

技 術 報 告

2 1/4 Cr-1 Mo 鋼の焼入・焼もどし特性について*

薄 田 寛** 辻 一 郎***

Heat Treatment Characteristics of High Strength 2 1/4 Cr-1 Mo Steel

Hiroshi SUSUKIDA and Ichiro TSUJI

Synopsis:

An investigation was conducted to obtain the increased strength of 2 1/4 Cr-1 Mo steel by quenching and tempering, and were also determined the notch toughness such as Charpy V impact properties and the elevated temperature properties such as stress rupture strength of quenched and tempered 2 1/4 Cr-1 Mo steel which exhibits room temperature tensile strength of about 80 kg/mm² (equivalent to the requirement of ASTM A 542 class 1 or of ASME Code Case 1 414).

The results obtained were as follows:

(1) When the cooling rate from austenitizing temperature is less than 10° C/min, tensile strength, yield strength and Charpy V impact values at 10°C decrease rapidly. Tempering in the temperature range from 600 to 650°C decreases tensile strength and yield strength, and increases Charpy V impact values at 20°C.

(2) The cooling rate from austenitizing temperature should be kept more than 10°C/min and the tempering temperature range should be taken from 615 to 660°C to meet the minimum tensile properties specified by ASTM A 542 class 1.

(3) It is expected that the allowable stress values of the quenched and tempered steel up to about 480°C may become more than 6 kg/mm² higher than that of the full annealed steel.

(Received Aug. 11, 1969)

1. 緒 言

従来、2 1/4 Cr-1 Mo 鋼は完全焼なまし、あるいは焼ならし・焼もどしが施され、最小引張強さ 42 kg/mm² のように比較的強度の低い状態で使用されてきた。しかし、2 1/4 Cr-1 Mo 鋼は焼入性がすぐれ、焼入・焼もどし(以下 QT と略称)を施すことにより比較的容易に強度を上昇させることができる。

とくに、最近では石油化学工業の発展に伴って設備の大型化が著しく、その反応容器に使用される 2 1/4 Cr-1 Mo 鋼板も極厚肉となる傾向にあり、圧力容器の製作、運搬などますます困難となつてきている。そこで QT 処理を行なつた高強度の 2 1/4 Cr-1 Mo 鋼の適用により肉厚減少を図ることが、主として米国において進められている^{1)~3)}。

一方、原子力発電プラントの大容量化に伴って原子炉圧力容器も大型となるので、従来、最も広く用いられてきた Mn-Mo-Ni 鋼に代わる経済的な鋼種の一つとして、QT 処理を行なつた 2 1/4 Cr-1 Mo 鋼が採り上げら

れ、これも米国において検討されつつある⁴⁾⁵⁾。

QT 処理を行なつた 2 1/4 Cr-1 Mo 鋼板については、すでに米国において、Table 1 に示すように、ASTM A 542 として規格化されており、このうち、A542 class 1 は、1969年4月 ASME Code Case 1414 に原子炉用材料として認められるに至っている。

しかし、わが国においては、2 1/4 Cr-1 Mo 鋼の QT 処理については十分に検討されておらず、とくにこれらの圧力容器は 100 mm をこえる極厚肉となるので、焼入時の質量効果などを明らかにしておく必要がある。また化工機用材料として、高温で使用する場合、どの程度の高温まで QT 処理による強度上昇を期待できるかなどについても不明の点が多い。

そこで、2 1/4 Cr-1 Mo 鋼の焼入時の質量効果を明らかにするとともに、ASTM A 542 Class 1 に規定の強

* 昭和44年10月本会講演大会にて発表
昭和45年8月11日受付

** 三菱重工業(株)神戸研究所 工博

*** 三菱重工業(株)神戸研究所

Table 1. ASTM A 542-68 tensile requirement.

	Class 1	Class 2
Tensile strength kg/mm ²	73.8 to 87.9	80.9 to 94.6
Yield strength* min. kg/mm ²	59.8	70.3
Elongation min. % GL=2 in	14	13

*: 0.2% off set.

度を満足するものについて、クリープ破断強さ、Vシャルピー衝撃性質などの性状を検討することにした。

2. 供試材および実験要領

2.1 供試材

供試材は実用規模で製造された板厚 100 mm (供試材 A と略称) および 150 mm (供試材 B と略称) の 2 1/4 Cr-1 Mo 鋼板で、その化学成分を Table 2 に示す。

2.2 実験要領

(1) 熱処理特性試験

供試材 B より圧延方向に 14^t × 14^b × 220^l mm の試験片を採取し、冷却速度可変電気炉⁶⁾を用いて 940°C で 1 hr オーステナイト化を行ない、1°C/min ~ 125°C/min の 10 段階の冷却速度 (940 ~ 200°C までの平均冷却速度) で冷却し、冷却のまま、ならびに 625 ~ 725°C で 6 hr の焼もどしを施した後、常温引張試験、衝撃試験およびマイクロ組織試験を行なった。さらに、625°C × 6 hr と 600°C × 12hr, 700°C × 6 hr と 675°C × 12hr の焼もどしおよび応力除去焼なましをそれぞれ施した後、常温、454°C および 510°C において引張試験を行なった。また、原厚のまま 940°C × 4.5hr オーステナイト化を行ない水焼入れ (T/4 の冷却速度約 60°C/min) および 625°C で 6 hr の焼もどしならびに 580 ~ 620°C で 6 ~ 18hr の応力除去焼なましを施した後、圧延方向に直角に T/4 から試験片を採取し、常温、454°C および 510°C において引張試験を行なった。

また、供試材 A について、原厚のまま 950°C × 4 hr オーステナイト化を行ない水焼入れ (T/4 の冷却速度、

約 125°C/min) および 566 ~ 704°C で 1 ~ 12hr の焼もどしを施した後、圧延方向に T/4 から試験片を採取し常温引張試験および衝撃試験を行なった。

(2) 実体試験 (強度レベル ASTM A 542 Class 1)

熱処理特性試験により Table 1 に示す ASTM A 542 Class 1 の強度を満足させる熱処理条件が明らかとなつたので、供試材 B を用いて原厚のまま熱処理 (940°C × 4.5hr 水冷, 625°C × 6 hr 空冷, 600°C × 12hr 炉冷) を行ない、水焼入れ時の端より 1 T (T = 板厚) 以上離れたところから、主として圧延方向に直角に T/4 部より試験片を採取し、各種の高温強度試験、切欠じん性試験などを行なった。

3. 実験結果および考察

3.1 熱処理特性試験

オーステナイト化温度からの冷却速度の変化による焼

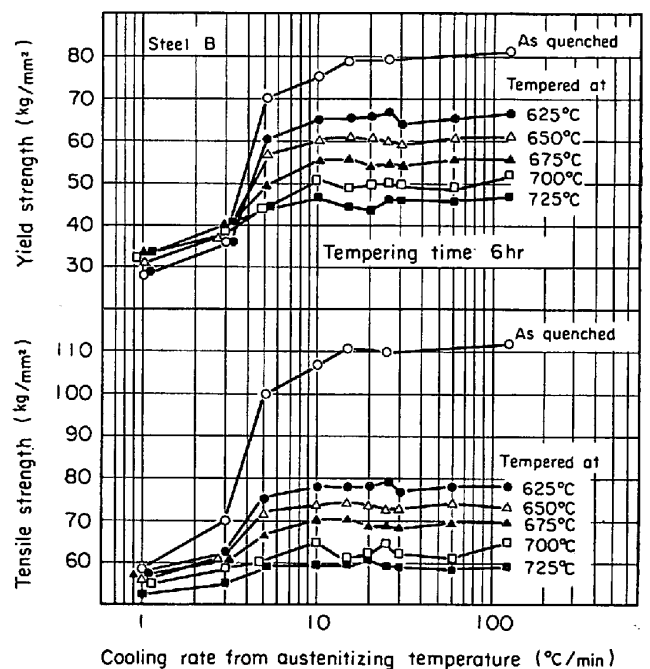


Fig. 1. Effect of cooling rate from austenitizing temperature on tensile properties at room temperature.

Table 2. Chemical composition of steels.

Steel	Plate thickness (mm)	Chemical composition (%)							
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
A	100	0.11	0.27	0.42	0.013	0.009	2.04	0.92	0.15
B	150	0.13	0.26	0.52	0.013	0.010	2.41	1.10	0.09
ASTM A 542-68		max. 0.15	0.13 /0.32	0.27 /0.63	max. 0.035	max. 0.035	1.88 /2.62	1.85 /1.15	—

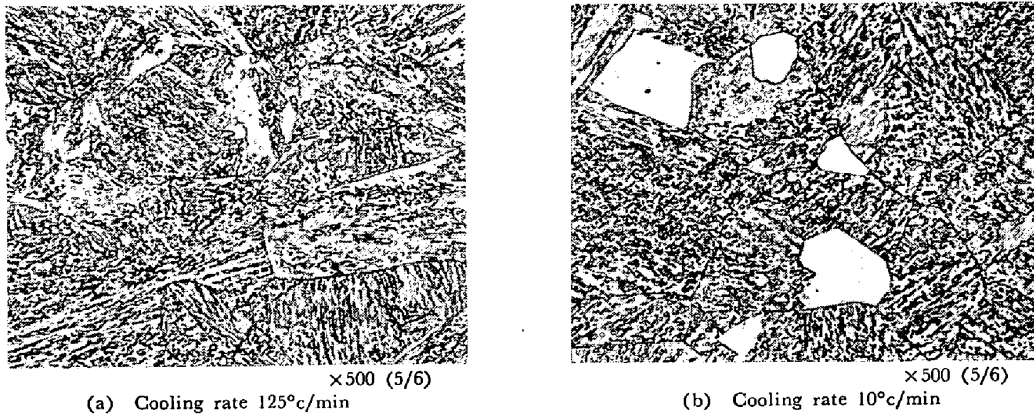


Photo. 1. Effect of cooling rate from austenitizing temperature on light microstructures.

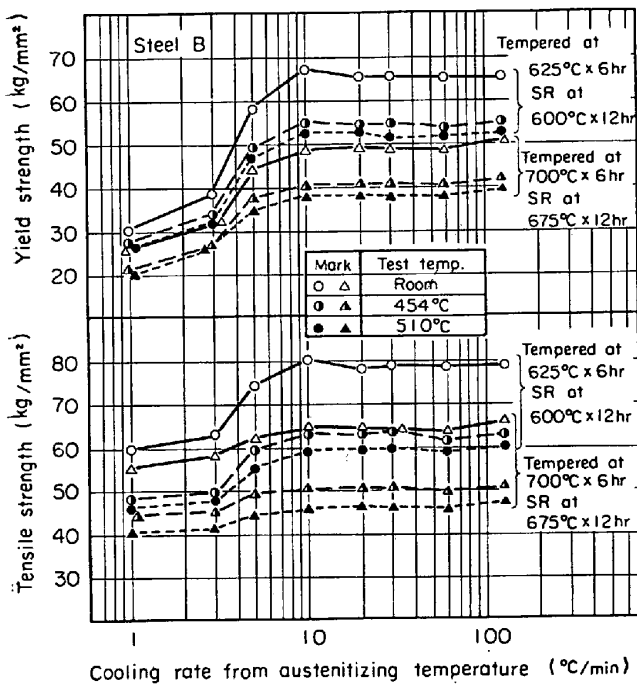


Fig. 2. Effect of cooling rate from austenitizing temperature on room- and high-temperature tensile properties after tempering and stress-relieving.

もどし後の常温引張強さ、耐力をFig. 1に、焼もどし応力除去焼なまし後の常温および高温引張強さ、耐力をFig. 2に、焼もどし後の10°CにおけるVシャルピー衝撃値の変化をFig. 3にそれぞれ示す。

これらの図によれば、冷却速度が125~10°C/minの範囲では、常温引張強さ、耐力、10°Cにおける衝撃値ほとんど変わらないが、10°C/minよりも遅くなると、それらは低下し、とくに3~5°C/minの範囲における低下が著しい。このような低下は、Photo. 1に示すように、冷却速度が遅くなるとブロック状のフェライト⁷⁾が生成するためと考えられる。厚さ250mmの極厚鋼板を水冷したときのT/2部の冷却速度は約17°C/minで

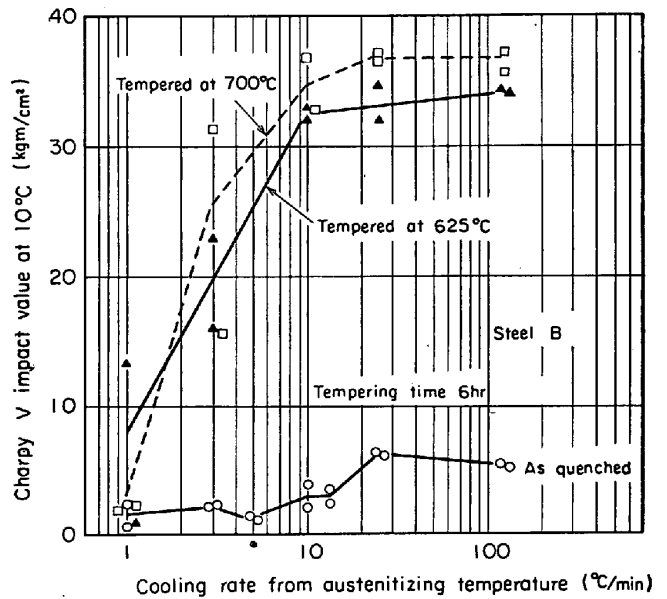


Fig. 3. Effect of cooling rate from austenitizing temperature on Charpy V impact value.

ある⁹⁾ので、極厚鋼板においても水焼入れにより十分な強度とじん性が確保できるものと考えられる。

つぎに、供試材Aについては原厚のまま950°C×4hrオーステナイト化の後、水焼入れ(T/4の冷却速度125°C/min)を行ない、また供試材Bについては14^t×14^b×220^dmmの試験片を用いて、940°C×1hrオーステナイト化の後、25~125°C/minで冷却した後における焼もどし温度による常温引張強さ、耐力の変化をFig. 4に、20°CにおけるVシャルピー衝撃値の変化をFig. 5に示した。また、焼もどしパラメータ・{T(20+log t)×10⁻³、T=焼もどし温度°K(566~625°C)、t=焼もどし時間(1~12hr)}によりこれらの変化をとりまとめた結果をFig. 6にそれぞれ示す。

これらの図によれば、焼もどし温度が高くなればなるほど、引張強さ、耐力は低下し、衝撃値は増大し、とく

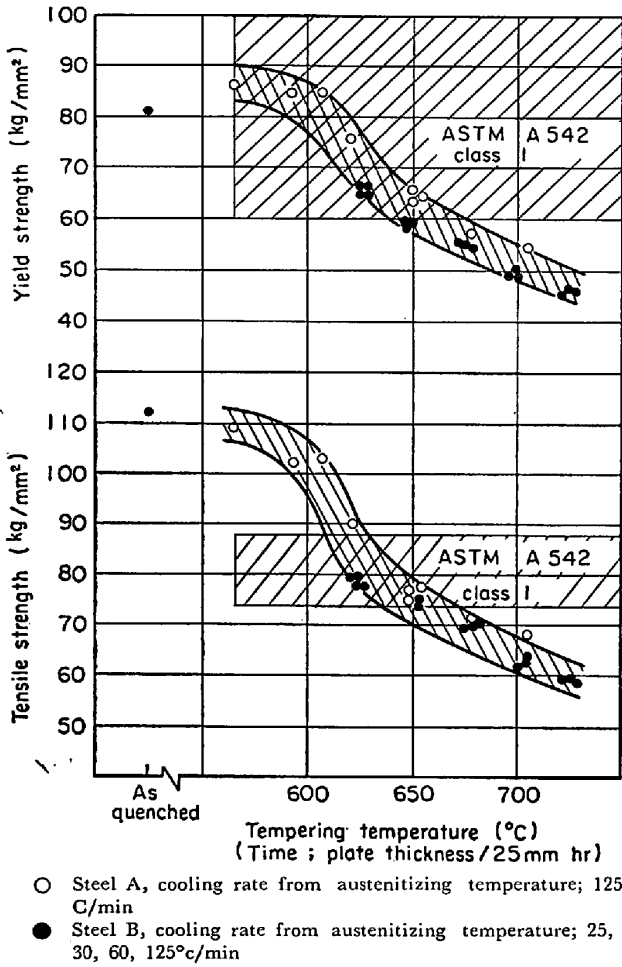


Fig. 4. Effect of tempering temperature on the tensile properties at room temperature.

に 600~625°C 間の変化が著しく、また、焼もどしパラメーターと強度および衝撃値との関係から明らかなように、焼もどし温度と同様に、焼もどし時間によっても、強度および衝撃値は大きく変化することがわかる。また、常温における圧延方向の伸び、絞り、は、焼もどし温

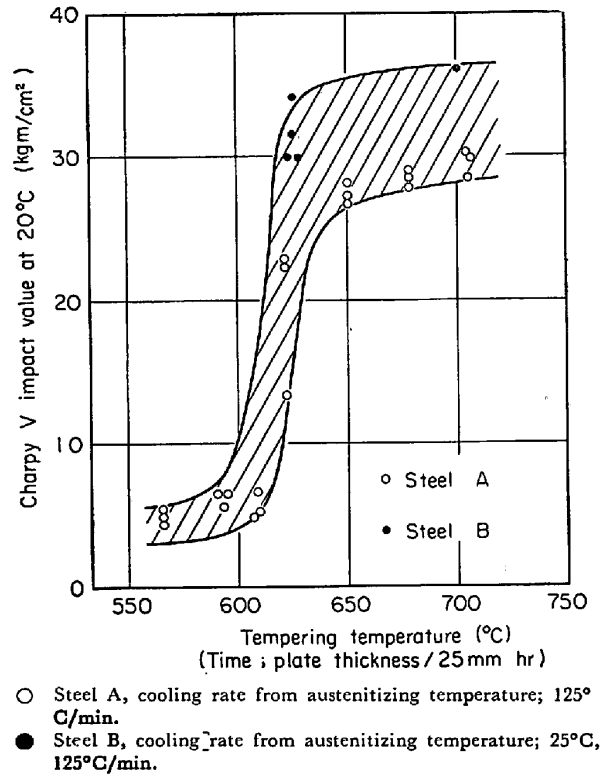


Fig. 5. Effect of tempering temperature on the Charpy V impact value at 20°C.

度が 566°C のとき、それぞれ約 21%、約 165%であり、焼もどし温度の上昇とともに漸増し、焼もどし温度が 700°C のとき、それぞれ約 30%、約 80%となり、圧延方向に直角の伸び、絞りは圧延方向のそれらよりもそれぞれ約 2~3%、12~14%低く、いずれも Table 1 の規格値を満足し、特に問題ないことが認められた。

以上のことから、2¹/₄ Cr-1 Mo 鋼の強度とじん性は、焼入れ冷却速度が 10°C/min 以上であれば焼もどし温度と時間を適当に選ぶことにより、ASTM A 542 Class I の規定の強度を満足させることができ、たとえば、焼

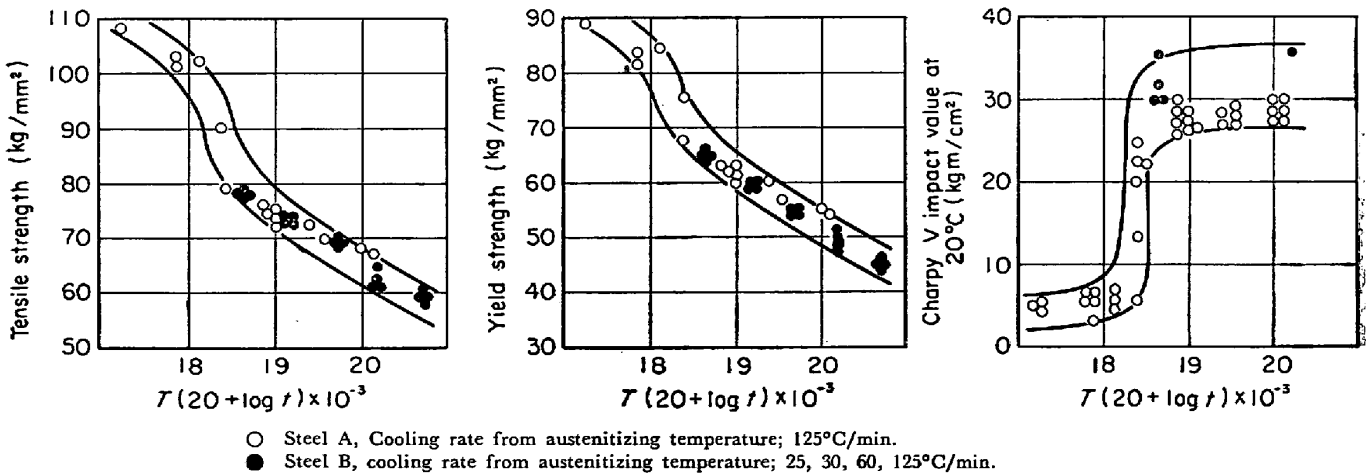


Fig. 6. Relation between tempering parameter and tensile properties or impact value at room temperature.

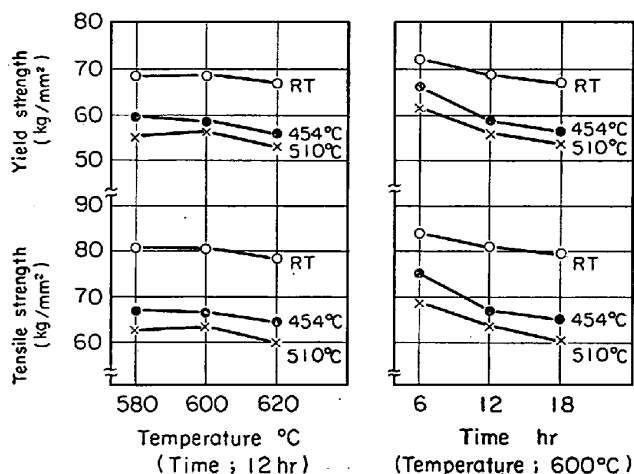


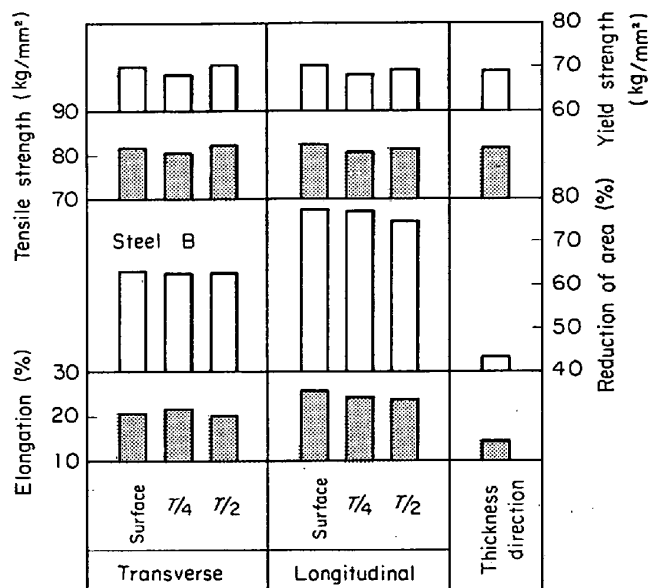
Fig. 7. Effect of post weld heat treatment on the tensile properties of steel B at room temperature, and high temperature after tempering at 625°C (steel B).

もどし時間を板厚 25 mm あたり 1 hr とした場合、焼もどし温度は 610~660°C の範囲であり、625±15°C が適当であることが推定された。

そこで供試材 B を用いて原厚のまま水焼入れならびに 625°C で焼もどしを行なった後、600°C の温度を中心にして応力除去焼なまし温度と時間による常温および高温引張強さ、耐力の変化を検討した結果を Fig. 7 に示す。

この図によれば、常温、454°C および 510°C の引張強さ、耐力は、応力除去焼なまし温度が 580°C から 600°C に高くなってもほとんど低下しないが、620°C になると数 kg/mm² 低下し、また、600°C における応力除去焼なまし時間が長くなるほど低下するが、6 hr から 12hr に長くなつたときのそれらの低下率は、12hr にかから 18hr に長くなつたときのそれらよりも大きく、長時間側で飽和する傾向を示した。以上のいずれの応力除去焼なまし条件の下でも ASTM A 542 Class 1 の規格値を満足していることから、応力除去焼なまし温度を 600°C 前後にするならば、強度的には問題ないと考えられる。しかし、Fig. 6 に示したように、焼もどし温度と時間の増大により強度が著しく低下することから、応力除去焼なまし温度が焼もどし温度に近くなつた場合、応力除去焼なまし条件によつては強度が大幅に低下することも予想されるので、実製品の熱処理時には厳格な温度管理が必要であり、また、応力除去焼なまし処理に際しては、応力除去の目的を達成できる範囲で、温度の低下、時間の短縮、回数の軽減などを図れるように工作手順を検討することが望まれる。

応力除去焼なまし温度を約 600°C に設定した場合、残留応力の除去の程度が問題となるが、R. E. LORENTZ¹⁰⁾



Heat treatment
940°C×4.5hr Water cool, 625°C×6hr, Air cool,
600°C×12hr Furnace cool.

Fig. 8. Effect of direction and location of specimens on tensile properties at room temperature.

は強度レベル (耐力 21.1~42.2 kg/mm²) のいかににかかわらず、応力除去焼なましにより除去される残留応力の割合は一定であり、600°C では約 90% 除去されることを明らかにしている。この点に関しては今後検討したいと考える。

なお、ASME Code Case 1414 では、最後の応力除去焼なまし温度 (ASME では応力除去焼なましを溶接後熱処理と表現し、残留応力の除去ばかりでなく溶接部の材質改善も目的としている) は 593°C (1100°F) 以上としているので、本実験結果から推定される適正応力除去焼なまし温度 600°C はとくに問題ないと考えられる。

3.2 実体試験 (強度レベル ASTM A 542 Class 1)

供試材 B を用いて、Table 1 の ASTM A 542 Class 1 (ASME Code Case 1414 と同一) に規定の引張強さの中央値、約 80 kg/mm² になるように焼入・焼もどし・応力除去焼なましを行ない、その性状を調査した。

Fig. 8 および Fig. 9 にそれぞれ引張試験結果 (試験片 d=10φ mm, GL=50 mm) を示す。これらの図から明らかのように、150 mm の極厚にもかかわらず、試験片採取方法による引張強さ、耐力の変化はほとんど認められない、また、引張強さ、耐力は、試験温度が 427°C までは温度が高くなるに従つて漸減し、454°C 以上ではやや急減する傾向を示すのに対し、伸び、絞りは 427°C で最小値を示し、これらの性質の変化は O. R. CARPENTER

Table 3. Charpy V transition temperature ($^{\circ}\text{C}$).

Transition temperature	Transverse			Longitudinal		
	Surface	T/4	T/2	Surface	T/4	T/2
T_{rS}	-50	-45	-20	-15	0	+10
T_{r35}	-60	-50	-30	-30	-10	-10
T_{rE}	-50	-45	-20	-15	0	+10

T_{rS} : Temperature at which shear fracture percentage becomes 50%.

T_{r35} : Temperature at which absorbed energy becomes 35 ft-lb.

T_{rE} : Temperature at which absorbed energy becomes half value of its maximum.

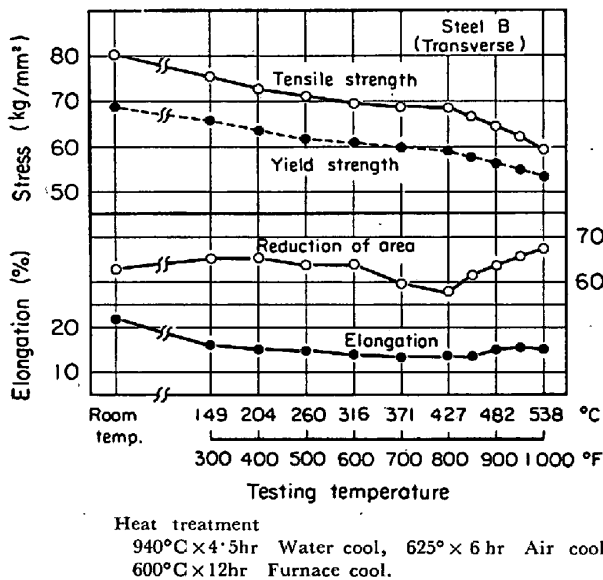


Fig. 9. High temperature tensile properties of ASTM A 542, class 1 steel (steel B).

りのデータとほぼ一致することが認められた。

Fig. 10 に V シャルピー衝撃遷移曲線を示し、各種の遷移温度を Table 3 に示す。これらから圧延方向に直角の遷移温度は圧延方向に平行のそれよりも 30~45°C 高温側にあり、せん断破面率 100% における圧延方向に直角の衝撃値は圧延方向に平行のそれの約 1/2 であり、また表面→T/4→T/2 の順に遷移温度は高温側に移行することが認められた。これらの遷移温度は、従来、原子炉圧力容器に用いられている Mn-Mo-Ni 鋼のそれ⁸⁾⁹⁾と比較してそん色ない値である。

ASME Code Case 1414 では水圧試験温度または最低使用温度より、60°F (33°C) 低い温度における主圧延方向に直角の V シャルピー衝撃値の最低値は 30 ft-lb (5.2 kgm/cm²)、平均値は 35 ft-lb (6.1 kgm/cm²) 以上でなければならないと規定している。水圧試験温度あるいは最低使用温度を常温 (21°C) と仮定すると、-12°C において上記の衝撃値を満足する必要がある。

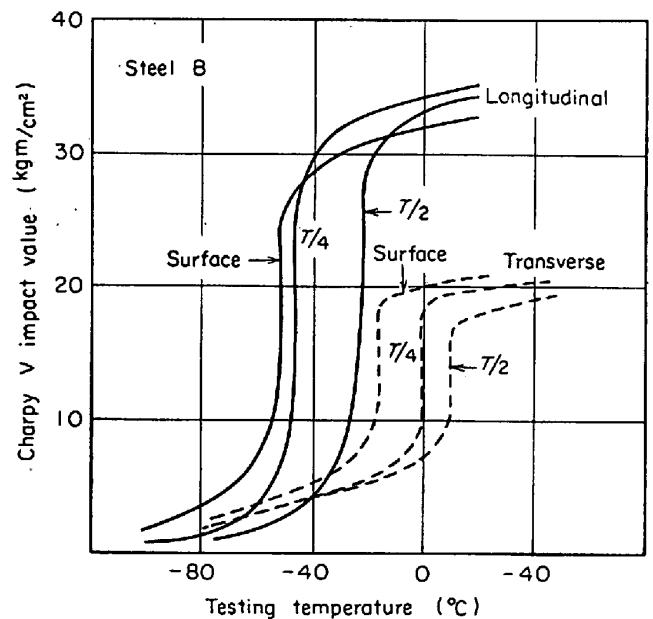


Fig. 10. Charpy V transition curves of ASTM A 542 class 1 steel (steel B).

Fig. 10 から、本実験はほぼこれらの規格を満足しているものと考えられる。

圧延方向に直角に表面から落重試験片 (ASTM E 208 P 2 型) を採取し、試験を行なったところ、NDT 温度は -30°C であり、 T_{r35} 温度と同一であることが認められた。O. R. CARPENTER らは QT 処理を行なった 2 1/4 Cr-1 Mo 鋼の圧延方向に直角の NDT 温度における V シャルピー衝撃値は 5~6.7 kgm/cm² (28~38 ft-lb) であることを明らかにしており、本実験結果とほぼ一致している。

Fig. 11 に 454°C (850°F) および 510°C (950°F) における高温小野式回転曲げ疲れ試験結果を示す。いずれの試験温度においても、 $N=10^7$ 疲れ強さ/引張強さの比は 1/2 以上を示し、良好な疲れ強さを有しているものと考えられる。

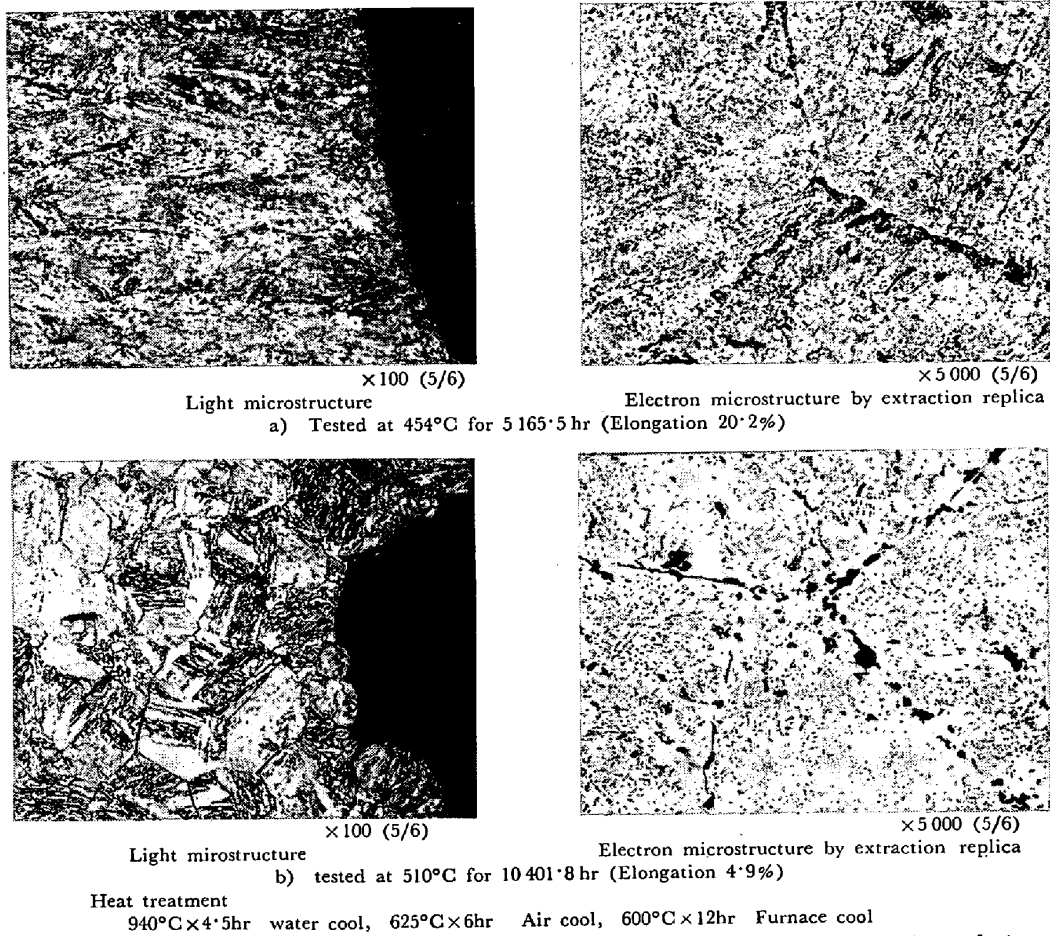


Photo. 2. Microstructures after stress rupture testing of ASTM A 542 class 1 steel (steel B).

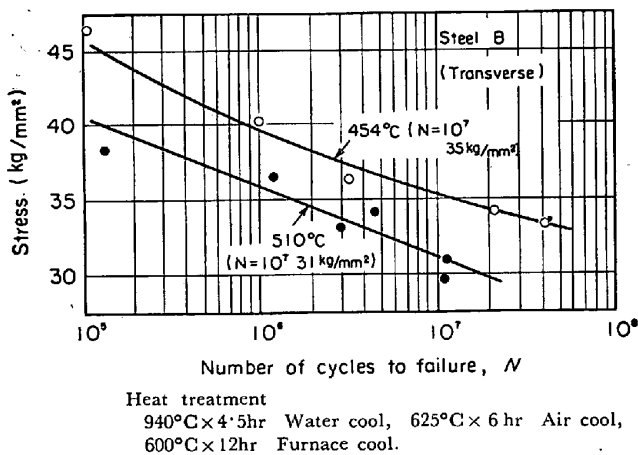


Fig. 11. S-N curves at high temperature of ASTM A 542 class 1 steel (steel B).

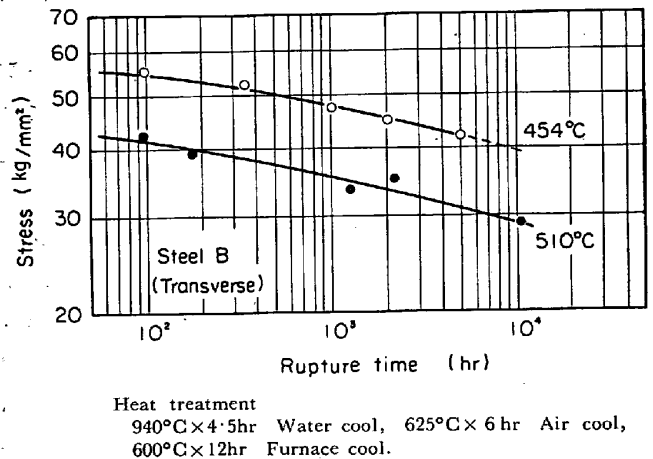


Fig. 12. Stress rupture curves of ASTM A 542 class 1 steel (steel B).

Fig. 12 に 454°C および 510°C において最高 10 000hr までのクリープ破断試験を行なった結果を示し、Photo. 2 にクリープ破断試験後のマイクロ組織の代表例を示す。300~500hr のところで破断時間線図に折点があるが、それより長時間の 10 000hr までにはほぼ直線上に各実験値がのっていることが認められた。試験温度が 510°C で、破断時間が 1 287hr 以上のものは破断伸びが 4.9~7.5

%, 破断絞りが 5~21% で、その他の破断の場合 (伸び 17~26%, 絞り 65~73%) よりも著しく小さく、Photo. 2b に示すように、粒界破断であることが認められた。その理由については明らかでない。510°C で 10 000hr クリープ破断を行なった後では、光学顕微鏡組織の変化は認められなかったが、抽出レプリカ法による電子顕微鏡組織では粒内の針状析出物ならびに粒界の析出物の粗

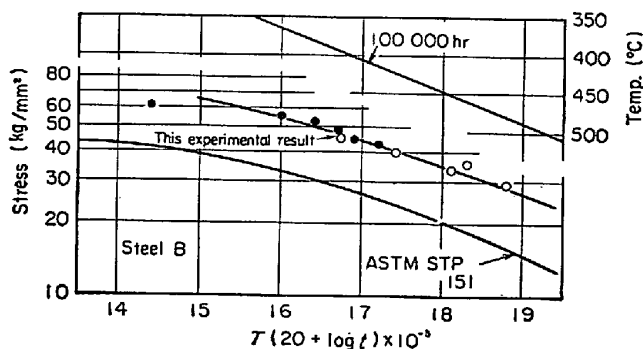
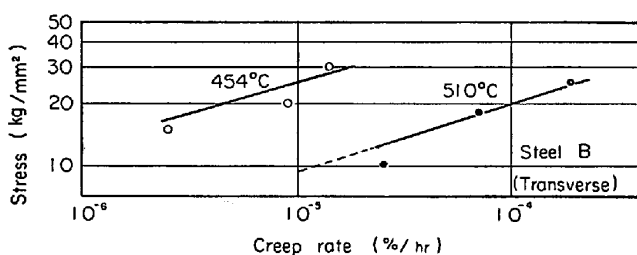


Fig. 13. Comparison of stress rupture data in this experiment with ASTM STP 151 data by Larson-Miller parameter.



Heat treatment
 940°C×4.5hr Water cool, 625°C×6hr Air cool,
 600°C×12hr Furnace cool.

Fig. 14. Creep rate curves of ASTM A 542 class 1 steel (steel B).

大化の傾向がわずかに認められ、針状析出物は Mo_2C 、粒界析出物は $M_{23}C_6$ であることが電子回折により同定された。

また、Fig. 13 に本実験結果と焼なまし材のクリープ破断試験結果¹⁰⁾とを Larson-Miller パラメーターにより比較したが、これから本実験結果はほぼ一つの曲線上的につており、完全焼なまし材のそれよりも12~14 kg/mm² 高いことが認められた。2¹/₄Cr-1Mo 鋼のクリープ破断強さに及ぼすマイクロ組織の影響については、今までかなり検討され、一般に引張強さの高いもの（主としてベイナイト組織）は短時間クリープ破断強さは高いが、応力-破断時間線図の傾斜が大きく、長時間後では引張強さの低いもの（主としてフェライト+パーライト組織）よりもクリープ破断強さは低くなることが明らかにされている¹²⁾。しかし、これらはほとんどが 550~600°C の比較的高い温度におけるデータであり、本実験のように比較的低い温度における試験は国内ではほとんど行われていない。

QT 処理を行なった 2¹/₄Cr-1Mo 鋼の米国におけるデータ¹³⁾¹⁸⁾と比較すると、本実験データはそれらよりも 454°C では約 5 kg/mm² 低く、510°C ではほとんど同一であることが認められた。

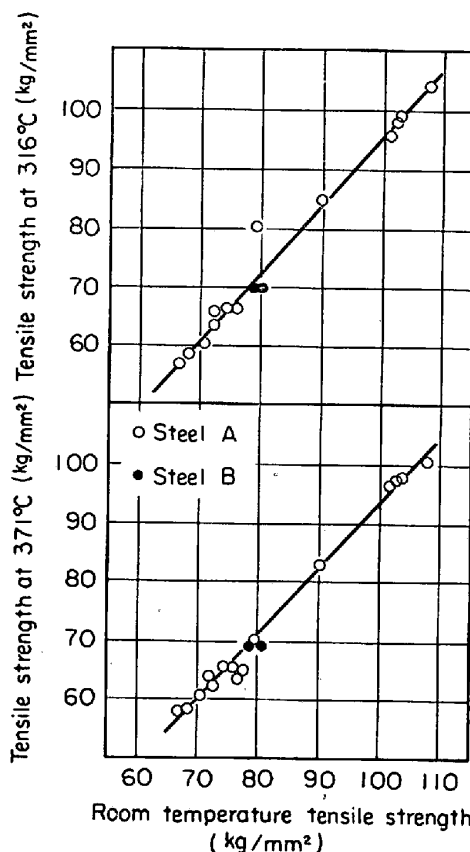


Fig. 15. Relationship between tensile strength at room temperature and high temperature 316°C or 371°C.

Fig. 14 は 454°C および 510°C におけるクリープ強さを求めたものである。これらも完全焼なまし材に関する他データ¹¹⁾と比較するとほぼ同一であり、QT 処理によりクリープ強さの上昇は期待できないことが認められた。

以上の結果から、許容応力を ASME Sec. VIII Div. 1 に従って検討すると、約 480°C までは短時間引張強さにより決定され、従来の焼なまし材のそれよりも約 6 kg/mm² 高くとることができること、480~510°C の温度領域ではクリープ強さにより決定され、510°C 以上では QT 処理による強度上昇は期待できないことなどが認められた。

ASME Code Case 1414 では 700°F (371°C) までの許容応力 (S_m) を Table 4 に示すように規定し、それらは引張強さの 1/3 をとつているものと推定される。そこで本実験における各温度の引張強さの 1/3 の値と ASME Code Case 1414 に規定されている許容応力とを比較すると、Table 4 に示すようになり、常温~149°C までは本実験における引張強さの 1/3 の値は ASME・許容応力を 0.5~2.2 kg/mm² 上回つており、149~371°C では 0.4~0.9 kg/mm² 下回つていることが認めら

Table 4. Design stress intensity (S_m) (kg/mm²).

Temperature °C	Room	93	149	204	260	316	243	371
ASME code case 1414	24.6	24.6	24.6	24.6	24.3	24.0	23.8	23.6
Calculated value from this experimental results	26.8	—	25.1	24.2	23.7	23.1	—	22.8

れ ASME の許容応力を満足するためには、149~371°C における強度を数 kg/mm² 高める必要が認められた。本実験において 316°C、371°C および常温における引張強さの間の相関を求めると Fig. 15 のようになり、ASME Code Case 1414 の最小規定引張強さ 73.8 kg/mm² に対応する 316°C および 371°C の引張強さはそれぞれ約 65 kg/mm² および約 64 kg/mm²、また、許容応力 (S_m) はそれぞれ約 21.7 kg/mm² および約 21.3 kg/mm² となり、ASME Code Case 1414 のそれを 1.3~2.3 kg/mm² 下回ることになる。本実験データ¹²⁾ は他文献のそれとほぼ一致していることから、むしろ ASME の許容応力は高過ぎるのではないかと考えられる。

本実験では 2¹/₄ Cr-1 Mo 鋼板の QT 処理を検討するにとどめたが、2¹/₄ Cr-1 Mo 鋼板を用いて圧力容器を製作する場合には、今後の課題として溶接継手の強度とじん性について検討する必要がある。また、許容応力設定にはさらに豊富なデータが必要であり、2¹/₄ Cr-1 Mo 鋼の QT 処理による強度上昇について一層の関心が寄せられることが期待される。

4. 結 言

2¹/₄ Cr-1 Mo 鋼の焼入れ焼もどしおよび応力除去焼なまし条件による引張性質、V シャルピー衝撃性質およびマイクロ組織の変化を明らかにするとともに、常温引張強さ約 80 kg/mm² になるように熱処理を行なったものについて、その性状を調査し、次の結果を得た。

(1) オーステナイト化温度からの冷却速度が 10~125°/min の範囲では、冷却速度の遅速にかかわらず、引張強さ、耐力、衝撃値はほとんど一定であるが、冷却速度が、10°C/min よりも遅くなると、それらは低下するとともに、ブロック状の初析フェライトの生成が認められる。

(2) 冷却速度が 10~125°C/min の範囲では、引張強さ、耐力、衝撃値は焼もどし温度と時間により変化し、冷却速度が 10°C/min 以上であれば焼もどし温度と時間を適当に選ぶことにより、ASTM A 542 Class 1 に規定の強度 (引張強さ 73.8~87.9 kg/mm²) を満足させることができ、たとえば、焼もどし時間を板厚 25 mm

あたり 1 hr とした場合、焼もどし温度 610~660°C にする必要がそれぞれ認められた。

(3) 常温引張強さが約 80 kg/mm² (ASTM A 542 Class 1 または ASME Code Case 1414 に相当) になるように焼入れ・焼もどし・応力除去焼なましを行なったものでは、その許容応力は、約 480°C までは引張強さにより、480~510°C の範囲ではクリープ強さにより、それぞれ決定されること、そして約 480°C までは従来の完全焼なまし材のそれよりも約 6 kg/mm² 以上高くすることができ、約 510°C 以上の高温では焼入れ・焼もどしによる強度上昇は期待できないことが認められた。なお、ASME Code Class 1414 に規定されている許容応力 (S_m) は、149~371°C において、数 kg/mm² 高過ぎることが推定された。

文 献

- 1) O. R. CARPENTER and G. N. EMMANUEL: Symposium on Heat-treated Steels for elevated temperature service (Sep. 1966), p. 132~168
- 2) E. L. FOGLEMAN and R. H. STERNE: Hydrocarbon Processing, 44 (1965) 12, p. 123~128
- 3) J. J. DEBARBADILLO et al: Welding Research Council Bulletin No 136 (Dec. 1968)
- 4) R. H. STERNE: Nucleonics, 25 (1967) 3, p. 60~65
- 5) L. E. STERNE and L. E. STEELE: Nuclear Engineering and Design, 10 (1969), p. 259~307
- 6) 薄田, 安藤: 鉄と鋼, 55 (1969) 11, p. S.552
- 7) 邦武: 住友金属, 12 (1960) 12, p. 17
- 8) R. E. LORENTZ: Welding J. 41 (1962) 10, p. 433~447 S
- 9) 薄田, 安藤: 三菱重工技報, 3 (1966) 1, p.36~42
- 10) R. E. LORENTZ: Metal Prog., 89 (1966) 4, p. 66~69
- 11) ASTM STP No 151 (1953) p. 87
- 12) たとえば, 三好, 岡田: 材料. 13 (1963) 3, p. 144~151
- 13) R. M. BROWN et al: Hydrocarbon Processing, 45 (1966) 12, p. 144~150

討 論

【質問 1】 石川島播磨 氏家信久

Fig. 4・Fig. 5 で 600~650°C 間に認められる大きな性質の変化の理由は何か?

【回答】

冶金的因子については検討していないので不明である。衝撃値がとくに大きく変化したのは、焼もどし温度 600~650°C の場合の遷移温度が常温付近にあるため、焼もどし温度による遷移温度の変化を求めるのが望ましいと考えるが、本実験では一応の目安をつける上から常温衝撃試験を行なうにとどめた。

【質問】 水素脆化の傾向はどうか？

【回答】

本材料は高温で使用されることを目的としているので高温高圧水素による損傷が問題となると考える。焼入れ

・焼もどし後の析出炭化物の大きさはその他の熱処理の場合よりも小さく、その数は多くなる。したがって析出炭化物の全体の表面積が大きくなり、不安定であると推定され、定性的には高温高圧水素による損傷を受けやすいと考えられる。しかし、石塚ら {鉄と鋼, 56(1970) 1 p. 93~111} は 1.5Cr-0.5Mo 鋼では焼入れ・焼もどし材のほうが焼ならし・焼もどし材よりも水素損傷に対し安定であり、R. M. BROWN ら (参考文献13) も 1Cr- $\frac{1}{2}$ Mo 鋼について同様のデータのあることを引用している。