

さがやや低下するが、添加量が増加すると Fe_2U 生成のため増加する。しかし 0.25% C 鋼では、U 量とともに炭化物生成のため硬さがやや増加する。鋼の変態点は U 添加が微量の場合はほとんど影響されない。

(6) 顕微鏡組織に対しては、U 添加によつて 0.06% C 鋼では粒界に Fe_2U を生成するが、C 量の増加とともに炭化物 UC の量も増加する。また U 量がやや多く (例えば 0.34% U, 0.07% C 鋼) になるとサイアノ・ナイトライド U(C, N) と考えられる 6 方晶の化合物が認められるようになる。

(7) 950°C 以上とくに 1050°C 以上では U はオーステナイトに固溶する。これを急冷すれば擬マルテンサイト組織が得られ、硬さも高くなり、かつ 450~550°C の焼戻によつてかなりの二次硬化を示すようになる。

(8) U のフェライト域に対する溶解度は全くない。

(9) 低炭素鋼の焼入性に対し、900°C 以下の溶体化では U の効果はほとんどないが、950°C 以上の焼入によ

つて焼入性の増大を示す。

(10) U は常温の機械的性質にはほとんど影響しないが、U 添加量が 0.2% を越えると Fe_2U , UC の生成により衝撃値が急激に低下する。

(11) U 添加によつて低炭素鋼の加工硬化能は変化を受けない。また U は C, N などの溶質原子を固定するため歪時効性を阻止する。

(12) V 添加鋼は塩酸に対する耐食性が改良されるが、硫酸に対しては反対に U 添加量とともに低下し、ひどい孔食を起すようになる。

文 献

- 1) 長谷川, 斧田: 鉄と鋼, 49 (1963) 2, p. 62~82
- 2) EDITED by R. F. KNIGHT & D. K. FAURSCHE: "The Influence of Uranium Addition to Ferrous Alloys", Dep. of Mines and Technical Surveys-Ottawa, Mines Research Rep. R-95 (Apr. 1962) 320 pp.

低 Ni-Cr-Mo-V-B 系高張力鋼の熱処理について*

美馬 源次郎**・山根 寿巳***

On the Heat-treatment of a Low Ni-Cr-Mo-V-B High Tensile Alloy Steel.

Genjiro MIMA and Toshimi YAMANE

Synopsis:

An 80 kg/mm² high tensile steel with a low carbon equivalent value and difficult to harden by quenching was tempered after water-quenching or transformed isothermally and the mechanical properties and the internal friction were measured. The internal friction at room temperature was calculated from the time during which the strain amplitude of the sample set free after being subjected to a transversal resonance vibration by the electromagnetic method decreased to 1/n of the initial value.

The experimental results are as follows:

(1) The sample quenched in water has a low strain amplitude-dependent internal friction and shows a low quenchability.

(2) The strain amplitude-independent internal friction of the specimen quenched in water from 900°C decreases remarkably by tempering in the temperature range from 20°C to 200°C, shows little change in the range from 300°C to 500°C, and increases in the range from 550°C to 700°C. These changes correspond to the changes in the Charpy impact value. The three stages in the variation of internal friction are interpreted respectively as due to the precipitation of carbides from martensite, the decomposition of martensite and the formation of carbides.

(3) The transition temperature rise by tempering in the temperature range between 300°C and 500°C, reaches a minimum after tempering at 700°C. The transition temperature is influenced by the form and distribution of carbides.

(4) The sample transformed isothermally has a strain amplitude-dependent internal friction.

(Received 10 Apr. 1963)

* 昭和38年4月本会講演大会にて発表 昭和38年4月10日受付

** 大阪大学工学部教授 工博 *** 大阪大学工学部講師, 日立造船株式会社技術研究所 工博

I. 緒 言

構造用鋼材として最近広く使用されるようになった80 kg/mm² 高張力鋼は溶接性の良いことを必須な性質としているために、熱影響部の割れ発生の要因である熱影響による硬化を起こさせずに引張り強さを高め、かつ他方において合金元素の硬化におよぼす等価炭素量を高めないようにしている。

このように熱処理に敏感でない高張力鋼の熱処理の過程中に観察される種々な現象を、組織の変化にきわめて敏感な内部摩擦の測定により研究することはきわめて興味あることである。この80 kg/mm² 級の高張力鋼の熱処理による機械的性質と組織の変化については比較的よく研究されるが²⁾、物理的な測定方法により熱処理にともなう諸現象を研究した人はほとんどなく、とくに内部摩擦による研究はいまだ行なわれたことがない。

かかる観点から80 kg/mm² 高張力鋼に焼き入れ後の焼き戻しおよび恒温変態処理を行ない、この間に見られる諸現象について興味ある実験結果を得たのでここに報告する。

II. 試料および実験方法

実験に供した試験片は Table 1 に示す組成を有する20mm厚の圧延鋼板から圧延方向に平行に切り出した。引張り試験にはJIS 4号引張り試験片を、シャルピー試験にはJIS 4号Vノッチ標準衝撃試験片を使用した。シャルピー衝撃試験のノッチは板厚面に入れた。内部摩擦測定用試験片は5×10×200mmの寸法で、すでに発表されている電磁的方法³⁾で試料に横共鳴振動を与え、駆動電流を切り、歪振幅が1/nに(本実験ではn=4)なるまでの時間t_nを測定して

$$Q^{-1} = \ln n / \pi f_0 t_n \dots \dots \dots (1)$$

ただしf₀は共鳴振動数、Q⁻¹は内部摩擦

(1)式により内部摩擦Q⁻¹を求めた。

内部摩擦は組織の変化に非常に敏感なので、焼き戻し温度による内部摩擦の変化を知るには、同一試験片につ

Table 1. Chemical composition of the steel. (In wt. %)

C	Si	Mn	P	S	Ni
0.14	0.27	0.73	0.015	0.01	1.40
Cr	Mo	V	Cu	B	
0.65	0.49	0.16	0.25	0.04	

いて測定するのが望ましい。そのため900°Cより水焼き入れした試験片を150°Cで焼き戻しをして空冷後内部摩擦を室温(15°C)で測定し、次に250°Cに焼き戻し……というように低い温度から焼き戻し順次高い温度で焼き戻しを同一試料に与えて測定した。また恒温変態処理は900°Cから所定温度に保持した塩浴に焼き入れて変態完了まで試料を浸漬保持し塩浴より取り出し空冷後水洗して内部摩擦を測定し、次に同じ試験片をより高い恒温変態温度で900°Cから焼き入れて恒温変態させて空冷後室温で内部摩擦を測定した。

III. 実験結果

1. 焼き入れ焼き戻しをした場合

900°Cから水焼き入れ後、低い温度から順次高い温度で焼き戻し空冷した試験片の内部摩擦の振幅依存性を測定した結果を Fig. 1 に示す。過去の筆者らの実験⁴⁾によれば、焼き入れ組織であるマルテンサイトは歪振幅依存性の内部摩擦を有していなかったが、本研究に使用した80 kg/mm² 高張力鋼は焼き入れのままの状態でも歪振幅依存性の内部摩擦を有している。水焼き入れした試料の組織は Photo. 1(a) に示すように針状のマルテンサイト組織になっている。しかし一方、焼き入れ状態における機械的性質はSCM 21⁵⁾のような低合金鋼にくらべて、硬度、引張り強さは低く、伸びとシャルピー衝撃値は高く、焼き入れ性の悪いことがわかる。焼き戻し温度

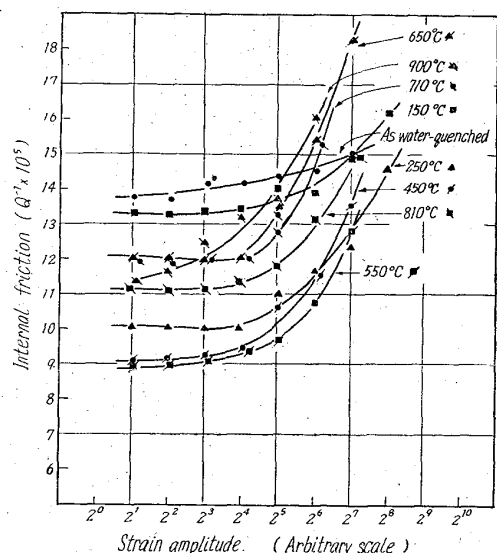
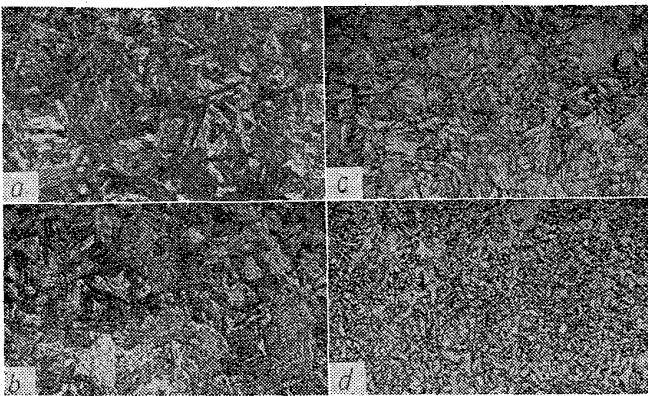


Fig. 1. Strain amplitude dependence of the internal friction of a specimen tempered at various temperatures for 30 minutes from lower temperature to higher temperature in succession after water-quenching from 900°C.



(a) As quenched in water (c) Tempered at 700°C
(b) Tempered at 400°C (d) Tempered at 800°C

Photo. 1. Microstructures of the steel quenched in water and tempered at several temperatures for 30mn after the water-quenching. $\times 400$ (1/2)

ないが引張り強さのわずかな低下と衝撃値のわずかな上昇があり、これは(2)の変化の延長と見ることができであろう。組織は Photo. 1(b)に示すように(a)とくらべてマルテンサイトがかなり分解している。

550~700°C の内部摩擦とシャルピー衝撃値の急激な増大は(3)の炭化物の凝集に主として起因するのではないかと考えられる。顕微鏡組織は Photo. 1(c)に示すようにマトリックスはフェライトであり細かい炭化物が点存するのが見られる。GRANATO, LÜCKE⁶⁾の転位線が不純物にピン止めされて振動する模型によると炭化物の凝集によつて内部摩擦は減少するはずである。事実、炭素鋼、クロム・モリブデン鋼⁷⁾についての筆者らの研究によれば、550~700°C の焼き戻しにより、本試料で観察されたような内部摩擦の増大は見られない。組成の上からは、本研究に使用した試料はBとVを含有している。

フェライトに固溶しているBあるいはVの炭化物析出にこの内部摩擦が起因すると考えると、固溶状態でマトリックスに与えていた格子歪がなくなるため、筆者の一人が高マンガン鋼で得た研究結果⁷⁾のように内部摩擦の値は低くなるべきである。したがつて析出現象ではなく、固溶していない添加元素の固溶によりマトリックスに格子歪を生じ内部摩擦的に硬い状態になっているのではないかと推論される。

700°C以上のオーステナイト化する温度に焼き戻すとマルテンサイトが炭化物とフェライト

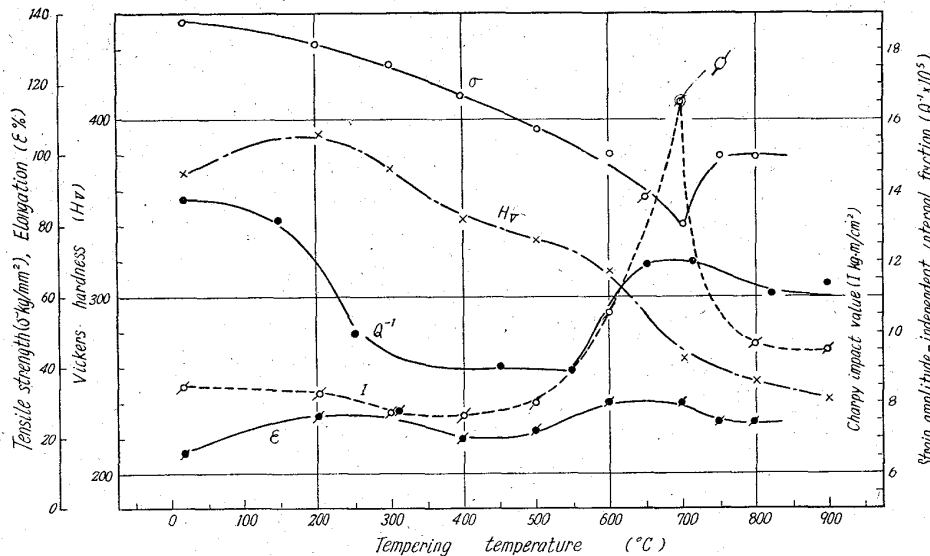


Fig. 2. The changes in various properties at room temperature (20°C) by tempering for 30 minutes at various temperatures after water-quenching from 900°C.

が高くなると、次第に大きな歪振幅依存性を有するようになっていく。

焼き戻し温度と機械的性質および低歪振幅における歪振幅に非依存性の内部摩擦の関係は Fig. 2 に示す通りである。焼き入れ組織を焼き戻すと種々な現象が起きるが、大きく分けると低温の焼き戻し温度側から、(1)マルテンサイトからの炭化物の析出、(2)正方晶のマルテンサイトが立方晶に近づき炭化物が炭素の結合数の多い炭化物になつていく。(3)マトリックスが立方晶になり炭化物の凝集が起こる。(1)の現象は150~200°Cにおける焼き戻しによる内部摩擦の急激な減少がこれに相当し、200~300°Cにおける内部摩擦の減少は(2)の変化に対応しており、350~550°Cでは内部摩擦の変化は

に分解した状態と、オーステナイトが空冷により炭化物とフェライトに分解した状態が違うために不連続な急激な変化を示すと考えられる。オーステナイトから空冷した組織には Photo. 1(d)のように球状化した炭化物が存在している。

900°Cから水焼き入れした試料を5°C/mnの加熱速度でアルゴンガス中にて加熱しながら観察した高温における顕微鏡組織を Photo. 2 に示す。観察した組織は同じ場所である。300°C(b)でマルテンサイトの針の分解が見られ、600°C(c)で分解が次第に進み、700°C(d)で微細な組織を、900°C(e)で完全なオーステナイト組織を見ることができ。

次に低温脆性と焼き戻し処理温度との関係を知るため

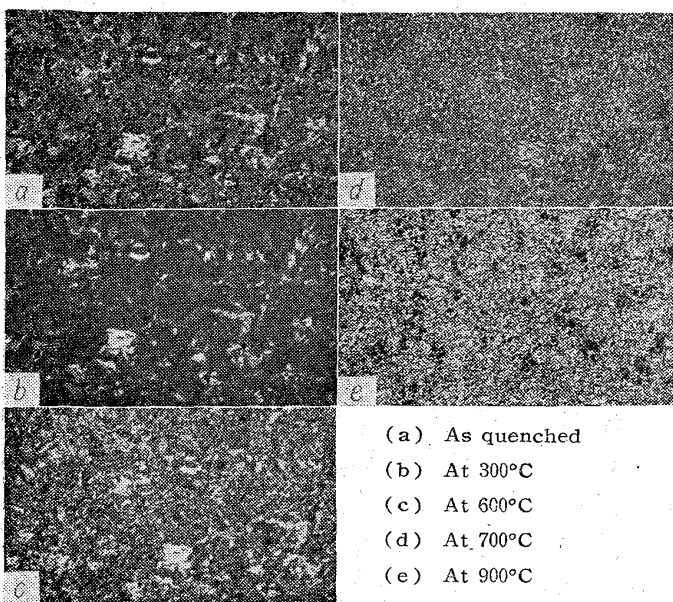


Photo. 2. Change in microstructure of the same part of a specimen on heating at high temperatures. The specimen was quenched in water from 900°C, then heated in argon gas at a heating rate of 5°C/mn. ×200 (1/2)

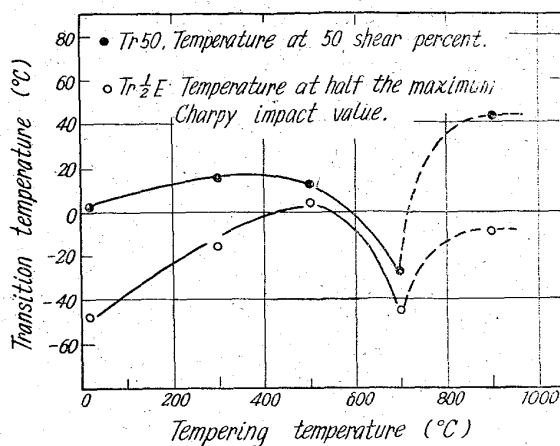


Fig. 4. Relation between tempering temperature and transition temperature.

に、水焼き入れした試料および水焼き入れ後、300、500、700 および 900°C に 30mn 間それぞれ焼き戻し空冷した試験片の試験温度を変えたシャルピー衝撃試験の結果を Fig. 3 に示す。この試験結果から剪断破面率が50%になる試験温度 (Tr_{50}) およびシャルピー衝撃値の最大値の1/2の値を示す試験温度 ($Tr_{1/2E}$) をそれぞれ遷移温度と定義して遷移温度を求めた結果を Fig. 4 に示す。 Tr_{50} 、 $Tr_{1/2E}$ の両者ともにマルテンサイトが分解し、炭化物が析出し、析出炭化物が炭素結合数の多い化合物に変わる 500°C までの焼き戻しにより上昇を示す。しかし炭化物分子が凝集して微細な集合炭化物になり、しかもオーステナイトにならない温度(約700°C以下)での焼き戻しにより遷移温度は低くなつており、炭化物の存在状態が低温脆性に大きな影響をおよぼしているのが認められる。この炭化物析出の影響は後の考察で論議する。

2. 恒温変態処理をした場合

900°C から各恒温変態温度に加熱保持された塩浴に焼き入れをし変態を恒温的に完了させ空冷した試験片の内部摩擦の歪振幅依存性を測定した結果を Fig. 5 に示す。いずれの変態温度で恒温変態させた場合も歪振幅依存性が見られる。

Fig. 6 に恒温変態温度と硬度、シャルピー衝撃値および低歪振幅における歪振幅に非依存性の内部摩擦との関係を示す。硬度は恒温変態温度を高めるにしたがつて低くなつており、600°C の変態温度で恒温変態させた場合にいちじるしく軟くなつている。組織は Photo. 3 に示すように、変態温度が低いと焼き戻しマルテンサイト に似た針状組織を示すが、変態温度が高くなると炭化物の凝集が認められるようになる。シャルピー衝撃値は恒温変態曲線で変態完了までの時間の長い Bay の温度、

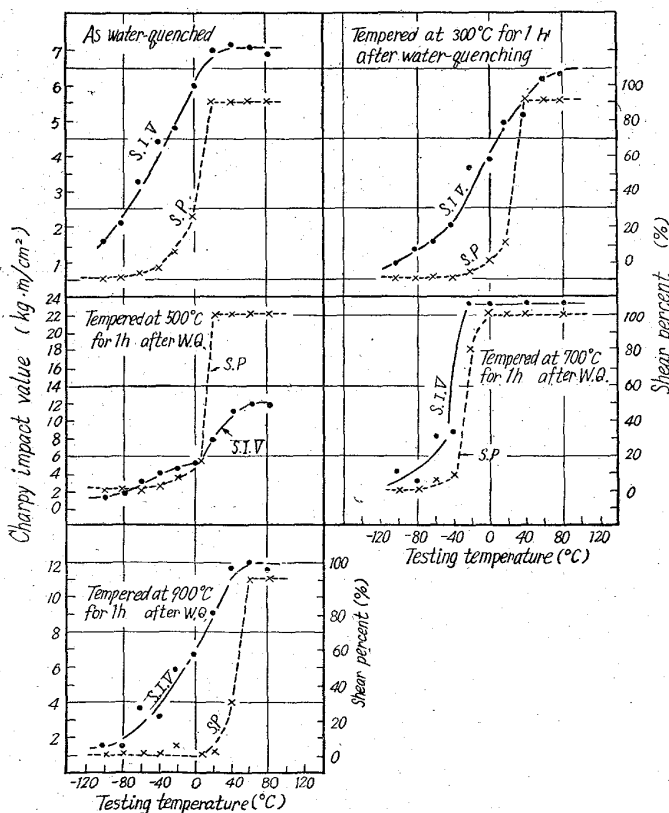


Fig. 3. The V-notch Charpy impact test results of the specimens water-quenched from 900°C and tempered at various temperatures for 1 hour.

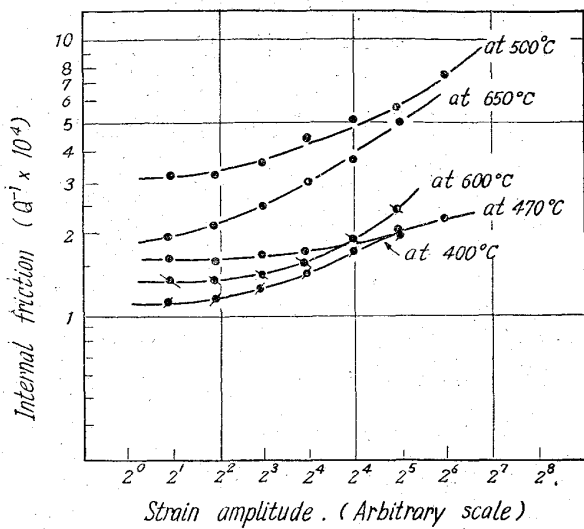


Fig. 5. Strain amplitude dependence of the internal friction of a specimen transformed isothermally.

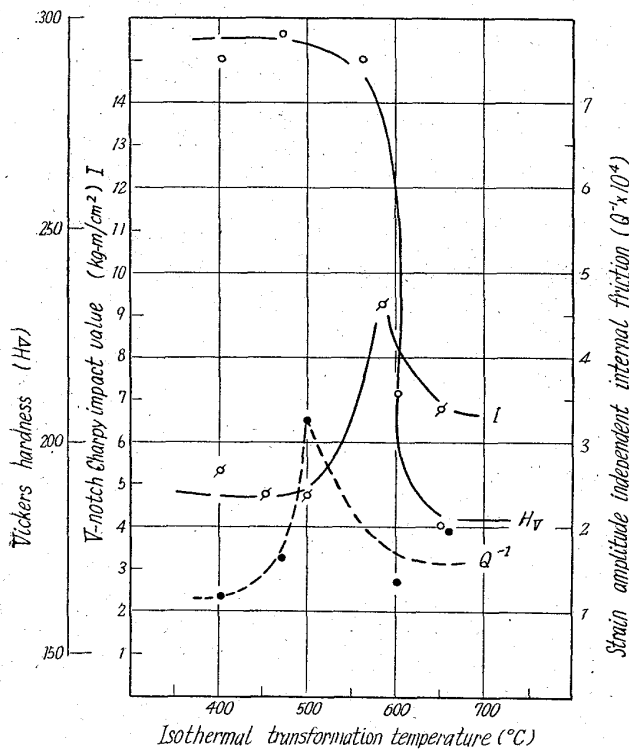
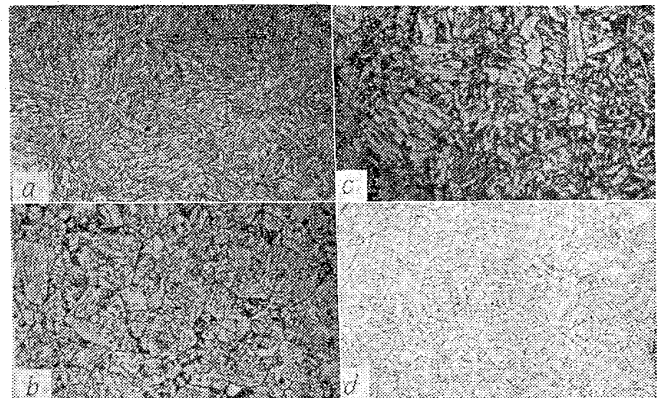


Fig. 6. Various properties of a sample transformed isothermally at various temperatures.

すなわち約 600°C で最大値を示している。これは変態に時間がかかるため炭化物のフェライト中での分布状態が微細過ぎず適正状態になっているためと考えられる。一方内部摩擦は変態が早く完了する約 500°C あたりに最大値を示している。これはマトリックス内の炭化物を含めた添加元素の影響であろうが、他の鋼種では筆者が 3.5% Ni 鋼⁸⁾で同じ現象を認めている。



(a) Transformed at 400°C (c) Transformed at 550°C
(b) Transformed at 470°C (d) Transformed at 650°C
Photo. 3. Microstructure of the steel transformed isothermally. $\times 400$ (1/2)

IV. 考 察

靱性より脆性への転位論的説明としては、STROH⁹⁾が COTTRELL の固着作用の温度依存性を手がかりとして理論を立てている。集積した転位の先端部近くの長さ l のフランク・リード源に t 時間に働く力を考え、 dt 時間内にフランク・リード源が動く確率を求め、温度 T の増加により確率 P が急激に変化する温度を遷移温度 T_c とすると

$$T_c = \frac{U(\tau)}{k \ln(\gamma l t_0 b)} \dots \dots \dots (2)$$

なる式が求められる。ここで $U(\tau)$ はコットレルの固着作用から転位のぬけ出す活性化エネルギー、 γ は原子の振動数、 τ は剪断応力、 l/b は長さ l の 1 つのフランク・リード源において固着されている点の数、 t_0 は τ が大きい状態になっている時間、 k はガス常数である。

Fig. 4 で得られた遷移温度と焼き戻し温度との関係は (2) 式から見ると、マルテンサイトから炭化物が析出すると微細析出炭化物の影響で $U(\tau)$ が大きくなり遷移温度を高める傾向を示す。焼き戻し温度が 700°C で遷移温度が低くなるのは炭化物が凝集して $U(\tau)$ を低めるためであり、オーステナイトより空冷した場合 (焼き戻し温度がオーステナイト領域にかかる場合) は炭化物が非常に大きく凝集した状態であるため $U(\tau)$ の値よりも l/b の値が大きく影響して、この値が非常に小さくなるために T_c を高める結果になるのであろう。

V. 総 括

以上述べた諸実験結果をまとめると次のようになる。
(1) 低 Ni-Cr-V-B 系 80 kg/mm² 高張力鋼は焼き入れ感受性が低く、水焼き入れ組織のままでも歪振幅依存性の内部摩擦を有する。

(2) 歪振幅に非依存性の内部摩擦は約 200°C までの焼き戻しによりいちじるしく低下を示し, 300~500°C の焼き戻しで一定値, 550~700°C で増大を示しており, シャルピー衝撃値の変化と比較的よく対応している. この内部摩擦の変化は焼き戻しによるマルテンサイトからの炭化物の析出, マルテンサイトの分解, 炭化物の形態と分布の変化に起因しており, 焼き戻し過程とよく対応している.

(3) 遷移温度は 300~500°C の焼き戻しにより高くなり, 700°C の焼き戻しにより最低値を示す. これはマルテンサイトの分解にともなう炭化物の存在状態によりいちじるしい影響を受けることがわかった.

(4) 恒温変態させた試料は歪振幅依存性の内部摩擦を有する.

文 献

1) J. DEARDEN., H. O'NEIL: *Inst. Weld. Quart.*

Trans., 3 (1940).

- 2) ERNST F. NIPPES et al.: *Weld. J.* (1956) No. 10, (1958) No. 7, (1959) No. 1
- 3) T. YAMANE., J. UEDA: *Trans. JIM.*, 3 No. 3, p. 178
- 4) 水田三千雄, 美馬源次郎: *日本金属学会誌*, 23 (1954), p. 469
T. YAMANE., J. UEDA: *Trans. JIM.*, 3 (1962) 3, p. 178
: *ibid* 4 (1963) 1, p. 9
- 5) 美馬源次郎, 山根寿巳: 鉄と鋼, 投稿中
- 6) A. GRANATO., K. LÜCKE: *J. Appl. Phys.*, 27 (1956), p. 583
ibid, 27 (1956), p. 789
- 7) T. YAMANE: To be Published in *Trans. JIM.*
- 8) T. YAMANE., J. UEDA: To be Published in *Trans. Met. Soc., Amer Inst. Min., Met. & Pet. Eng.*,
- 9) A. N. STROH: *Phil. Mag.*, 47 (1955), p. 968

高窒素25%Cr-28%Niおよび25%Cr-20%Ni-8%Co

耐熱鋼について*

(高窒素 25%Cr オーステナイト耐熱鋼に関する研究—I)

岡本正三**・田中良平**・藤本六郎***

On the High-Nitrogen 25%Cr-28% Ni and 25%Cr-20%Ni-8%Co Heat-Resisting Steels.

(Studies on high-nitrogen 25%Cr austenitic heat-resisting steels—I)

Masazō OKAMOTO, Ryōhei TANAKA and Rokurō FUJIMOTO

Synopsis:

The effect of nitrogen addition to 25%Cr-28%Ni austenitic heat-resisting steels prepared by the high-pressure melting process in nitrogen atmosphere on both microstructures and mechanical properties at room- and high-temperatures was studied. The influence of replacing a part of nickel by cobalt in those steels was also examined. Main results obtained were as follows:

(1) It was necessary to heat for 1 h at 1250°C for the solution treatment of the steels with high nitrogen content.

(2) The recrystallization temperature estimated from the hardness change during tempering of cold rolled specimens was found to be higher by about 100°C in the 0.54%N steel than in the 0.05%N steel, and the temperature of the former steel decreased with the replacement of a part of nickel by cobalt.

* 昭和37年10月本会講演大会にて発表 昭和38年3月25日受付

** 東京工業大学, 工博 *** 八幡溶接棒株式会社