

は保証し得るものごとくである。なお焼入焼戻しの場合ではその低温靱性はさらに向上している。

c) 歪時効試験

Table 1 の鋼材中①, ③, ⑤のアルミキルド, 2.5%Ni, 3.5%Ni 鋼の焼準後のものについて 1~5% 引張り歪後, 250°C×1/2 h 人工時効後の低温靱性の低下を調べた。試験結果の一例は Fig. 2 のごとくであるが, いずれの鋼板も時効後においても目標とする低温靱性には充分である。

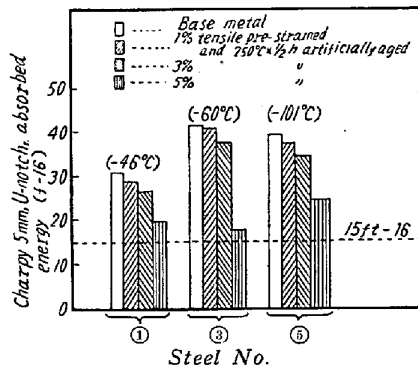


Fig. 2. Results of strain-aging test.

d) 溶接熱影響部硬度

単層ビード溶接の溶接熱影響部の最高硬度を測定した(熱処理は焼準のもの)。溶接硬度を等価炭素量に関し図示すれば Fig. 3 のごとくである。化学組成としては炭素量を低くすることが必要であろう。

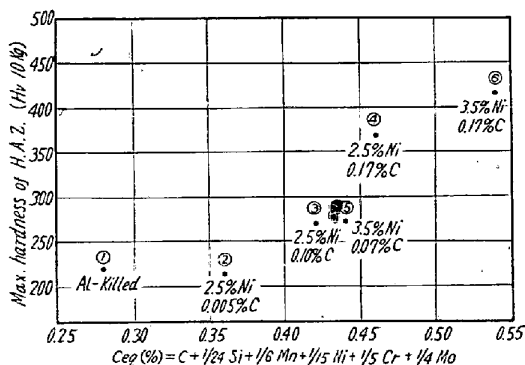


Fig. 3. Relationship between equivalent carbon content and max. hardness of the weld heat-affected-zone.

e) キンゼル試験

鋼材①のアルミキルド, ③の 2.5%Ni, ⑤の 3.5%Ni 鋼焼準後の材料について溶接キンゼル試験を行なった。横収縮率 1% に相当する $Tr\phi$ は -38°C , -85°C , -84°C 程度でとくに 2.5%Ni, 3.5%Ni 鋼では格段にその溶接部の靱性のすぐれていることが明らかとなった。

f) NRL の落重試験による NDT 温度の決定

キンゼル試験の場合と同一材料について NRL 落重試験により NDT 温度を求めその試験結果を Table 2 に示した。

Table 2. NDT temperature and Charpy V-notch absorbed energy at NDT temperature.

Steel No.	Steel code	NDT temperature	Charpy absorbed energy at NDT temperature	
			V-notch	U-notch
①	Al-killed	$-49 (^{\circ}\text{C})$	16.1 (ft-lb)	29.3 (ft-lb)
③	2.5% Ni	-93	31.5	30.8
⑤	3.5% Ni	-105	22.0	34.4

これらの材料はその NDT 温度より考えて充分一定の低温使用に安全であることが考えられる。しかも 2.5%Ni および 3.5%Ni 鋼ではその使用温度を -60°C , および -101°C と考える場合は余裕のある値を示す。しかも NDT 温度における V ノッチシャルピーの吸収エネルギーは 15 ft-lb よりもなお高い。

V. 結 言

本試験で試験したアルミキルド鋼, 2.5%Ni 鋼, および 3.5%Ni 鋼は ASTM の規格により低温靱性の規格は一応定められているものである。これらの材料について低温靱性を中心とした各種の性質について試験したものである。これらにより適当な化学組成と熱処理の方法について基礎的な資料を得た。これにより充分 ASTM 規格に対して満足な鋼板を製作したのみでなく, さらに NDT 温度との関連においてその実用性を確認するとともに各種の溶接性試験を行ない, 溶接構造用材料としての溶接性のすぐれていることを明らかにし得た。

(129) 9%Ni 鋼の基礎的性質

(低温用鋼としての 9%Ni 鋼の研究—I)

三菱製鋼長崎製鋼所

木月清彦・小早川八郎・白石卓雄
Fundamental Properties of 9% Nickel Steel.

(Study on 9% nickel steel for low-temperature service—I)

Kiyohiko Kizuki, Hachirō Kobayakawa
and Takuo Shiraishi.

I. 緒 言

最近石油工業, 化学工業などの発展は目覚ましいものがあり, その一面において低温化の傾向もますます増大することが予想され, これらの低温における構造用材圧力容器材の使用に当つては, 脆性破壊防止の観点から低温切欠靱性の優れた材料の重用は必然的なものと考えられる。現在 -200°C までの低温度での使用において,

Table 1. Chemical compositions.

Specifications	Thickness of plates	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Ni %	Al %
MALTI-4	≤25 mm	<0.13	0.15~0.30	<0.80	<0.020	<0.020	8.50~9.50	>0.015
ASTM-A353 Gr. A	≤ 2 "	<0.13	0.15~0.30	<0.80	<0.035	<0.040	8.50~9.50	—
ASTM-A353 Gr. B	≤ 0.58 "	<0.13	0.15~0.30	<0.90	<0.035	<0.040	8.50~9.50	—

Table 2. Requirements for tensile, impact and bend tests.

Specifications	Thickness of plates	Tensile test			Bend test	Charpy impact test		
		T. S.	Y. P.	E % in 2"	Ratio of bend dia. to thickness	Specimens	Testing temp.	Impact value
MALTI-4	≤25 mm	kg/mm ² >63	kg/mm ² >42	>22	2	5mm U-notch	-195°C	>2.1kg-m.
ASTM-A353 Gr. A	≤ 2 "	psi >90,000	psi >60,000	>22	≤ 3/4" ; 2 3/4~1 1/4 ; 2 1/2	Keyhole or 5mm U-notch	-195°C	>15 ft-lb
ASTM-A353 Gr. B	≤ 0.58 "	psi >95,000	psi >65,000	>20	1 1/4~2" ; 3	U-notch	-195°C	>15 ft-lb

Table 3. Chemical analysis of the 9% Ni steels tested.

Charge number	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cu %	Ni %	Al %
H-704	0.12	0.17	0.65	0.007	0.006	0.07	9.13	0.015
H-705	0.12	0.15	0.66	0.007	0.007	0.07	9.16	0.015
H-706	0.08	0.15	0.64	0.008	0.004	0.07	9.25	0.013
H-707	0.10	0.14	0.69	0.007	0.004	0.07	9.17	0.015
H-733	0.09	0.19	0.82	0.009	0.008	0.08	9.16	—
H-781	0.12	0.21	0.85	0.007	0.009	0.11	9.33	0.013
H-782	0.07	0.13	0.77	0.007	0.008	0.10	9.17	0.011
H-783	0.06	0.14	0.81	0.007	0.009	0.11	8.87	0.011
H-785	0.07	0.23	0.79	0.007	0.009	0.11	9.09	—

強度切欠靱性の優れたものとしてオーステナイトステンレス鋼あるいはモネルなどがあるが、これらの資格を有する以外に材料撰択上の大きな要素である cost の点において 9%Ni 鋼が有利なことは論をまたない。本報告においては低温用 9%Ni 鋼の規格ならびに基礎的性質に関して実験を行なった結果について述べる。

II. 規格ならびに熱処理推奨法

低炭素 9%Ni 鋼に関して MALTI (三菱製鋼低温衝撃用鋼規格) および ASTM において定める化学成分規格を Table 1 に、機械的性質に関する規格を Table 2 に示す。

つぎに ASTM で推奨する熱処理方法を述べると、

1) 粒度調整のため 1650°F (890°C) 空冷後ふたたび 1450°F (788°C) 空冷する。保持時間はいずれも 1 h/in (最低 1 h) である。

2) 応力除去焼鈍のためには、1025~1085°F (550~585°C) に加熱保持後、600°F (315°C) まで静止雰囲気冷却する。加熱保持時間は 1 吋板厚までは 2 h, 1 吋増すごとに 1 h を追加する。

III. 実 験

1. 供試材

7kg 高周波炉によりおもに C% と Al の影響調査に留意して Table 3 に示す組成のものを熔製し、試験種類に応じて 25 mmφ 棒と 13 mm 角棒に鍛伸し、各種の試験に供した。

2. 変態ならびに焼入性

佐藤式熱膨脹試験機により、C%, Al% の相違する 4 チャージについて変態点を測定した結果を Table 4 に示す。なお冷却後のヴィッカーズ硬度測定値を付記する。

C% 0.06~0.12 の範囲で、Ac 変態に関しては、

$$Ac_1: 623 \sim 652^\circ\text{C} \quad Ac_3: 700 \sim 731^\circ\text{C}$$

Ar 変態に関しては、Ar 点と硬度と一致した傾向を示し、マルテンサイトよりベイナイトにわたる変態組織とも符合している。さらに本鋼種の焼入性を見るために、上表で C% ならびに焼入性の最も相違した H-781 および H-783 について、900°C 加熱後冷却速度をいろいろに変化させてブリネル硬度を測定した結果を Table

Table 4. Transformation temperature of 9% Ni steels.

Charge number	C %	Al %	Heating; 2~3°C/mn		Austenitizing treatment	Cooling: Air cool (Half temp. time: 1.5mn)		
			Ac ₁ °C	Ac ₃ °C		Ar ₃ °C	Ar ₁ °C	Hv
H-781	0.12	0.013	630	700	780°C × 10 mm	309	156	381
H-707	0.10	0.015	652	720	790°C × 10 mm	418	254	298
H-783	0.06	0.011	655	731	800°C × 10 mm	420	270	290
H-733	0.09	—	623	712	790°C × 10 mm	366	202	350

Table 5. H_B versus D_I (ideal diameter) for 9% Ni steels.

Charge number	D _I in.	6.2	12.7	15.1	19.5	48.8
H-781		375	363	352	341	311
H-783		311	285	269	255	248

5に示す。

上表より、H-781はとくに焼入性が良好であるが、0.06%CのH-783でも緩冷組織がベイナイトを示すこととともに、本鋼種の優れた焼入性が窺われる。

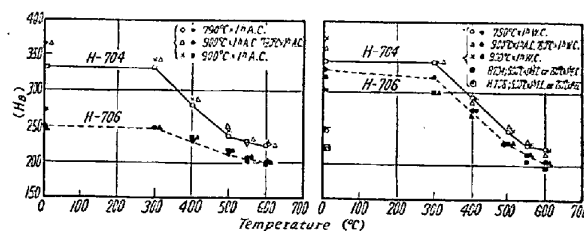
3. 結晶粒度

Alを含むH-704とAlを含まないH-733のAs forged材について、滲炭法による925°Cにおけるオーステナイト結晶粒度を測定した結果は、いずれも比較的整粒を示すが、粒度番号は、H-704; 7.3 H-733; 5.2でAl添加による結晶粒微細化が顕著に認められる。

4. 熱処理—硬度、組織

ASTMで推奨する二重焼準の効果、焼入焼鈍など冷却速度の影響、焼戻温度の決定などをまず強度的な立場から見るために、H-704(0.12%C)とH-706(0.08%C)について、各種熱処理を行ないブリネル硬度を測定した結果をFig. 1に示す。

500~600°Cでの焼戻硬度差は小で、焼鈍硬度を参考にしても、C%、オーステナイト温度からの冷却速度如何にかかわらず、焼戻により硬度的にしたがつて強度的に大差なくかつ規格には十分合格するものと推測される。

Fig. 1. H_B of the heat-treated 9% Ni steels.

組織的にいずれも500~600°Cでマルテンサイトないしベイナイトの焼戻組織の変化が顕著に現われており、また焼鈍組織がベイナイト組織を示していることも上記の傾向と一致している。

5. 焼準焼戻—引張性質

引張性質におよぼす焼準方法の影響を見るために、単一焼準二種と二重焼準との三種を選び、焼戻温度は伸び絞りにとり不利なASTM規定温度の下限を採用した。供試材としてH-781(0.12%C)とH-783(0.06%C)を選び引張試験を行なった結果をTable 6に示す。

以上より、1) 焼準方法の差異が引張性質におよぼす影響について一定の傾向は認められない。したがって二重焼準の効果も認められない。2) C%の高い方が強度大で低い方が伸び絞りは優れているが、C%が0.06~0.12の範囲で強度伸び絞りととも十分規格を上回る成績を示している。

6. 焼準焼戻—低温切欠靱性

前項同様の熱処理をH-704(0.12%C)、H-706(0.08%C)およびH-785(0.07%C, Alなし)に施し、2mmVノッチ低温衝撃試験を行なった結果をFig.

Table 6. Tensile properties of the normalize-tempered 9% Ni steels.

Heat treatment	ch. No.	T.S. kg/mm ²		Y.P. kg/mm ²		E in 2'' %		R. A. %		H _B	
		H-781	H-783	H-781	H-783	H-781	H-783	H-781	H-783	H-781	H-783
790°C × 1 h A.C.		85.1	77.3	77.3	71.1	26.5	30.0	64.8	71.3	262	235
550°C × 1 h F.C.		85.4	78.0	77.3	70.2	—	28.5	66.6	71.3	262	235
900°C × 1 h A.C.		82.5	76.0	75.1	68.5	27.5	29.0	67.0	72.8	255	235
550°C × 1 h F.C.		84.5	76.7	77.3	69.8	27.0	30.0	69.0	73.6	255	235
900°C × 1 h A.C.		83.2	76.7	76.0	67.9	27.5	30.5	69.0	72.1	248	235
790°C × 1 h A.C.		83.5	76.3	76.0	69.8	27.5	29.0	64.8	73.6	255	235

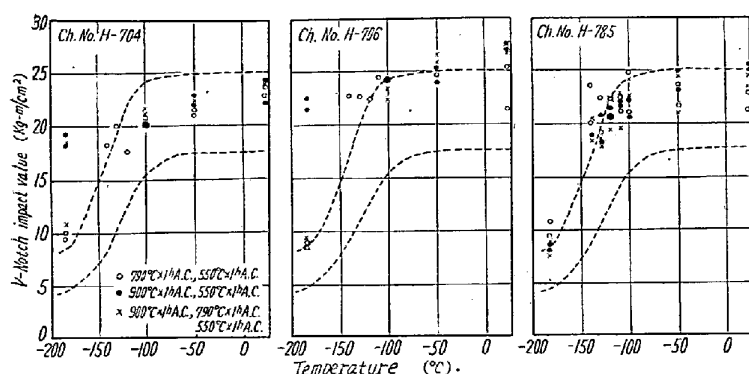


Fig. 2. V-notch Charpy impact values for normalize-tempered 9%Ni steels.

2に示す。図中点線の遷移曲線は文献¹⁾における1吋厚以下の二重焼準応力除去焼鈍した商用鋼板の2mm Vノッチ衝撃値の分布範囲を示す。

以上の結果より、1) Al添加の有無を問わず二重焼準の効果は認められない。2) 最も良好なのはAl入りの900°C単一焼準で-183°Cでもほとんど衝撃値の低下は見られない。3) C%に関しては多少低炭素の方が良好である。4) 文献値に比較していずれも良好であるが、今回の試験片の小さいことによる冷却速度の影響を考慮に入れる必要がある。

IV. 結 言

C%が0.06~0.12の範囲でさらにAl入りAlなしを含めた小型鋼塊を熔製しこの鍛伸材について各種の基礎実験を行なった結果、1) Alによる細粒化が顕著である。2) 焼入性は低炭素でも良好で緩冷組織においてもベイナイトないしマルテンサイトを示す。3) C%, オーステナイト温度からの冷却速度の如何にかかわらず、焼戻により安定した硬度範囲に落ち着き、かつ強度的には規格に対し相当安全性がある。4) 引張性質、低温切欠靱性ととも焼準焼戻により規格を十分満足する。しかしこの際二重焼準の効果は認められず、Al入りの場合900°C単一焼準で最も良好な切欠靱性を示した。

文 献

- 1) T. N. ARMSTRONG: Welding J., (1959)Feb., 58-s

(130) 9%Ni鋼の性質におよぼす因子の検討

(低温用鋼としての9%Ni鋼の研究—II)

三菱製鋼長崎製鋼所

本月清彦・〇小早川八郎・白石卓雄

Study on Factors Affecting Properties of 9%Ni Steel.

(Study on 9% nickel steel for low-temperature service—II)

Kiyohiko Kizuki, Hachirō Kobayakawa and Takuo Shiraishi

I. 緒 言

前報において9%Ni鋼の性質に関し若干の基礎実験を行なったのに引続き、本報告においてはこれらの諸性質に影響をおよぼす因子について実験ならびに前報をも通じて検討を行なった結果について述べる。

II. 実験ならびに検討

1. 焼準冷却速度の影響

前報における焼準焼戻—引張性質および焼準焼戻—低温切欠靱性の試験データは小さな試験素材によ

っているため、厚物の焼準に対しては参考とし難いであろう。そこで、22mm厚広板の実測空冷速度曲線が得られているのを利用し、この小試験素材を各種厚のアスベストで被覆して加熱空冷し、前記速度に可及的に近い冷却方法を求めた。Fig. 1に

これらの冷却速度曲線を示す。

これよりMALTI規格の板厚のほぼ上限に相当するものとして、アスベスト厚みを10mmとし、焼準焼戻を行ない以下の引張ならびに衝撃試験に供した。

(1) 引張性質におよぼす影響

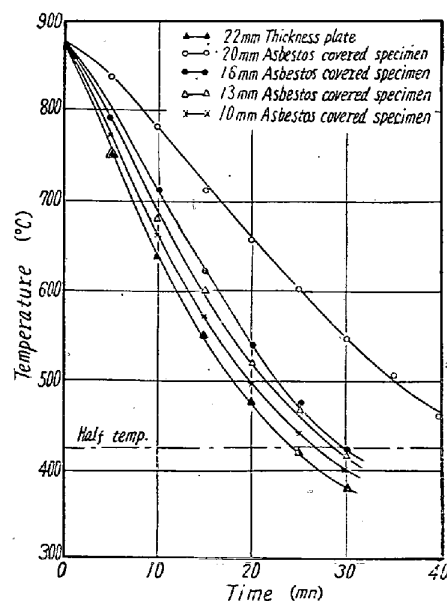


Fig. 1. Air-cooling rate curves of 22mm thick plates and asbestos-covered specimens.