

構造用低合金鋼の溶接性におよぼす

二、三の合金元素の影響*

鈴木 春 義**・田 村 博***

EFFECT OF SOME ALLOYING ELEMENTS ON WELDABILITY OF LOW ALLOY STRUCTURAL STEELS

Haruyoshi Suzuki, Dr. Sci. and Hiroshi Tamura

Synopsis:

Nickel, chromium or molybdenum was added singly to a base composition of C 0.14 (0.18 for Mo series only), Mn 1.10 and Si 0.35%. Eighteen heats of small ingots, about 3.5 kg in weight, were melted in a high-frequency induction furnace and then rolled into bars of a diameter 16 mm.

Tensile and V-Charpy impact tests as well as a simplified weld maximum hardness test with a taper bar specimen, were made under conditions of both normalizing and water quenching followed by tempering at 650°C. From these test results, the following conclusions were summarized:

1. By Ni addition, the tensile strength was remarkably increased, while the yield strength only slightly, especially in quenched and tempered condition.
2. In the quenched and tempered condition, the addition of Cr was very effective to improve the mechanical properties, increasing the tensile strength and decreasing the reduction of area and elongation.
3. Mo increased tensile and yield strengths greatly both in normalized and quenched and tempered conditions.
4. The transition temperature in V-Charpy test was lowered by Ni addition up to about 1%, but raised slightly by addition of Ni more than 1%. Cr and Mo considerably increased the transition temperature. Generally, notch toughness was improved more by quenching and tempering than by normalizing.
5. The as-welded maximum hardness was increased only a little by nickel addition less than about 1%, however it was increased as remarkably as in case of Cr or Mo addition.
6. The allowable strength limit of the steels which showed satisfactory weldability, was found to be as follows, provided the element were added singly to the above base composition:

In the normalized condition:

	T.S.	Y.S.
With nickel	62~63 kg/mm ²	39~40 kg/mm ²
With chromium	62~63 "	34~35 "
With molybdenum	—	—

In the quenched and tempered condition:

	T.S.	Y.S.
With nickel	71~72 kg/mm ²	44~45 kg/mm ²
With chromium	66~67 "	56~57 "
With molybdenum	70 "	45 "

I. 緒 言

最近高級船舶そのほかの溶接構造物に高張力低合金鋼を使用する傾向がさかんで、これまでも日本造船研究協会を中心とした研究¹⁾など、数多くの試作研究が行われてきた。現在までの結論では圧延のまま使用する場合の溶接性良好な引張強さの限界は 58 kg/mm² 程度まで、焼準により材質向上をはかった Vanity 鋼 (Mn-

V-Ti) あるいはその改良鋼 (Vanity 鋼に少量の Ni, Cr, Mo などを添加) では 60 kg/mm² までで、引張強さが 60 kg/mm² 以上で溶接性良好でしかも商用鋼として経済的に適当なものとしては通常の 52 kg/mm²

* 昭和 32 年 4 月本会講演大会にて発表

** 運輸技術研究所溶接部, 理博

*** 運輸技術研究所溶接部

Mn-Si 鋼を焼入焼戻処理して強度と靱性を高めたいいわゆる調質鋼が最も有望とされている。現在これらの要求される強度はますます増加の傾向にあり、調質鋼を中心とした強度のきわめて高い構造用鋼の試作研究も同協会が進められようとしている。

今回著者らはこれらの溶接構造用高張力鋼の試作上の基礎資料を得る目的で、日本製鋼所室蘭製作所研究部の御協力を得て、基本成分が 0.14% C, 0.35% Si, 1.10% Mn 程度のものに Ni, Cr および Mo を種々添加した実験用小鋼塊を試作して、焼準および焼入焼戻処理した場合に得られる強度、切欠靱性および溶接熱影響部の硬化性を調べ、Ni, Cr および Mo をそれぞれ上記の基本成分の鋼に単独に添加した場合に得られる溶接性良好な強度の限界を明らかにせんとした。以下その実験結果の概要をのべる。

II. 鋼 材

溶接構造用鋼としては C ができるだけ低いことが望ましい点を考慮に入れて試験用鋼材には、基本成分 C 0.14%, Si 0.35%, Mn 1.10% 程度のものに、Ni 0~3.5%, Cr 0~1.5%, Mo 0~1.3% 程度までをそれぞれ単独に添加した計 18 種のを計画した。このうち Mo 系では最近英国において Mo-B 系の低炭素低合金鋼が溶接用高張力鋼として好結果を示している現状²⁾からとくに 0.005% 程度の B を添加した場合について実

験を行つた。鋼材の試作は、とくに日本製鋼所室蘭製作所研究部に依頼し、溶解重量約 3.5 kg 程度の小型高周波電気炉で溶解鑄造後、径 16 mm の丸棒に鍛造し、さらに 900°C で加熱後空冷して焼準処理を行つた。

以上の試作鋼の化学分析結果を Table 1 に示す。これらの成品分析結果ではその目標成分 (0.14% C, 0.35% Si, 1.10% Mn) から C は 0.01%, Si および Mn はいずれも約 0.1% 程度の変動を示した。また Mo 系で C 量が 0.18±0.1% 程度となり Ni あるいは Cr 系に較べて約 0.04% 程度増加したのは余分の C が原料から混入したためと思われる。

III. 実 験 方 法

以上 18 種の試作鋼について焼準および焼入焼戻処理について引張試験による機械的性質の測定、V-シャルピー衝撃試験による切欠靱性の比較および焼準処理材について溶接熱影響部の硬化性の検討を行つた。

焼入焼戻処理としては焼準した試作材の一部から、引張試験用には中央部の径 1/2 in, 全長 110 mm, シャルピー試験用には 12 mm 角, 長さ 55 mm 程度の粗仕上材を削り出し、930°C で 1 時間加熱後水焼入し、650°C で約 1 時間の焼戻処理を行つたのちそれぞれ標準寸法の試験片に仕上げた。

引張試験には径 3/8 in の ASTM 標準丸棒試験片 (標点距離 35 mm, L/D=4) を用い、とくに引張試験

Table 1. Chemical analysis of test steels.

Series	Melt No.	Chemical composition										
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu	Mo	B	Al
Nickel series	A 1	0.14	0.34	1.09	0.028	0.020	0.25	0.06	0.25			0.072
	A 2	0.14	0.38	1.02	0.028	0.020	0.27	0.06	0.25			0.054
	A 3	0.14	0.42	1.01	0.028	0.020	0.69	0.06	0.25			0.028
	A 4	0.13	0.45	1.00	0.028	0.021	0.89	0.06	0.25			0.029
	A 5	0.15	0.36	1.19	0.025	0.021	1.05	0.11	0.25			0.072
	A 6	0.15	0.40	1.17	0.024	0.020	1.49	0.09	0.25			0.033
	A 7	0.15	0.40	1.18	0.026	0.020	1.93	0.10	0.25			0.024
	A 8	0.15	0.47	1.14	0.025	0.020	3.59	0.05	0.25			0.010
Chromium series	B 1	0.14	0.23	1.07	0.036	0.019	0.16	0.16	0.24			0.009
	B 2	0.14	0.29	1.10	0.034	0.020	0.16	0.33	0.04			0.008
	B 3	0.14	0.35	1.20	0.035	0.020	0.16	0.50	0.24			0.013
	B 4	0.15	0.35	1.21	0.029	0.020	0.15	0.71	0.23			0.050
	B 5	0.15	0.40	1.11	0.029	0.020	0.15	0.92	0.23			0.014
	B 6	0.14	0.43	1.06	0.029	0.020	0.15	1.39	0.23			0.008
Molybdenum series	C 1	0.17	0.35	1.10	0.011	0.027	0.23	0.05	0.21	0.14	0.0054	0.032
	C 2	0.17	0.36	1.11	0.012	0.018	0.23	0.07	0.21	0.35	0.0052	0.031
	C 3	0.18	0.35	1.13	0.013	0.025	0.21	0.05	0.23	0.56	0.0054	0.031
	C 4	0.19	0.26	1.13	0.012	0.032	0.23	0.06	0.23	1.16	0.0046	0.031

の際の荷重—伸曲線を東京衡機 K. K. 製の差動変圧器型歪計で記録し、永久歪が 0.2% に相当する応力をもとめて降伏応力（耐力）と定めた。

切欠靱性には標準 V-シャルピー試験片を用い、-160°C ~ +120°C の範囲で衝撃試験を行い、遷移温度曲線をもとめた。冷却剤としては -80°C 程度までアルコールとドライアイス混合物を、それ以下には液体窒素を使用した。

また溶接熱影響部の硬化性をもとめるには鋼板にビード溶接した場合の溶接熱影響部の断面の硬度分布から測定する方法が標準試験となつてはいるが、本実験用鋼材は丸棒であるため、本法をそのまま適用することはできない。そこで、ここではさきに著者らが熱サイクル再現装置を利用して行つた最高硬度の簡易試験を採用した。この方法は Fig. 1 のごとく、鋼材から削り出したテーパ

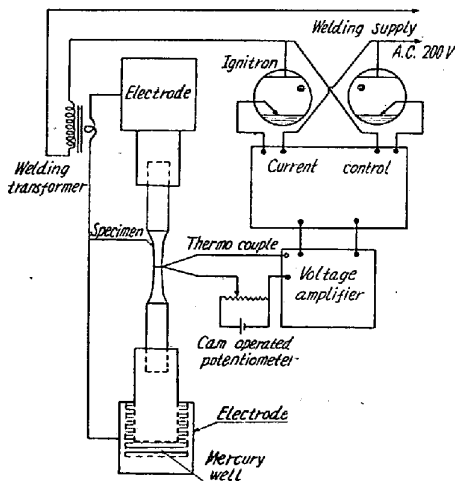


Fig. 1. Principle of taper bar testing apparatus.

一試験片 (Fig. 7 参照) を熱サイクル再現装置の大電流で適当に加熱溶断することによつて、試験片の溶断面附近に、鋼板に標準条件 (20mm 鋼板, 4mm 径溶接棒, 170A, 24V, 6 in/mn) で溶接ビードをおいた場合に溶接熱影響部がうける加熱冷却サイクルに近似の熱サイクルが与えられるようにテーパ試験片の形状を定めたもので、したがつてこのように溶断したテーパ試験片の断面硬度分布を測定することによつて普通は溶接ビードの置けないような丸棒程度の小試験片についても実際に溶接ビードをおいて測つたと同様に熱影響部の最高硬度の値を近似的にもとめることができるので非常に便利なわけである。

IV. 実験結果

(1) 引張試験

試作鋼 18 種についての引張試験結果から、各合金元素量と降伏強さ、引張強さ、伸びおよび絞り (断面収縮率) の関係を焼準および焼入焼戻処理について図示した結果を Fig. 2 ~ Fig. 4 に一括した。各測定点はすべて 2 個の平均値を示す。

Ni の影響。焼準状態では Ni の増加に対して降伏および引張強さはほぼ直線的に増加し、伸びおよび絞りは逆に減少する。降伏強さの増加は引張強さに較べると比較的わずかで、また Ni=1.5% 程度以上では組織もか

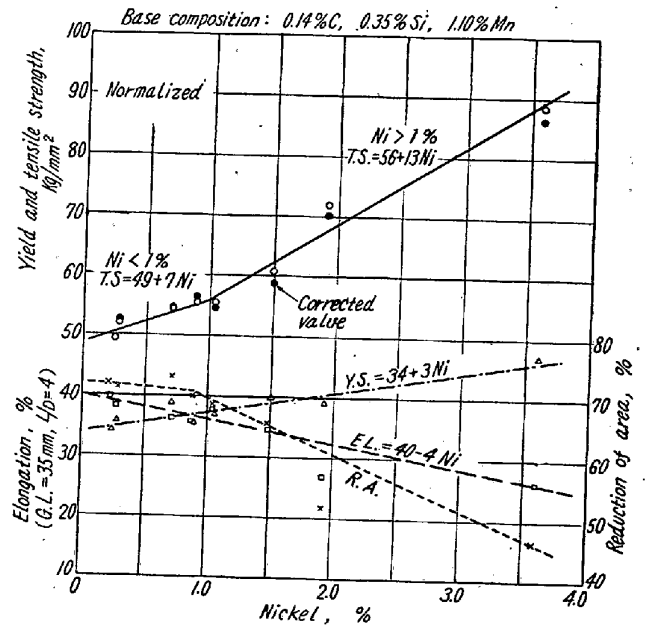


Fig. 2 a. Effect of nickel content on tensile properties of normalized steels.

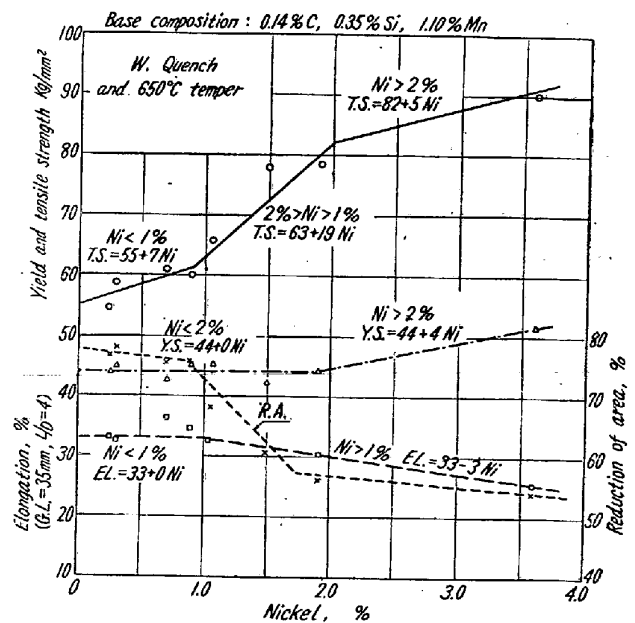


Fig. 2 b. Effect of nickel content on tensile properties of quenched and tempered steels.

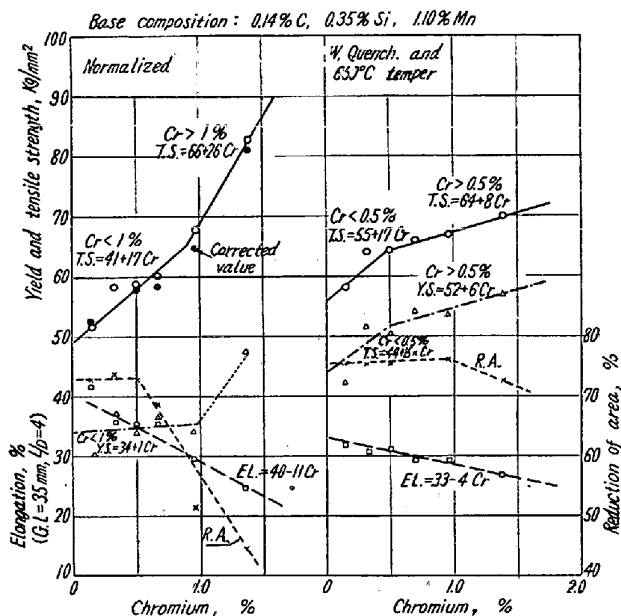


Fig. 3. Effect of chromium content on tensile properties of normalized or quenched and tempered steels.

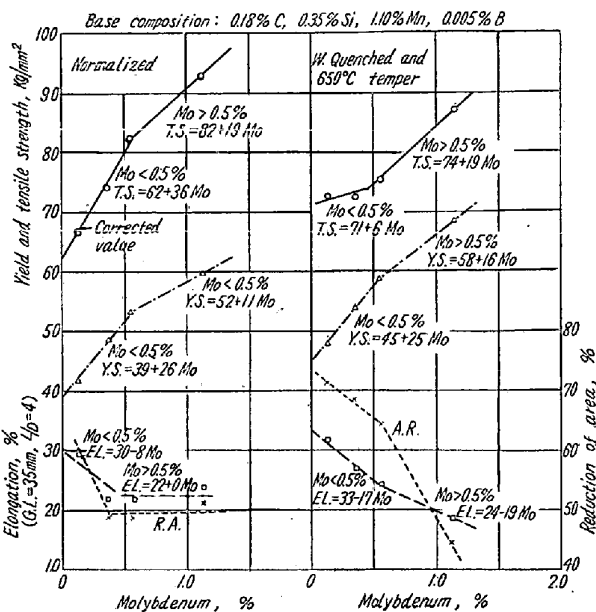


Fig. 4. Effect of molybdenum content on tensile properties of normalized or quenched and tempered steels.

わり引張強さの増加がいちじるしくなる。いまこれらの曲線から引張強さ、降伏強さなどと Ni 量の関係をもとめると Fig. 2 中の実験式であらわされる。ただしこれらはすべて測定値そのままを図示した結果であるが、ここで Ni 以外の成分の変動を木原および著者ら⁴⁾が Rinebolt⁵⁾ 等およびその外多数の結果をもとに整理した実験式* を用いて計算した結果では、たとえば引張強さの補正值は Fig. 2 a の黒丸のごとくなる。実測値との差は $\pm 2 \text{ kg/mm}^2$ 以内で、曲線の傾向はほとんど変化ないとみられるので、ここでは以下すべて実測値をそのままプロットし、補正值は参考程度にとどめた。

以上の結果は、さきに著者らが行った準商用鋼の結果⁶⁾とも比較的一致した値を示す。

一方焼入焼戻の場合は、全般的に降伏および引張強さの値そのものは焼準の場合に較べてかなり高くなっているようであるが、Ni の増加に対する変化の傾向は比較的類似していることがわかる。ただ降伏強さは Ni 約 2.0% 程度まではほとんど増加せず、したがって焼入焼

戻の場合 Ni の添加は引張強さは増すが降伏強さを高めるうではあまり効果がないようである。

Cr の影響：焼準の場合、引張強さは Cr の増加に対していちじるしく増すが、降伏強さは 1.0% 程度までは変化ない点は従来の結果⁶⁾とも一致する。伸びおよび絞りも引張強さの増加とは逆にいちじるしく減少するのは Cr > 1.0% では空冷によつて硬化したためである。

焼入焼戻では、焼準とはかなり傾向を異にし、引張および降伏強さは Cr 量とともに比例的に急激に増し、一方伸びや絞りはその減少が焼準の場合よりきわめてわずかで焼戻 (650°C) の効果がいちじるしいゆえ、焼入焼戻の場合は 2% 以内の添加では Ni より Cr の方が強度を高める上では有利といえよう。

Mo の影響：0.005% 程度の B と共存した場合の Mo の影響は、焼準、焼入焼戻の場合ともに Mo の増加に対して引張および降伏強さはいちじるしく増加する。また Mo > 0.5% では焼入性が増すため、焼準の方が焼入焼戻処理より引張強さは高くなる。ここでは英国の Fortiweld 鋼に示されるところの B 処理が 0.5% 程度の低炭素 Mo 鋼の降伏強度をいちじるしく増す効果⁷⁾は本実験結果からはとくに明らかでない。

また Mo の影響については、その強度の増加が小さいとの Rinebolt らの結果⁸⁾と、大きいとの Banta らの結果⁹⁾の両者がみられるが、本実験結果では Banta らの結果とよく一致する。試料の冷却速度にもよるが、Mo は Cr と同様に強度をいちじるしく増すと考えるのが妥

* $Cy \text{ (Y.P.) } \% \equiv C + 1/5Mn + 1/7Si + 1/7Cu + 1/20Ni + \text{Zero} \times Cr + 1/20Mo + 1 \cdot 1V \dots\dots\dots (1)$
 $Ct \text{ (T.S.) } \% \equiv C + 1/5Mn + 1/7Si + 1/7Cu + 1/20Ni + 1/9Cr + 1/2Mo + 1/2V \dots\dots\dots (2)$
 $Ce \text{ (Elong) } \% \equiv C + 1/9Mn + 1/12Si + 1/10Cu + 1/20Ni + 1/4Cr + 2/5Mo + 4/5V \dots\dots\dots (3)$
 $Y.P. \text{ (kg/mm}^2\text{)} = (37 \cdot 5 \times \%Cy + 16 \cdot 8) \pm 4 \cdot 0 \dots\dots (4)$
 $T.S. \text{ (kg/mm}^2\text{)} = (61 \cdot 0 \times \%Ct + 24 \cdot 3) \pm 3 \cdot 5 \dots\dots (5)$
 $Elong \text{ (2" , \%)} = (55 \cdot 9 - 51 \cdot 2 \times \%Ce) \pm 4 \cdot 5 \dots\dots (6)$

当であろう。

(2) V シャルピー試験

試作鋼 18 種について行つた V シャルピー衝撃試験結果では、一般に遷移温度曲線は合金元素量の増加とともに高温側に移り、曲線の傾斜は次第に緩やかになる。焼入焼戻によつて衝撃値は焼準に較べていちじるしく増加し遷移温度は低温側に移動している。

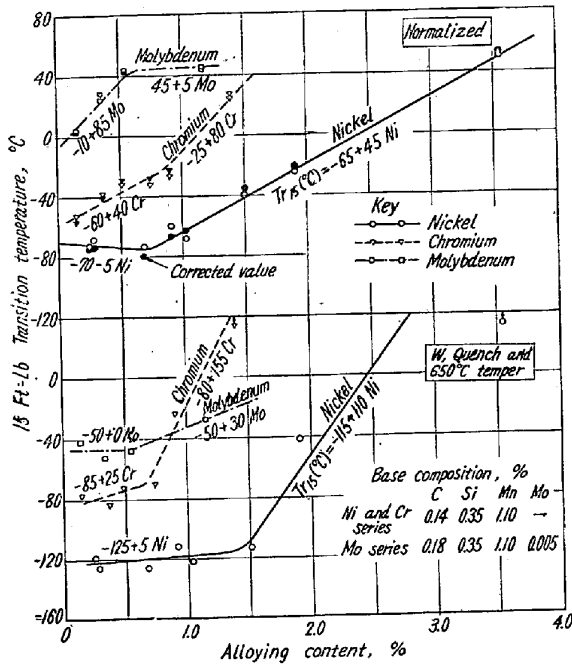


Fig. 5. Effect of alloying contents on the V-Charpy 15 ft-lb transition temperature of test steels.

Fig. 5 は各合金元素量と 15 ft-lb 遷移温度の関係を示すもので焼準の場合 Ni=1% 程度まで、また焼入焼戻では Ni=1.5%, Cr=0.7%, Mo=0.5% 程度まで遷移温度の上昇が比較的少い。これらの曲線から各合金元素と 15 ft-lb 遷移温度の関係は図中のごとき実験式としてもとめ得る。これらの値を焼準処理材についてもとめた Rinebolt 等⁵⁾の結果と比較すると、Rinebolt の場合は Ni 約 3% 程度までは Tr_{15} をわずかに低下せしめているが、本実験結果では 1% 附近から逆に Tr_{15} は上昇している。これは主として試料を焼準の際の冷却速度の相異によるものと思われる。なお Fig. 5 の焼準の場合には、他の成分の変動を実験式*を用いて補正した値を黒印で示す。

Fig. 6 は各合金元素量と 0°C の衝撃値の関係で、焼

* 文献 (4) より
 $Tr_{15}(°C) = 147C - 56Mn + 560P - 39Ni + 195Mo + Zero \times (Si + S + Cu + Cr) + const. = 147Ceq + const. \dots \dots \dots (7)$

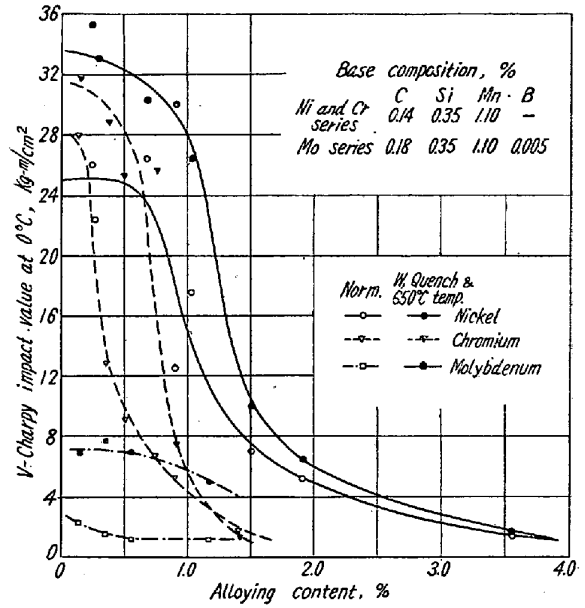


Fig. 6. Effect of alloying content on V-Charpy impact values of test steels.

準の場合 Ni は約 1%, Cr は約 0.5% 以上で衝撃値は激減する。Mo の場合は基本成分の C 量が高いため全体の衝撃値が非常に低く、その傾向が明らかでないが、やはり Mo の増加とともに衝撃値はやや低下する。Fortiweld 鋼のいわゆる 0.5% 程度の Mo 量に対する B 処理の切欠靱性を増す効果は全く見られない。なお厳密にはさらに低 C の鋼による実験が必要であろう。また焼入焼戻の場合、衝撃値は全体的に焼準よりはるかに増加し良好な結果を示し Mo>1% で衝撃値はやや低下する。

(3) 溶接熱影響部の最高硬度

熱サイクル再現装置を利用して簡易的にもとめた熱影響部の最高硬度の測定結果から、各合金元素量に最高硬度の値を図示すると Fig. 7 が得られる。各合金元素量の増加により最高硬度は一般に増加するが、1% 以下の添加量では Ni による増加が最もわずかで、Cr と Mo はほぼ同程度であつた。ただし Ni も 1% を超えると Cr および Mo と同程度の増加量を示すことは注目値する。また約 2% を超えるとほとんど増加が見られず全体の曲線の傾向は前の焼準の場合の引張強さと成分の関係 (Fig. 2 a) ときわめて類似している。各成分量と最高硬度の増加量の関係は図中の実験式によつてそれぞれ表わされるが、1% 以下の場合の値は著者らの行つた準商用鋼の結果⁶⁾または Dearden and O'Neill の等価炭素量を示す実験式すなわち

$$Ceq(\%) = C + 1/6Mn + 1/15Ni + 1/5Cr + 1/4Mo$$

とも矛盾はないが、1% を超え 2% までの場合は Ni

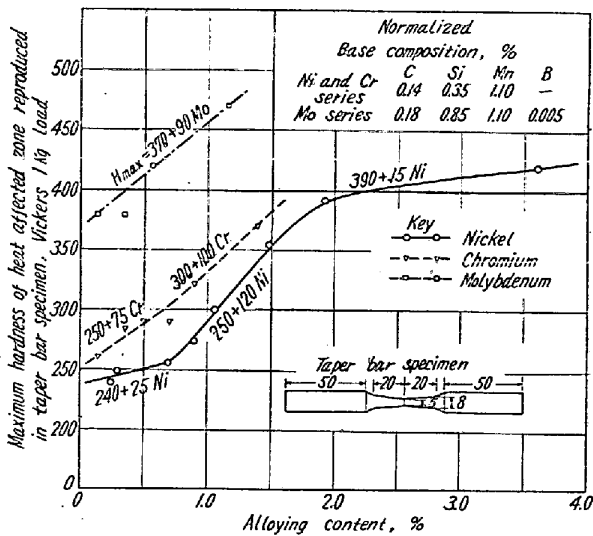


Fig. 7. Effect of alloying content on maximum hardness of heat affected zone reproduced with a taper bar specimen.

による増加量はいちじるしく大きくなるから上式の Ni の係数は Cr あるいは Mo と同程度の値をとるべきと考える。

(4) 顕微鏡組織

試験材の顕微鏡組織をしらべた結果は、焼準の場合、Ni は A5 (Ni=1.05%), Cr は B3 (Cr=0.5%) まではフェライトとパーライト組織で結晶も微粒であるが Ni では A6 (Ni=1.49%) 程度からパーライトの一部に腐蝕され難い硬化組織が混入して次第にその量を増す。Cr では B4 (0.71% Cr) 程度からフェライトの一部は針状に、パーライトは分散し小片になり、B6 (Cr=1.39%) ではフェライトは完全に網目状になる。Mo は C2 (0.35% Mo) から一様なソルバイトになる。

焼入焼戻の組織は一般に細長い塊状または針状のフェライトあるいは焼入生成物の痕跡に焼戻炭化物が微細に分散あるいは凝集しており、合金量の多いもの、とくに Mo では針状のマルテンサイトの痕跡が明らかに認められる。

V. 考 察

溶接構造用高張力鋼について考慮すべき重要な性質としては (1) 強度, (2) 切欠靱性, (3) 硬化性の3つがあげられる。いま以上の実験結果を総括することによって溶接構造用鋼に対する添加元素としての Ni, Cr および Mo の適正成分範囲について検討したい。

Fig. 8 は Ni について V シャルピー試験の 0°C の衝撃値および熱影響部の最高硬度を引張強さに対してプロットしたものであるが、これによれば、いまたとえば C

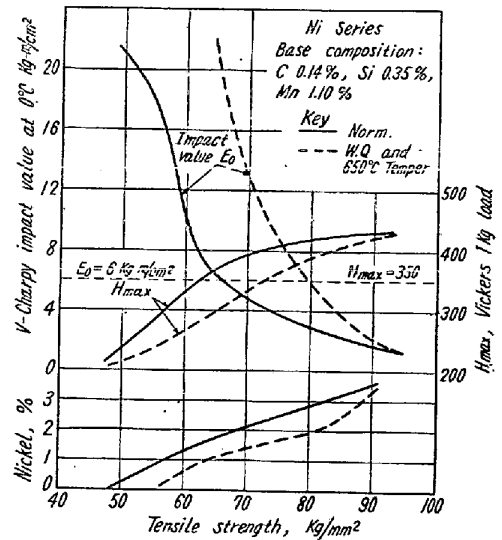


Fig. 8. Evaluation of weldability based on the tensile strength. Nickel was added singly to the base composition of C 0.14, Mn 1.10 and Si 0.35%.

0.14%, Mn 1.10%, Si 0.35% 程度のもので引張強さ 60 kg/mm² 以上の鋼を得るために添加すべき Ni 量は焼準の場合 1.3% 程度で、その場合の衝撃値は約 9 kg-m/cm²、最高硬度は 330 (ピッカース 1 kg) 程度となる。もし焼入焼戻の場合を考慮すれば、Ni 0.7% 程度で引張強さは 60 kg/mm² に達し、その場合に得られる衝撃値は 30 kg-m/cm² 以上、また最高硬度は 270 程度となる。ただし焼準と焼入焼戻で最高硬度はかわらないものとした。すなわち Ni を添加した場合は焼入焼戻処理の方が同一の引張強さを得るための添加量は少なくても得られる衝撃値はいちじるしく大で、最高硬度の値も小という頗る有利な結果が示されている。

構造用鋼として必要な溶接性の値として、0°C の衝撃値を 6 kg-m/cm² 以上、熱影響部の最高硬度をピッカース 350 以下と考えると、Fig. 8 の関係から Ni 単独の添加によって溶接性良好な鋼の引張強さの限界は、焼準の場合 62~63 kg/mm² で添加量は Ni 1.5% 程度となる。また同じく焼入焼戻処理を行つた場合には焼準の場合よりもはるかに強度の大なるものが得られ、引張強さ 71~72 kg/mm² 程度までとなり、添加量は 1.6% Ni 程度となる。

Fig. 9, は同じく Cr の場合で、これにより Cr を単独に添加した場合の溶接性良好な鋼の引張強さの限界は焼準では Ni と同様 62~63 kg/mm²、添加量は Cr 0.7% 程度で、また同じく焼入焼戻の場合は引張強さ 66~67 kg/mm² 程度、添加量は 1.0% Cr 程度となる。ここで Ni の場合は衝撃値は良好であるため最高硬度の

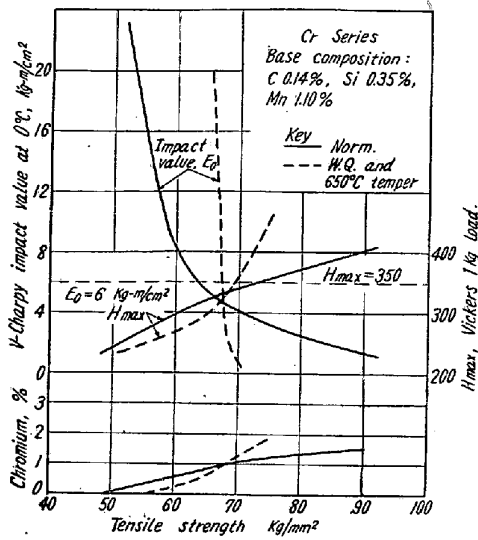


Fig. 9. Evaluation of weldability based on the tensile strength. Chromium was added singly to the base composition of C 0.14 Mn 1.10 and Si 0.35%.

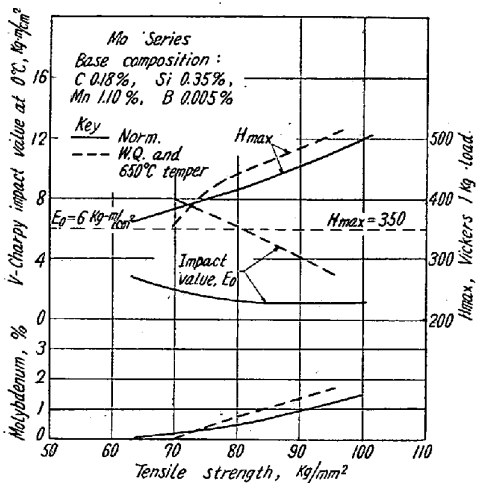


Fig. 10. Evaluation of weldability based on the tensile strength. Molybdenum was added singly to the base composition of C 0.14 Mn 1.10 and Si 0.35%.

値がその添加量の限界となるに対して、Cr では低い衝撃値がその限界を決めているようである。

Fig. 10 の Mo の場合は基本成分中の C 量が高いことなどによつて一般に衝撃値が低く、最高硬度も高くなり溶接性良好な成分範囲が決め難い。英国の Fortiweld (Mo-B steel) では C < 0.15% であり、また調質鋼として有名な Carilloy T-1 鋼 (Mn-Ni-Mo-B) も C < 0.18% で、しかも実用は C 0.14% 程度が多いことから考慮しても、できるだけ C 量の低いものが溶接構造用として望ましいと考えられる。

以上引張強さについてであるが、降伏強さについて同

様な検討をすると、各合金元素を添加した際の溶接性良好な限界降伏強さは、

	焼 準	焼入 焼戻
Ni	39~40 kg/mm ²	44~45 kg/mm ²
Cr	34~35 kg/mm ²	56~57 kg/mm ²
Mo-(B)	—	45 kg/mm ²

となり、焼準では Ni の方が、また焼入焼戻では Cr の方が非常に有利となる。

なお以上は溶解重量 3.5 kg 程度の実験用小鋼塊による結果故、とくに衝撃値については商用鋼と幾分異なることも考えられるが、二、三の商用あるいは準商用鋼の結果⁶⁾と比較した場合もかなりよく一致した値を示しているから、本実験結果は商用鋼の試作上の資料として充分考慮に値し得るものと確信する。ただしここで用いた高張力鋼の溶接性の基準については充分検討することが必要で、今後この種の商用鋼の実験結果に俟つところが多いと思われる。

V. 結 論

基本成分が 0.14% C (Mo の場合 0.18% C), 1.10% Mn, 0.35% Si, 程度の実験用鋼 18 種により、丸棒引張試験による機械的性質、V シャルピー衝撃試験による切欠靱性および熱サイクル再現装置を利用したテーパー試験片によつて簡易的にもとめた熱影響部の最高硬度におよぼす Ni, Cr および Mo (0.005% B 添加) の影響を焼準および水焼入、650°C 焼戻処理の場合についてしらべた結果を総括すると、大要次の結論が得られる。

(1) Ni の増加により引張強さはいちじるしく増すが、降伏強さの増加は比較的少く、とくに焼入焼戻の場合は降伏強さを増すうえには Ni の添加はほとんど効果がなかつた。

(2) Cr 添加の場合は、引張強さは増すが降伏強さの増加は焼準では少ないことは Ni 添加の場合と同様であるが焼入焼戻の場合は降伏強さの増加がきわめていちじるしく、また伸びや絞りの減少も焼準に較べてきわめてわずかであり、焼戻の効果が大であるから強度を高めるうえで Cr の添加は非常に有利である。

(3) Mo (B と共存) の添加は焼準、焼入焼戻の場合ともに、引張あるいは降伏強さをいちじるしく増加させる。

(4) V シャルピー試験による 15 ft-lb 遷移温度は焼準の場合、Ni 約 1% 程度までは成分の増加とともに減少し切欠靱性は向上するが、Ni 約 1% 以上、あるい

は Cr または Mo の増加により遷移温度は上昇し切欠靱性は低下する。

(5) 焼入焼戻の場合には一般に切欠靱性は焼準の場合より向上し Ni 約 1.5%, Cr 約 0.7%, Mo 約 0.5% 程度までは遷移温度の増加は少ない。

(6) 熱影響部の硬化性は、1% 以内の添加量では Ni の場合が最も少なく良好であるが、Ni の場合も1% を超えると Cr あるいは Mo 同様最高硬度の増加がいちじるしくなる。したがって最高硬度についての等価炭素量の式で添加量が 1% を超える場合は Ni の係数を Cr あるいは Mo と同程度の 1% 以下の場合よりかなり大きい値をとるべきであろう。

(7) 本実験結果から上記の基本成分の鋼に各合金元素を単独に添加して得られる引張強さの限界は、溶接性を考慮した場合大体つきのごとくである。

	焼 準	焼入焼戻
Ni	62~63 kg/mm ²	71~72 kg/mm ²
Cr	62~63 kg/mm ²	66~67 kg/mm ²
Mo-(B)	—	70 kg/mm ²

また同様に降伏強さの限界はつきのごとくなる。

	焼 準	焼入焼戻
Ni	39~40 kg/mm ²	44~45 kg/mm ²
Cr	34~35 kg/mm ²	56~57 kg/mm ²
Mo-(B)	—	45 kg/mm ²

終りに、本研究に対して種々の御鞭撻を賜った東京大

学木原教授、市川溶接部長ならびに御多忙な日常作業の余暇をさいて実験用鋼の試作を御担当下さった日本製鋼所室蘭製作所近藤次長をはじめ下田研究部長、野村課長小田技師ほか現場の方々の御好意に対して心から感謝致す次第です。

なお本実験の実施には東京大学院学生川名氏および当部永松技官が協力されたことも併せ記して御礼申し上げます。(昭和 32 年 10 月寄稿)

文 献

- 1) 木原他: 溶接学会誌, 25, 1956, No. 5., 木原: 溶接学会誌, 26, 1957, No. 8~11, および日本造船研究協会第 33 部会報告未印刷 (1957)
- 2) 例えば H. F. Tremlett: Weld. and Metal Feb., June (1954) および同上 Jan. (1955)
- 3) 鈴木, 田村, 川名, 橋口: 溶接学会誌, 26, 1957 No. 5, p. 305~313
- 4) The Soc. of Naval Arch. of Japan, 60th Anniversary Series, Vol. 1, 1957, p. 33, 39
- 5) J. A. Rinebolt and W. J. Harris: Trans. A.S.M. Vol. 43, 1951, 1195~1214
- 6) 木原, 鈴木, 田村, 小田, 宮野, 田島: 溶接学会誌, 25, 1956, No. 12, p. 688~695 および同上 26, 1957. No. 1, p. 29~35
- 7) C. E. Sims and H. M. Banta: Weld. Jul., Vol. 28, 1949, 178s~192s

不銹鋼の熱処理における加熱速度の影響 (I)*

作 井 誠 太**・森 勉***

THE EFFECT OF HEATING RATE ON THE PROPERTIES OF HEAT TREATED STAINLESS STEEL (I)

Seita Sakui, and Tsutomu Mori

Synopsis:

In order to investigate the effect of heating rate on the phenomena in the heat treatment of cold-rolled 18/8-stainless steel, two kinds of heating rates, i. e. 10°C/s and 10°C/mn were applied.

The temperature at which the specimen began to soften was far higher in rapid heating than in slow heating. This difference between both temperatures decreased with increasing reduction of thickness of specimen.

The α phase which had been derived by cold rolling began to disappear at about 500°C in slow heating and at about 600°C in rapid heating. At the temperature higher than 800°C,

* 昭和 32 年 10 月本会第54回講演大会にて発表

** 東京工業大学金属工学科, 教授, 工博

*** 東京工業大学金属工学科