

構造用低合金鋼(SNCM8)の焼戻諸性質におよぼす 合金元素の効果について*

(構造用低合金鋼の研究—II)

西原 守**・中野 平**・牧岡 稔***・後藤督高**

Effects of Alloying Elements on Temperability and Mechanical Properties of Low-Alloy Structural Steel (SNCM8).

(Study of low-alloy structural steel—II)

Mamoru NISHIHARA, Taira NAKANO,
Minoru MAKIOKA and Tadataka GOTŌ

Synopsis:

In the previous paper (Tetsu-to-Hagané vol. 48, (1961), 1, pp. 34~38) effect of increasing of Ni, Cr, Mo and V, and decreasing of C content to the hardenability of Ni-Cr-Mo steel (SNCM 8 : SAE 4340) was reported.

In this paper, by using the same test materials and the same quench-cooling rate, as those in the previous paper, the mechanical properties in as-tempered condition were examined in connection with their alloying elements. The test specimens quenched at 4 different cooling rates were tempered at appropriate temperature so as to obtain as-tempered strength of 80 to 130 kg/mm². Then a comprehensive study was made on temper-softening tendency, tensile property and notched impact property at room temperature (20°C) and -40°C. A study on sensitivity of temper-embrittlement was also performed.

I. 緒 言

第1報¹⁾では構造用低合金鋼 SNCM8 (SAE4340相当) に Ni, Cr, Mo, V などを増加, あるいは添加した場合の焼入性について報告したが, 本報では各合金元素の焼戻諸性質におよぼす効果について報告する。

II. 実験材ならびに実験方法

実験材は前報¹⁾と全く同様で, SNCM8 (SAE4340相当) を基準成分として Ni, Cr, Mo, V および C の各元素を夫々 2~3 通りに変化させた計 11 網種で, V を含まないものに対しては Al 添加により結晶粒度を調整した。Table 1 に主な化学成分, 結晶粒度を示す。

焼入は 30mm 角, 長さ 165mm の試験片を用い, 当社製自動制御冷却焼入装置により V を含む G10, G11 は 900°C, 他はすべて 850°C の温度で 2 時間オーステナイト化後, 440 (焼入条件①), 33.5 (焼入条件②), 13.8 (焼入条件③), 8.4 (焼入条件④) °C/mn の 4 通りの冷却速度 (800°C~300°C 間の平均値) で焼入した。焼戻処理は引張強さが 80~130 kg/mm² の範囲に変化

するよう, 475~675°C 間の温度で 4 時間保持後, 油中冷却した。

III. 実験結果ならびに考察

1) 焼戻軟化抵抗について

4 通りの冷却速度で焼入後, 引張強さが 100, 120 kg/mm² になるよう適当な温度で焼戻を行い, 焼入組織の変化に伴う合金元素の焼戻軟化抵抗におよぼす効果を調べた。Fig. 1 は焼入冷却速度の変化に伴う焼戻強度曲線を示したもので, 焼入冷却速度が小さくなる程同一焼戻温度に対する引張強さが低下することが認められる。Fig. 2 は完全焼入材 (焼入条件①) の焼戻軟化抵抗におよぼす合金元素の効果を示す。この図から焼戻軟化抵抗に対しては V が最も大きい効果を有し, 次いで Cr, Mo が同程度で, Ni はその効果がかなり小さい。

この種合金元素の焼戻軟化抵抗については多くの研究

* 昭和34年11月本会講演大会にて発表

** 株式会社神戸製鋼所中央研究所, 神戸研究部

*** 株式会社神戸製鋼所検査部, 高砂検査課

Table 1. Chemical composition and austenite grain size of specimens tested.

	Mark	Chemical composition (%)					Austenite grain size number
		C	Ni	Cr	Mo	V	
Standard specimen (SNCM 8)	G-1	0.41	2.12	0.86	0.28	—	G 6.7
Mo variable	G-2	0.41	2.04	6.84	0.44	—	G 7.5
	G-3	0.40	1.96	0.81	0.59	—	G 8.3
Cr variable	G-4	0.41	1.97	1.27	0.29	—	G 8.0
	G-5	0.41	2.03	1.65	0.29	—	G 9.5
Ni variable	G-6	0.40	2.46	0.80	0.29	—	G 9.0
	G-7	0.39	3.06	0.97	0.29	—	G 8.0
Mo and C variable	G-8	0.36	1.92	0.81	0.59	—	G 9.0
	G-9	0.33	1.93	0.80	0.59	—	G 8.0
Mo and V variable	G-10	0.39	1.85	0.81	0.44	0.115	G 7.5
	G-11	0.41	1.88	0.84	0.60	0.120	G 7.9

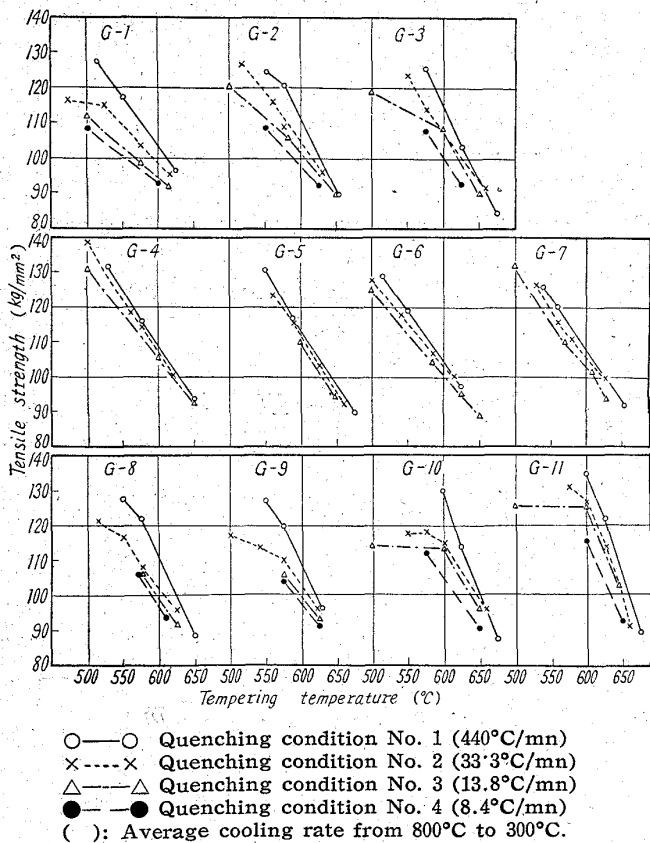


Fig. 1. Relation between tempering temperature and tensile strength.

があり計算で求める方法も二、三の人々²⁾³⁾⁴⁾によつて発表されている。これらの文献においても Mo, V の焼戻軟化抵抗におよぼす効果が極めて大きいことを報告しており、著者等の試験結果と一致している。

2) 伸び, 絞りについて

引張強さが80~130 kg/mm²になるように焼戻した場

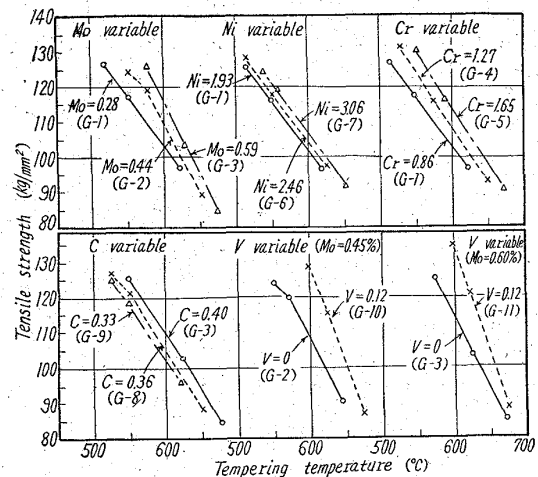


Fig. 2. Effect of alloying elements on resistance to tempering. (Quenching condition No. 1)

合の各種焼入冷却速度に対する引張強さ—伸び, 引張強さ—絞りの関係は伸びについては合金元素および焼入冷却速度の影響ははっきりした傾向が認められなかった。一方絞りについては合金元素の影響は明らかでないが、焼入冷却速度は小さくなるに従つて減少する傾向が明瞭に認められた。

3) 衝撃特性について

4通りの冷却速度で焼入後、引張強さ 80~130 kg/mm² に焼戻した試験材について、150°C から -70°C の温度範囲でUノッチ, シャルピー衝撃試験を行い衝撃値と靱性破面に対する遷移温度曲線を作成した。Fig. 3 は代表例としてG 1 (基準成分 SNCM 8) の曲線を示したもので、焼入冷却速度が小さくなるに従つていづれ

も曲線は高温側に移行し、焼入冷却速度によつて著しい影響を受けることが判る。

合金元素の靱性におよぼす効果を衝撃遷移曲線または衝撃遷移温度で以て表示する方法がよく用いられるが、すべての鋼種を同一硬度にそろえることは実際上困難であるので、同一硬度で比較するため先づ常温および-40°Cにおける衝撃値のみを硬度に対してプロットし、(一例を Fig. 4 に示す) その図から硬度 Hv 330 および 390 に対応する常温および -40°C の衝撃値を求めて焼入冷却速度に対してプロットし、Fig. 5~8 に合金元素別に示した。

これらの図から、先づ同一焼入組織(同一マルテンサイト量)のもとで合金元素の衝撃特性に対する効果を考えることにする。完全マルテンサイト組織の場合は、Fig. 5~8 で焼入冷却速度 440°C/mn に対応する衝撃値を比較した。又、50% マルテンサイト組織の場合は前報¹⁾に掲げた Fig. 4 の焼入冷却速度と焼入組織との関係図から、50% マルテンサイト組織に対応する焼入冷却速度を Fig. 5~8 に適用し、その値に対する衝撃値を求めた。(Table 2) これらの図表から同一焼入組織のもとでの各合金元素の効果を列挙すると次の通りである。

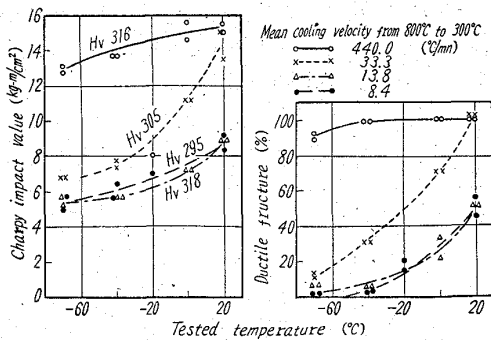


Fig. 3. Effect of quenching conditions on the Charpy impact transition curve.

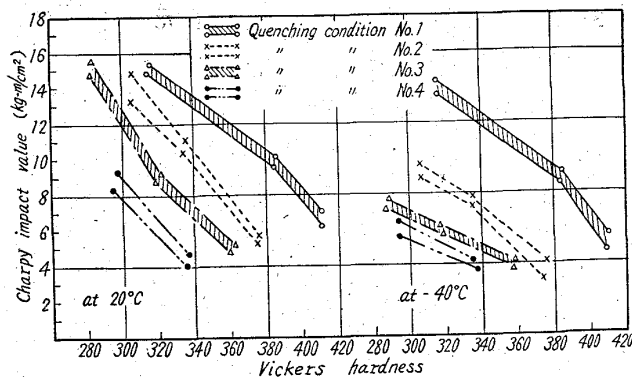


Fig. 4. Relation between hardness and impact value at 20°C and -40°C. (specimen : G-1)

Mo の効果: Mo は引張強さが高い場合(引張強さ 120 kg/mm²) の衝撃特性改善に著しい効果があり、完全焼入、または不完全焼入を問わず認められる。

Ni の効果: Ni は完全焼入状態では顕著な効果は認められないが、不完全焼入状態の衝撃特性改善に非常に

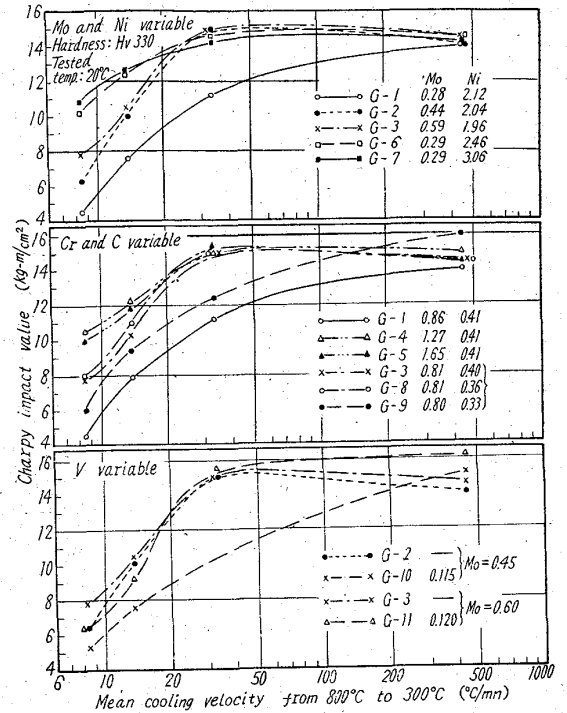


Fig. 5. Effect of alloy elements on impact value (1).

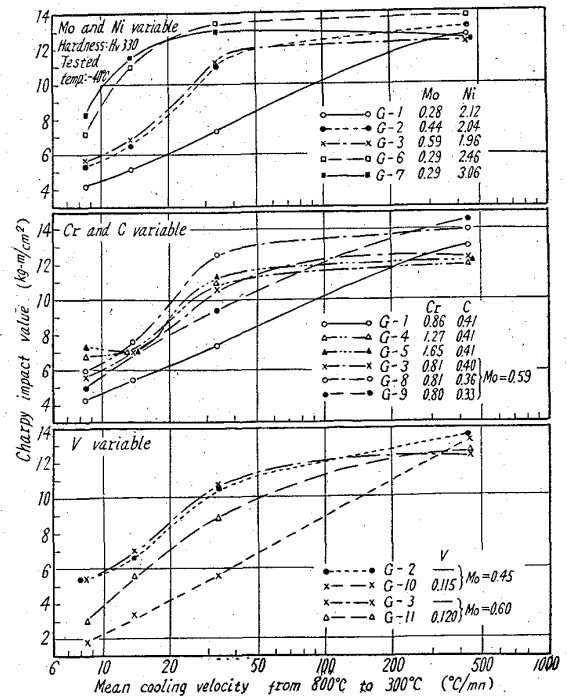


Fig. 6. Effect of alloying elements on impact value (2).

効果的である。

Cr の効果: Cr の効果は認められない。

V の効果: V は同一オーステナイト結晶粒度の Al 添加鋼に較べて若干向上する傾向にあるが、その程度は小さい。一方焼入性を考慮し、同一冷却速度で焼入したものを同一強度に焼戻した場合の衝撃特性におよぼす合金元素量の効果を較べるため 33・3, 13・8, 8・4°C/mn の 3 通りの冷却速度で焼入後、硬度 Hv 330 および 390 に焼戻した場合の常温と、-40°C におけるシャルピー衝

撃値を各合金元素量に対してプロットし、Fig. 9 に一例として硬度 Hv 330 の結果を掲げた。

この図から焼入性をも含めた衝撃値に対する合金元素の最も効果的な使用方法をまとめて述べることにする。

Mo の効果: Mo を 0・4~0・6% に増加させることは焼入冷却速度 30°C/mn 以上の場合 (鋼材直径が比較的小さい場合) 衝撃値改善上最も効果的である。

Ni の効果: Ni を 2・5~3・0% に増加させることは、

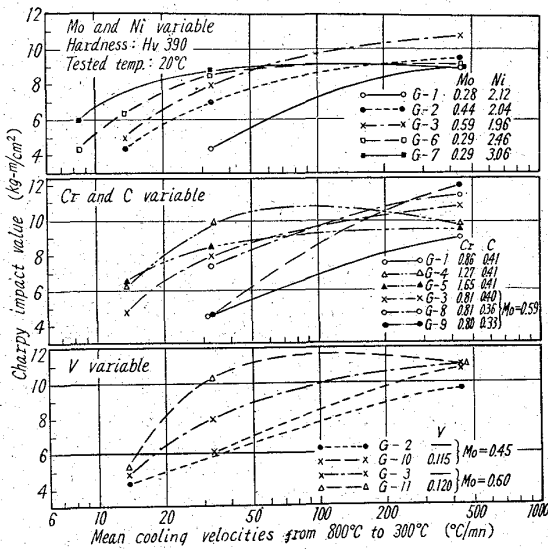


Fig. 7. Effect of alloying elements on impact value (3).

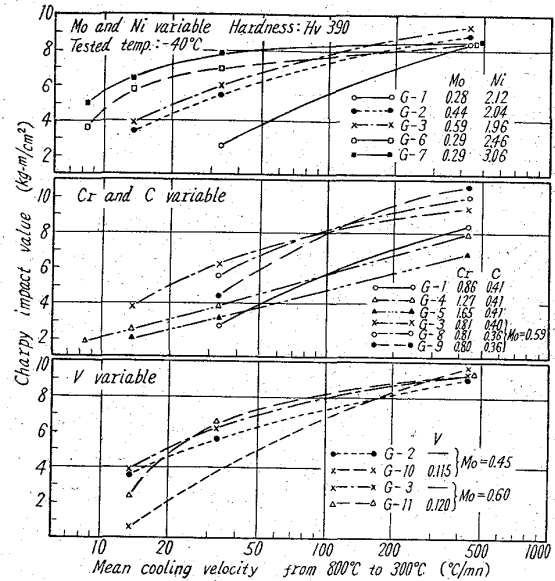


Fig. 8. Effect of alloying elements on impact value (4).

Table 2. Effect of alloying elements on impact value at 50% martensite microstructure.

Marks	Variable element	Hardness Hv 330		Hardness Hv 390	
		Charpy impact value (kg m/cm ²)		Charpy impact value (kg m/cm ²)	
		at 20°C	at -40°C	at 20°C	at -40°C
G 1	—	10・2	6・2	3・0	1・0
G 2	Mo = 0・44	10・0	6・2	4・4	3・2
G 3	Mo = 0・59	10・5	6・8	4・8	3・8
G 4	Cr = 1・27	10・2	6・6	2・4	2・0
G 5	Cr = 1・65	10・5	8・8	4・0	1・6
G 6	Ni = 2・46	10・6	7・2	4・7	4・0
G 7	Ni = 3・06	10・1	8・0	5・5	4・4
G 8	C = 0・36 Mo = 0・59	12・0	10・0	3・6	3・3
G 9	C = 0・33 Mo = 0・60	12・4	9・5	5・0	4・2
G 10	V = 0・115 Mo = 0・44	11・2	6・0	6・8	5・0
G 11	V = 0・120 Mo = 0・60	11・4	7・0	7・8	4・0

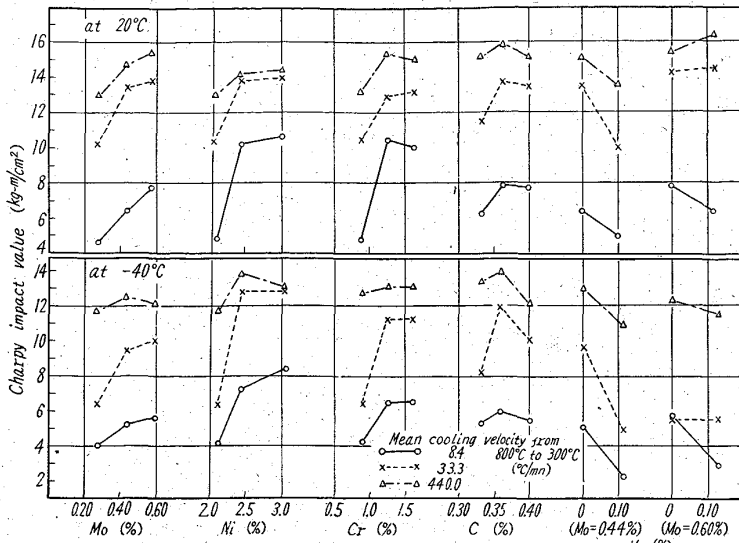


Fig. 9. Effect of alloying elements on Charpy impact value (Hardness : Hv330).

焼入冷却速度 25~8°C/mn 程度の比較的遅い場合 (鋼材直径が大きい場合) 衝撃値向上に最も効果的である。また、Ni は低温衝撃値の向上に対して著大な効果を持っている。

Cr の効果: Cr は低温衝撃値の要求せられる場合好ましくない。しかし、常温の衝撃値に対しては焼入冷却速度 50°C/mn 以下の場合 (鋼材直径が比較的大きい場合) Cr 量を 1.3~1.6% に増すと有効である。

C の効果: C を低下させることは衝撃値改善上最も効果的であるが、焼入性を充分考慮しなければならない。すなわち C 量の減少と焼入冷却速度との関係は、Mo = 0.6% の SNCM8 鋼において、C が 0.35% に低下すると衝撃値が改善される冷却速度は 33°C/mn 以上である。

Table 3. Transition temperature of specimens tested. (Hardness : Hv 330)

Marks	Mean cooling velocities from 800°C to 300°C (°C/mn)			
	440	33.0	13.8	8.4
G-1	<-70	0	60	110
G-2	<-70	-40	10	40
G-3	<-70	-40	20	60
G-4	<-70	-40	0	40
G-5	<-70	-50	0	20
G-6	<-70	<-70	-40	20
G-7	<-70	<-70	-50	-10
G-8	<-70	-60	0	40
G-9	<-70	-20	20	60
G-10	<-70	0	50	100
G-11	<-70	-20	30	100

り、C が 0.3% になると更に速い冷却速度で焼入された場合 (鋼材直径が可成り小さい場合) に限られる。

V の効果: 硬度 Hv 390 の場合: V を 0.1% 添加すると衝撃値は幾分改善される。しかし、硬度 Hv 330 の場合には焼入性低下の影響によりむしろ低温衝撃値が低下する傾向がある。

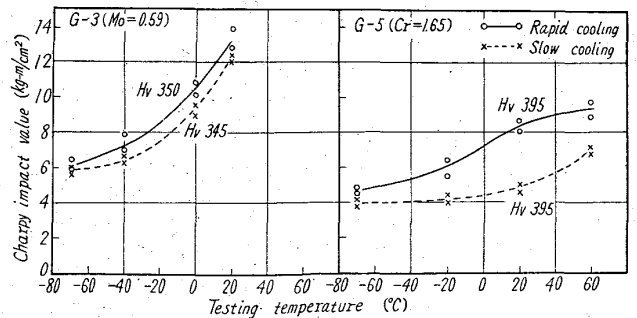
各試験材の 50% 靱性破面による衝撃遷移温度を硬度 Hv 330 の場合について求めると Table 3 の如くで、Ni 量を増した G6, G7 が他の合金元素を増加させたものに比し著しく遷移温度が低くなっている。

以上の実験結果の中、低温衝撃特性を著しく向上させる Ni の効果は、J. A. RAINBOLT⁵⁾, D. K. BULLEN⁶⁾ および T. N. ARMSTRONG⁷⁾ などが種々の Ni 含有量のものについてシャルピー衝撃遷移温度を求め、同様な傾向を有することを報告している。Cr は一般に含有量が増すと焼戻ぜい性の感受性を高めるといわれているが、このことについて高 Cr 材 (Cr=1.65%) と、高 Mo 材 (Mo=0.59%) の焼戻温度からの冷却速度を変化させてぜい化度を調べた。実験結果は Fig. 10 に示す如く、高 Cr 材は高 Mo 材に較べて遷移温度の著しい高温への移行が認められた。この事実は高 Cr 材の低温衝撃値の低い事実と密接な関係があるものと考えられる。

IV. 結 言

構造用低合金鋼 SNCM8 (SAE 4340相当) に Ni, Cr, Mo, V などの元素を附加した場合の強度、靱性に対する効果を明らかにし、今後の低合金鋼の使用に対する一つの指針を得ることが出来た。以下、各合金元素の効果を列挙して結論とする。

1) Mo の効果



Quenching condition: No. 2 (Mean cooling velocity from 800°C to 300°C: 33.3°C/mn)

Fig. 10. Comparison of the sensitivity to temper-brittleness between Mo- and Cr-containing specimens.

焼戻軟化抵抗は Mo 量に比例して大きくなるがその程度は V より小さく、Cr より若干大きい。

Mo 量の増加 (0.6%) は強度が高い場合 (引張強さ 120 kg/mm²) 靱性の改善に最も効果的で、完全焼入状態において特に著しい。

2) Ni の効果

Ni は焼戻軟化抵抗に対して殆んど効果を有しない。

Ni 量の増加は、不完全焼入状態における靱性、特に低温度での靱性改善に非常に効果がある。従つて上記 Mo の増量で靱性の向上が期待出来ない大型鋼材の靱性向上に対して有効である。

3) Cr の効果

焼戻軟化抵抗は Cr 量に比例して大きくなるが、Mo より小さい。

Cr 量の増加は低温における靱性を低下させ、この事実は焼戻ぜい性と関連性があるものと考えられる。しかし、焼入性の改善効果が大きいので鋼材直径が大きい場合には焼入性改善に伴い靱性を向上させる。

4) C の効果

完全焼入が行われる範囲において、C の低下は常温ならびに低温における靱性を著しく上昇させる。

5) V の効果

V の添加は焼戻軟化抵抗を著しく増大させる。

同一オーステナイト結晶粒度の Al 添加材と較べて、V 添加材は同一焼入組織において靱性がすぐれている。しかし乍ら、オーステナイト化条件によつては焼入性を低下させる場合があるので、質量効果を加味した際には靱性に対する効果はあまり期待出来ない。

附記

本実験の研究者は、講演会発表には、中野平、牧岡稔、新名英司で行つたが、その後若干追実験を行い検討を加えた表記 4 名で投稿発表したことを附記する。

(昭和36年6月寄稿)

文 献

- 1) 西原 守, 他: 鉄と鋼, 48 (1962) 1, p. 34
- 2) W. CRAFTS, J. L. LAMONT: Trans. Met. Soc., Amer. Inst. Min., Met. & Pet. Eng., 172, (1947) p. 222
- 3) R. A. GRANGE, R. W. BAUGHMANN: Trans. Amer. Soc. Metals 48, (1956) p. 165
- 4) L. D. JAFFE, E. GORDON: Trans., Amer. Soc. Metals., 49 (1957) p. 359
- 5) J. A. RAINBOLT, W. J. HARRIS: Trans. Amer. Soc. Metals., 43 (1951) p. 1175
- 6) D. K. BULLENS: "Steel and its Heat Treatment, 1948"
- 7) T. N. ARMSTRONG, O. O. MILLER: Symposium of Impact Testing, A. S. T. M., S. T. P., No. 176, 25

18Cr-8Ni-Ti 鋼の高温強度におよぼす溶体化処理の影響*

小野健二**・根本 正***・佐々木良一***

Effects of Solution Treatment on High-Temperature Properties of 18Cr-8Ni-Ti Steel.

Kenji ONO, Tadashi NEMOTO and Ryoichi SASAKI

Synopsis:

The present study was carried out to make clear the effects of solution treatment on the creep rupture properties of type 321 stainless steel.

To prepare test pieces, three kinds of stainless steel bars, 17Cr-9Ni, 17Cr-9Ni-Ti and 18Cr-11Ni-Ti with 25mm diameter were reduced to 15mm diameter by "hot-cold working" at 500°C after water-cooling from 1050°C. And then these specimens were solution-treated at various temperatures between 800°C and 1200°C for 1 hour. Some of these were reheated at 1000°C for 2 hours, 900°C for 5 hours and 800°C for 100 hours after water-cooling from 1100°C.

The obtained results were summarized as follows.

* 昭和36年4月本会講演大会にて発表 ** 株式会社日立製作所日立研究所, 工博
*** 株式会社日立製作所日立研究所