120mm L の材料を 850°C、1000°C および 1200°C に 2hr 加熱したのち油冷または空冷し、350°C、500°C および 650°C × 4hr の焼もどし処理をほどこして油冷した。（焼割れを防止するため 1000°C 以上に加熱したものは、850°C の炉に移しかえ 20min 間保持したのち油冷または空冷した。以下すべての焼入処理はこのように行なつたが、これを単に「1200°C 油冷」などと称する）。引張試験は JIS 4 号試験片（平行部径 12mm）により 5mm/min の歪速度でおこなつた。Fig. 2 に完全焼入れ焼もどし材、Fig. 3 に不完全焼入れ焼もどし材の引張試験結果を示す。加熱温度が 850°C または 1000°C では steel N と steel A とで強度に差がなく、Nb 添加の影響が認められないが、1200°C 油冷または空冷処理後は 650°C の焼もどし処理で steel N が著しい軟化抵抗を示して、耐力、引張強さとも steel A より 15~20 kg/mm<sup>2</sup> 高くなつている。

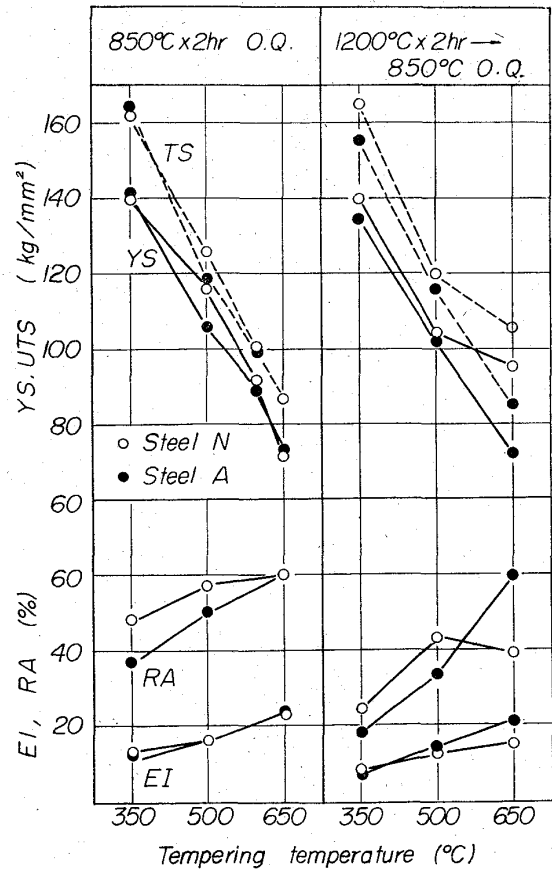


Fig. 2. The effect of austenitizing temperature on the tensile properties of steel N and steel A which have tempered martensite structures.

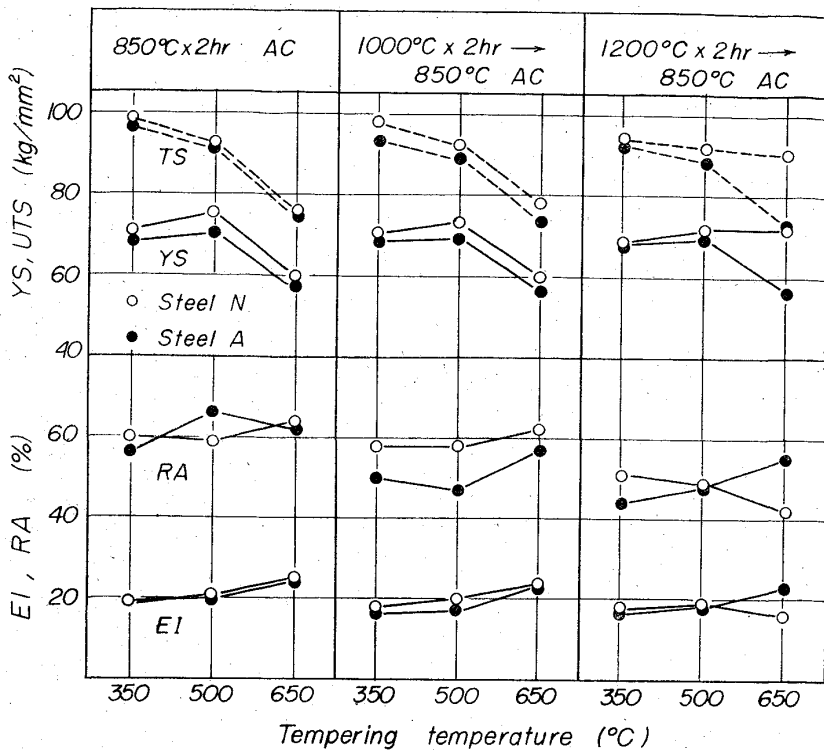


Fig. 3. The effect of austenitizing temperature on the tensile properties of steel N and steel A which have tempered bainite structures.

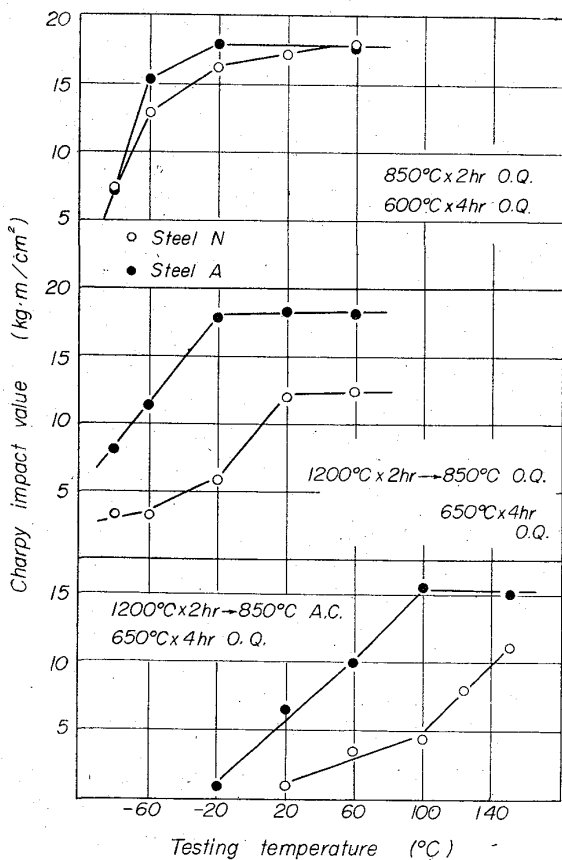


Fig. 4. The effect of various heat treatments on the impact transition temperatures of steel N and steel A.

4.5 衝撃遷移温度

Fig. 4 に図中に示した3種の熱処理をほどこした両供試材の衝撃遷移温度曲線を示す。試験片は JIS 4号試験片 (2mm V) である。850°C 油冷では両者の遷移温度はほとんど同じであるが、焼入加熱温度が 1200°C のとき steel N の遷移温度は steel A よりかなり高く、Nb による二次硬化は鋼の遷移温度を高めることが明らかである。

4.6 疲労強度

前項と同一の熱処理をほどこした後、小野式回転曲げ疲労試験を行なった結果、1200°C 油冷材では 8 kg/mm<sup>2</sup>、また同じく空冷材では 6 kg/mm<sup>2</sup> だけ steel N のほうが高い疲労限を示した。しかし引張強さに対する疲労限の比はいずれの鋼でも 43% 前後で差はなく、とくに Nb 添加の影響は認められない。

4.7 ラプチャー強度

Fig. 5 に 500°C におけるラプチャー試験結果を示す、熱処理は図中に示した3種類である。1200°C 油冷または空冷処理において Nb 添加の効果が顕著にあらわれているのはこれまでと同じである。同一熱処理をほどこした材料の常温引張強さおよび 500°C での短時間引張強さに対する 1000hr 破断強さの比をみれば、850°C 油冷では両供試材とも同じであるが、1200°C 油冷または空冷材では steel N のほうが大きい値を示しており、Nb の析出硬化は高温長時間側でより有利に作用することがわかる。このことは Nb 炭化物の安定性を暗示するものと思われる。

5. 結 言

0.04% Nb を含有する SCM3 に種々なる熱処理をほどこして諸性質を検討した結果つぎのことが明らかとな

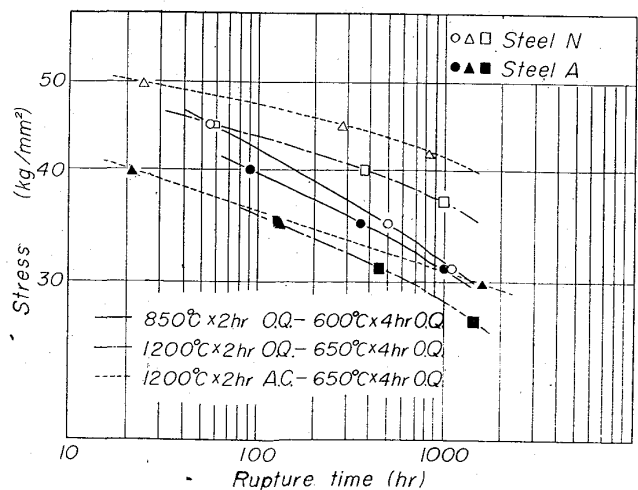


Fig. 5. The effect of various heat treatments on the rupture strength of steel N and steel A.

つた。

(1) 少量のNbは低合金鋼のオーステナイト粗大化防止に有効である。

(2) Nbは1200°Cでオーステナイトに固溶し、油冷または空冷後、525°C以上に焼もどすと顕著な二次硬化を生ずる。このため鋼の強度は上昇するが、延性ならびに靱性は低下する。

(3) Nbの二次硬化は、高温長時間強度にはとくに有利なようである。

文 献

- 1) 鈴木, 金田, 新名, 梶: 鉄と鋼, 50 (1964), p. 2014
- 2) 鈴木, 金田, 新名, 梶: 鉄と鋼, 51 (1965), p. 1076

(161) Cr-Mo鋼のMs付近におけるベイナイト変態について

金属材料技術研究所

○中島 宏興・工博 荒木 透

Bainite Transformation of Cr-Mo Steel in Temperature Range Near Ms.

Hirooki NAKAJIMA and Dr. Tōru ARAKI.

1. 緒 言

ベイナイト変態は約350°Cを境にして上部ベイナイト変態と下部ベイナイト変態でそのkineticsに相異のあることが報告されている<sup>1)~3)</sup>。Ms温度以下ではベイナイト変態がマルテンサイトによつて促進される<sup>4)</sup>ことは知られているが、定量的な研究は少なくそのkineticsについても不明な点が多い。

また、オーステンパーやマルテンパー処理によつてえられたベイナイトは、一般に焼もどしマルテンサイトよりも靱性がすぐれているとされている<sup>5)</sup>が、その原因など未解決な点が多い。

これらの問題を解明するために、まず0.5% CのCr-Mo鋼を用いMs付近のベイナイト変態について調べ、そのnose付近における恒温変態によつて得られたいろいろな混合割合の焼もどしマルテンサイトとベイナイトについて機械的性質を比較した。

2. 実験試料および方法

工業用のCr-Mo鋼(SCM 22)を母材とし再溶解によつて0.5% Cに加炭して供試材とした。その化学組成をTable 1に示す。

MsおよびMs以下におけるマルテンサイト量の測定は、(1) GRENINGER-TROIANOの組織法<sup>6)</sup> (2) 熱膨張測定とX線測定、の2方法によつて行なつた。

恒温変態図は主に熱膨張計測定によつて作成した。試験片の寸法は2mmφ×30mm lである。

Table 1. Chemical composition of sample. (%)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu
0.50	0.20	0.62	0.010	0.010	0.99	0.21	0.03	0.15

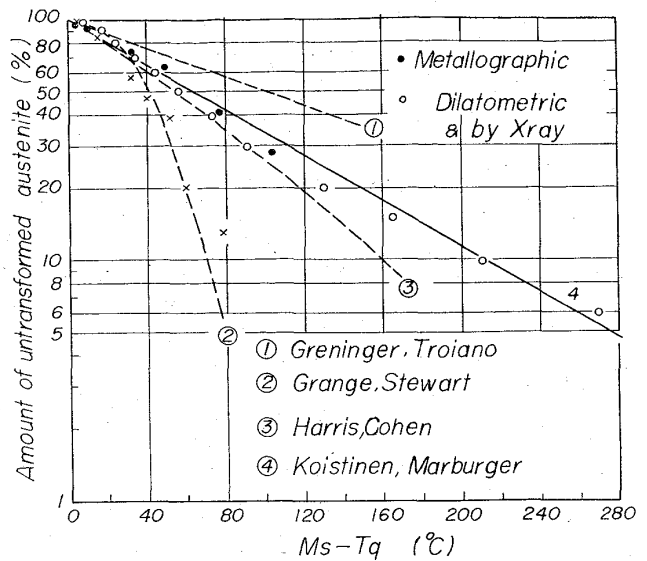


Fig. 1. The amount of untransformed austenite as a function of the difference between Ms and Tq reached during quenching.

引張試験はTOM 5000型引張試験機により行ない、試験片は平行部の直径が3.0mm、長さが15mmである。

3. 結果および考察

3.1 Ms温度およびマルテンサイト量の測定

MsおよびMs以下の各温度におけるマルテンサイト生成量の測定にはGRENINGER-TROIANOの組織法が広く用いられている。生成したマルテンサイトを黒化させるために400°C×5secの焼もどしを行なつて測定したところ、Fig. 1の×印のような結果がえられた。Fig. 1で縦軸は未変態のオーステナイト量、横軸はMsと各変態温度(Tq)との差である。一方、熱膨張測定とX線回折測定から得られたマルテンサイト変態量はFig. 1の白丸のようになる。両者による測定値は変態量の少ない時にはほぼ一致しているが、温度の低下と共に組織法では高い変態量を示すようになる。Ms以下の各温度とマルテンサイト変態量との関係については、GRENINGER, TROIANO<sup>6)</sup> (半定量的), GRANGE, STEWART<sup>7)</sup>, HARRIS, COHEN<sup>8)</sup>らが組織法による測定を行なつている。そしてHARRISらは未変態オーステナイト量が、

$$V_r = 6.95 \times 10^{-13} [455 - (Ms - Tq)]^{5.32} \dots (1)$$

で表わされるとしている。ここでV<sub>r</sub>は未変態のオーステナイト量(%), Msはマルテンサイト変態開始温度(°C), TqはMs以下の変態温度(°C)である。また、KOISTINEN, MARBURGER<sup>9)</sup>はX線回折法によつて、

$$V_r = 10^2 \exp[-1.10 \times 10^{-2} (Ms - Tq)] \dots (2)$$

なる式を得ている。これらのデータをFig. 1に示した。GRANGEらのデータ(SAE 4140鋼)②はMs以下約30°Cから急速に高いマルテンサイト量を示している。焼もどし温度としてGRENINGERらは280°C×5sec, GRANGEらは704°C×5sec, HARRISらは332°C×10secを採用している。GRANGEらの温度は非常に高いが中炭素のCr-Mo鋼は600°C付近で変態が遅れ、むしろ適切な温度のように思われる。