

Fig. 4. Tempering temperature on the bending properties and hardness of 13Cr-stainless steels.

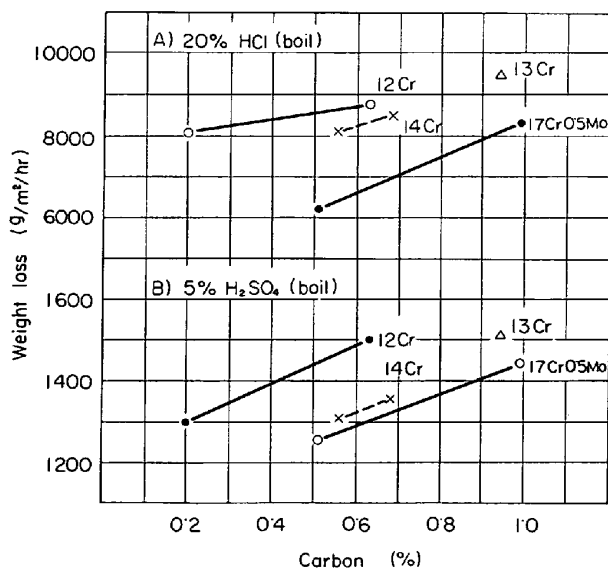


Fig. 5. Effect of C on the corrosion resistance of martensitic stainless steels.

いるが焼戻による靱性変化は非常に大きく 250°C 焼戻による場合が破断荷重たわみ量とも大きな値を示す。300°C 以上における靱性の低下は電頭組織による炭化物析出が認められること、および残留オーステナイトが 450~500°C までほとんど変化しないことから主として炭化物析出に起因するものと推定される。

3.4 耐食性

Fig. 5 に腐食試験の一例を示すが C 量よりも Cr 量の差が非常に大きい。

4. 結 言

以上ステンレス刃物鋼の諸特性について試験した結果

を要約すると、焼入硬度は C 増加とともに上昇し同じ C 量では 17Cr より 13Cr の方が高い硬度が得られ 13Cr の方が焼入温度範囲も広い。残留オーステナイトは 13Cr より 17Cr の方が少ない。また焼戻によつては 450~500°C までほとんど分解しない。靱性は C の低い方がすぐれており 250°C 焼戻の場合が最もすぐれている。耐摩耗性は C の多いほどまた Cr の多いほど大きい。

文 献

- 1) 清水: ステンレス, 9 (1965) 10, p. 25
- 2) 多賀谷: 特殊鋼, 8 (1959) 5, p. 76
- 3) 長谷川: ステンレス鋼便覧, (昭36年 8 月 30 日), 日刊工業新聞社
- 4) 川北: 日本金属学会誌, 22 (1958) 10, p. 515
- 5) 日下, 堀越: 鉄と鋼, 52 (1966) 10, p. 1658
- 6) 山中, 日下: 鉄と鋼, 38 (1952) 11, p. 923
- 7) 大越: 科学研究所報告, 第31輯第 2 号, (昭和30年 3 月)

(213) 9%Ni 鋼における熱処理条件と析出オーステナイトの関係について (9%Ni 鋼に関する研究—I)

早稲田大学, 理工学部

工博 長谷川正義・○佐野 正之

Relation between Heat Treatment Conditions and Temper Austenite

(Study on characteristics of 9% Ni steel—I)

Dr. Masayoshi HASEGAWA and Masayuki SANO

1. 結 言

9% Ni 鋼 (以下 9N 鋼と記す) はフェライト系鋼材として最も切欠き靱性が秀れ, かつ経済性, 加工性の面からも極低温用材料として非常に注目されてきており, 近年わが国でも実用の機運にある。9N 鋼のすぐれた靱性を支配する冶金的因子については従来から多くの研究がなされているが, いまだに定説がなく, 十分解明されているとはいえない。

そこで本研究は 9N 鋼の特性に関する研究の第 1 段階として, 熱処理に伴う冶金学的因子の変化について, とくに熱処理条件と析出オーステナイト ( $\gamma_T$ ) の関係を明らかにすることを目的とした。

2. 供 試 材

供試材は実用規模で溶製された 12mm 厚の 9N 鋼でその化学成分は Table 1 に示した。

3. オーステナイトの定量方法

オーステナイト ( $\gamma$ ) の定量方法は精度, 簡便さなどの理由から顕微鏡法および X 線回折法を併用した。X 線法では, X 線ディフラクトメータによる積分強度法を採用した。この方法を用いた簡便式も 2, 3 提案されて

Table 1. Chemical compositions. (%)

C	Si	Mn	P	S	Ni	Sol.Al
0.07	0.26	0.48	0.016	0.010	9.38	0.038

いるが<sup>2)</sup>、いずれも今回の実験には不適当だったので、回折強度の式にあらかじめ予備実験で得た各因子の測定値を代入して実験式を導びいた。すなわち  $\gamma$  (111) および  $\alpha$  (110) の測定積分強度  $I_{\gamma}(111)$ ,  $I_{\alpha}(110)$  と  $\gamma$  量の関係は次式のごとくになった。

$$\frac{100 - \gamma}{\gamma} = 0.745 \frac{I_{\alpha}(110)}{I_{\gamma}(111)}$$

積分強度の測定は  $\text{CoK}\alpha$  線を使用し、電圧 30kV、電流 8mA の一定条件とした。また供試材は主に  $12 \times 12 \times 4.5 \text{ mm}$  寸法のものを用いた。

4. 試験結果およびその考察

4.1 焼入れ温度と変態点の関係

焼入れ温度によって昇温時の変態点が変われば、焼戻し過程における  $\gamma_T$  の析出機構に差異が生ずると考えられたので、まず焼入れ温度の相異が変態点におよぼす影響について検討した。

ここでは、740~1200°C の温度範囲で 60 min 保持後焼入れした試料の  $A_{C1}$  および  $A_{C3}$  点を測定した。測定には熱膨張および熱分析方法を併用したが、一般に熱膨張計による  $\text{Truc } A_{C1}$  ( $T.A_{C1}$ ) 点の検出精度に多くの問題があるので、Fig. 1 では熱分析による結果を示した。この場合、加熱速度は  $6^\circ\text{C}/\text{min}$  としたが、 $3.5 \sim 8^\circ\text{C}/\text{min}$  の間では変態点の温度差が  $2^\circ\text{C}$  程度で大きな変化はなかつた。Fig. 1 によれば、予想通り焼入れ温度が低いと  $T.A_{C1}$  および  $\text{Conventional } A_{C1}$  ( $C.A_{C1}$ ) 点も低下するが、 $T.A_{C1}$  と  $C.A_{C1}$  間の温度差はほぼ一定であり、 $A_{C3}$  点はいずれの焼入れ温度でも大きな変化はなかつた。焼入れ温度が低いと  $A_{C1}$  点も低下するが、これは焼入れ時における  $\gamma$  組成の不均一によるもので、この差は当然焼戻し過程での  $\gamma_T$  の析出機構に影響をおよぼすものと思われる。

4.2 焼入れ温度と硬さおよび残留オーステナイトの関係

前項の結果より焼入れ状態の試料の諸性質が焼入れ温度によって影響されると考えられたので、焼入れ温度と硬さ、残留オーステナイト ( $\gamma_R$ ) の関係を調べるため下記のごとき実験を行ない、以下に述べる結果を得た。

Fig. 2 に硬さおよび  $\gamma_R$  量におよぼす焼入れ温度の影響を示した。この場合、試験片は  $4.5 \text{ mm}$  厚とし、各温度で 60 min 保持後水冷した。焼入れ温度が高くなると硬さは著しく減少する傾向を示したが、 $\gamma_R$  量は  $900^\circ\text{C}$  まではあまり大きな変化はなく、それ以上の温度から焼入れしたものではやや量を増加した。硬さの減少は  $\gamma_R$

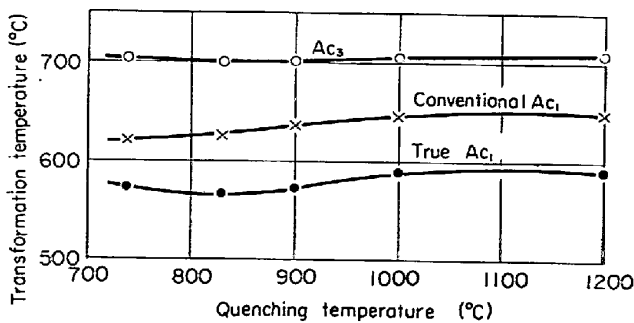


Fig. 1. Relation between transformation temperature and quenching temperature.

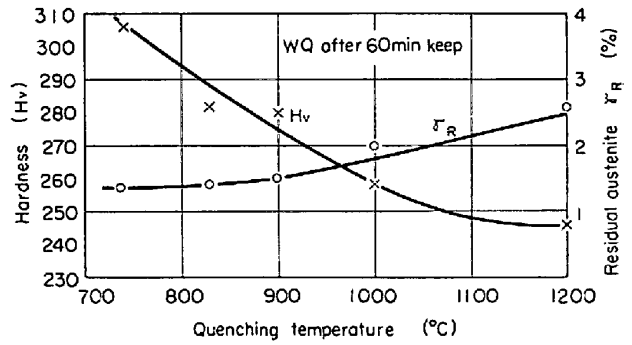


Fig. 2. Effect of residual austenite and hardness on quenching temperature.

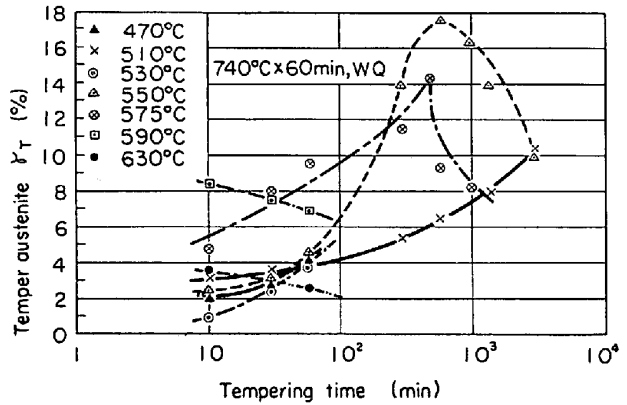


Fig. 3. Relationship between temper austenite and tempering time.

の増量によるほか、ここでは示していないが  $\gamma$  域での結晶粒度の粗大化の影響も大きいと思われる。ちなみに  $900^\circ\text{C}$  から焼入れしたものが  $G_T=9.0$  であつたのに対して、 $1200^\circ\text{C}$  から焼入れしたものは  $G_T=2.2$  であつた。

また、 $\gamma_R$  量に対する質量効果の関係を調べるために、 $26 \text{ mm}$  厚の試験片を用意し  $900^\circ\text{C}$  で 60 min 保持後水冷して  $\gamma_R$  量を測定した。その結果、 $\gamma_R$  は  $2.7\%$  となり、 $4.5 \text{ mm}$  厚に比べて  $50\%$  以上の増加をみた。しかし後述するように  $\gamma_R$  の  $\gamma_T$  量に対する影響はなかつた。

4.3 焼戻し時間と析出オーステナイト量および硬さの関係

9N 鋼の焼戻し条件と  $\gamma_T$  の関係については、すでに多くの報告があるが、ここではとくに焼戻し温度と  $A_{C1}$  点および焼入れ温度の差異による影響を留意して実験した。いずれも各温度から焼入れした後、 $470 \sim 630^\circ\text{C}$  の温度範囲で焼戻しを行なつた。

Fig. 3 は一例として  $740^\circ\text{C}$  で 60 min 保持後焼入れした試料の焼戻しによる  $\gamma_T$  量と保持時間の関係を示したものである。それによれば、焼戻し温度が低いほど  $\gamma_T$  量のピークを得るのに長時間を要した。硬さは  $\gamma_R$  の場合と同様に  $\gamma$  の析出に伴なつて減少した。一般に  $\gamma$  量が増加すると硬さは一定の関係で減少する傾向を示した。

Fig. 4 は焼入れ温度による  $\gamma_T$  量および硬さと焼戻し時間の関係について、焼戻し温度別に図示したものである。 $\gamma_T$  量のピークは  $740^\circ\text{C}$  焼入れで 600 min で現わ

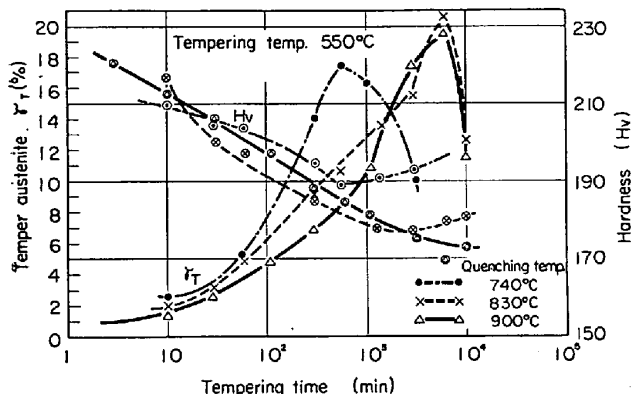


Fig. 4. Effect of temper austenite and hardness on tempering time.

Table 2. Effect of residual austenite on temper austenite.

Specimen	Quenching		Residual austenite (%)	Tempering	
	Condition	Holding time		Condition	Temper austenite (%)
A	830°C × 60 min WQ	-196°C × 300 min	Tr.	575°C × 1500 min WQ	16.5
B	"	15°C × 300 min	1.4	"	17.3

れているが、830°C 以上では 6000~7000 min を要した。9N 鋼の焼戻し温度(T)、時間(t)と  $\gamma_T$  量の間には、実験式  $P=T(C+\log t)$  の成り立つことが知られているが<sup>3)</sup>、ここで得た実験結果をこの式に代入すると、焼入れ温度がある温度以上の時のみ適用できるのであつて、焼入れ温度が  $A_{C_3}$  直上のごとく  $\gamma$  化温度が比較的低い場合には前述した  $\gamma$  組成の不均一により P の値は小さくなる。

次に、以上に述べた  $\gamma_T$  のピークのズレおよび量が焼入れ時の  $\gamma_R$  とどのような関係にあるのかを調べた。2つの試料を用意し、830°C で 60 min 保持して水冷した後、試料-Aは 30 min 後に液体窒素中で 5hr のサブゼロ処理を、試料-Bはそのまま 5hr 水中に保持した (Table 2 参照)。これらの試料を焼戻したところ、 $\gamma_T$  量については両者ともほとんど差がなく、そのわずかな差は焼入れ時に存在した  $\gamma_R$  がサブゼロ処理によつてマルテンサイト化した量に相当した。その結果、当初は  $\gamma_R$  が  $\gamma_T$  の核になるのではないかと予想したが、 $\gamma_R$  は  $\gamma_T$  には全く影響がなく、かつ水中で残留した  $\gamma_R$  は 575°C の焼戻しでも安定であつた。また、検鏡の結果より、 $\gamma_R$  はある特定の結晶内に点在する場合のあることが認められた。

4.4 液体窒素中における析出オーステナイトの安定化

9N 鋼における  $\gamma_T$  と衝撃特性の関連については、これまでにも多数の研究結果が発表されている。いずれも、 $\gamma_T$  が低温での靱性に寄与していることには異論がないが、 $\gamma_T$  量との関係については研究者間でも見解が

異なっている<sup>3)~5)</sup>。筆者らは 9N 鋼の靱性を支配する因子の一つとして単に  $\gamma_T$  の量的な問題のほか、 $\gamma_T$  自身の低温での不安定化現象が関係するのではないかと予想し、 $\gamma_T$  の液体窒素温度における安定性について若干の実験を行なつた。前処理として 740°C で 60 min 保持後焼入れし 550°C で 1500 min 焼戻して 12.0% の  $\gamma_T$  を得た試料を用いた。 $\gamma_T$  量の変化を保持時間でプロットすると、 $\gamma_T$  量は 500 min まで徐々に減少し、それ以後は飽和の傾向を示した。硬さについても同様に 1000 min まで増加したが、 $\gamma_T$  の変化が一定になるにつれて飽和した。そこで  $\gamma_T$  量 7.0% の試料について、液体窒素中保持時間と衝撃特性 (JIS 4号によるシャルピー試験) の関係について予備的に調べた結果、保持時間が長くなると吸収エネルギーの減少はわずかであるが、脆性破面率は著しく増大した。この理由としては  $\gamma_T$  量の変化などから、一部  $\gamma_T$  の恒温マルテンサイト化により衝撃特性が劣化したものと結論した。

この実験の範囲では、 $\gamma_T$  の量、組成および加工に伴う影響については明らかでないが、9N 鋼の  $\gamma_T$  が予想通り極低温において必ずしも安定ではないという新事実を認めた。

5. 結 言

9N 鋼の熱処理による冶金因子の影響について検討し以下の諸項が明らかとなつた。

(1) 従来 9N 鋼の変態点におよぼす焼入れ温度の影響について明らかでなかつたが、この研究の結果より焼入れ温度が高くなると  $A_{C_1}$  点は上昇し、900°C 以上では一定となることがわかつた。これは  $\gamma$  域での  $\gamma$  組成の均一化に関係があるものと考えられる。

(2) 830°C 以上で焼入れした試料の焼戻し温度、時間と  $\gamma_T$  量の間には、焼戻しにおける硬さと同様に温度、時間を関数とする関連式からパラメーターを決めることができる。しかし、 $A_{C_3}$  直上より焼入れしたものはその温度で 60 min 保持しても、焼戻しによる  $\gamma_T$  量のピークは短時間側にずれ、関連式が適用できない。これは (1) と同じ理由によるものと思われる。

(3) 焼入れ温度が高くなると  $\gamma_R$  量は増加するが、この  $\gamma_R$  はその後の焼戻しによる  $\gamma_T$  の生成機構には関与しない。

(4)  $\gamma_T$  量と硬さの間には一定の関係が成立する。

(5)  $\gamma_T$  のあるものは、液体窒素温度で長時間保持すると不安定となり、衝撃特性を劣化させる。

文 献

- 1) B. L. AVERBACH: Trans. Met. Soc., Amer. Inst. Min., Met. & Pet. Eng., 179(1948), p. 401
- 2) 例えば, R. L. MILLER: Trans. Amer. Soc. Metals, 57(1964), p. 892, R. LINDGEN: Metal Progress, April (1965), p. 102, 鈴木, ほか: 鉄と鋼, 50 (1964) 12, p. 1957, 堀田, ほか: 富士製鉄技報, 13 (1964) 3, p. 473
- 3) C. ROQUES: Rev. Mét., 60 (1963) 1, p. 65
- 4) C. W. MARSCHALL, et al: Trans. Amer. Soc. Metals, 55 (1962), p. 141
- 5) 八幡製鉄東京研究所: 溶接協会 9N 委提出資料 (1965) 1月