珪素-マンガン-クロム鋼の焼戻脆性に関する研究 (第3報) マンガンの影響について

小 柴 定 雄* 野 原 孝 三 郎**

S. Koshiba and K. Nobara: On the Temper-Brittleness of Si-Mn-Cr Steels (The Third Report). On the Effect of Mangan. The authors investigated the effect of manganese 0.6~1.2% on the temper-brittleness of silicon-manganese-chromium steel. As the result of this investigation, there are ascertained that the "First and Second Temper-brittleness" increase remarkably with manganese content. It is observed that the maximum rate of temper-brittleness occurs at tempering temperature of 600~650°, and that there is little variation by the cooling velocity after tempering and manganese content.

(Received January 16, 1948)

I. 緒 言

著者等は先きに Si-Mn-Cr 鋼の焼戻脆性に及ぼす C 及び Si の影響について研究結果を発表した。

本研究に於ては C, Si 及び Cr 量を略一定にし Mn 量の異なる 7 種の Si-Mn-Cr 鋼について焼戻による脆性現象を究め焼戻脆性に及ぼす Mn の影響を明かにした。

II. 試料及び実験方法

本研究に供した試料は C 0.39, Si 0.5 及び Cr 1% に略一定にし Mn 0.7, 0.9 及び 1.1% の 3 種に変化せる A 試料群及び C 0.33, Si 0.5 及び Cr 1% に略一定し Mn 0.6~1.2% の 4 種からなる B 試料群を調製した。試料の化学成分を Table 1 に示す。

Table 1

Group	Mark	C	Si	Mn	P	S	Cr
A	M-1	0.39	0.48	0.70	0.022	0.017	1.01
	M-2	"	"	0.90	0.025	0.012	"
	M-3	0.40	0.52	1.10	0.019	0.019	0.99
B	M-4	0.33	0.50	0.60	0.014	0.014	0.98
	M-5	"	0.37	0.80	"	"	1.02
	M-6	"	0.50	1.00	0.011	0.011	0.98
	M-7	"	0.44	1.20	0.015	0.015	1.01

次に実験方法は前述と全く同様⁽¹⁾⁽²⁾にして、各試料の焼入及び焼戻による諸条件が可及的同一となるよう努力した。各試料の 870° より油中に焼入せる硬度を Table 2 に示す。A 及び B 試料群共 Mn の含有量を増す程硬度を僅かに増加する。

III. 冷却速度一定せる場合の衝撃値に及ぼす焼戻温度の影響

焼入試料を 400~700° の種々の温度に 60 分焼戻後水、空

Table 2

Group	Mark	Rockwell Hardness (Rc)
A	M-1	54.5
	M-2	56.4
	M-3	56.7
B	M-4	50.9
	M-5	51.5
	M-6	51.8
	M-7	52.5

及び爐冷を行つた場合の衝撃試験の結果を Fig. 1~6 に示す。A 試料群に就て見るに各焼戻温度による衝撃値は Mn 含有量多い程底ね減少する。焼戻温度 550° 附近に於ける衝撃曲線の下方へ変曲する傾向即ち第一焼戻脆性は Mn

Fig. 1 Relation Between Tempering Temperature and Impact Value (cooling velocity water cool).

量を増す程且つ焼戻冷却速度の緩慢となる程稍顯著に現はれる。B 試料群の場合 Mn 量多い程矢張り衝撃値は低下す

** 日立製作所安来工場

* 昭和22年4月本會東京大會に発表

(1) 小柴, 野原, 本誌, 12 (1948), No. 7~12, P. 31.

(2) 小柴, 野原, 本誌, 12 (1948), No. 7~12, P. 34.

Fig. 2 Relation Between Tempering Temperature and Impact Value (cooling velocity: air cool).

Fig. 5 Relation Between Tempering Temperature and Impact Value (cooling velocity: air cool)

Fig. 3 Relation Between Tempering Temperature and Impact Value (cooling velocity: furnace cool).

Fig. 6 Relation Between Tempering Temperature and Impact Value (cooling velocity: furnace cool).

Fig. 4 Relation Between Tempering Temperature and Impact Value (cooling velocity: water cool).

るが、Mn 0.8% 以上は焼戻温度 550° 以下では余り大差なく、600° 以上に於て Mn の影響が明瞭である。又 Mn 含有量の變化による第一焼戻脆性の影響は概ね A 試料の場合と同様である。

IV. 焼戻脆性に及ぼす Mn の影響

各試料の焼戻温度に於ける冷却速度と衝撃値との関係を見るに A 試料群の Mn 0.7% の場合焼戻温度 450~550° の間は温度の上昇による衝撃値の變化は殆どなく、且つ冷却速度による影響も少い。これは第一焼戻脆性に基因するものである。焼戻温度 600° 以上の場合水及び空冷による衝撃値は稍急激に増大するが、爐冷の場合は緩慢に増加し、且つ衝撃値は前二者に比し著しく劣る。即ち第二焼戻脆性の現象を發生する。而して Mn 0.9 及び 1.1% と含有量を増加する程 550° 附近の衝撃値は却つて減少し且 600° 以上に於ける脆性を増大する。次に B 試料群について見るに Mn

Fig. 7 Relation Between Cooling Velocity and Impact Value at Tempering Temperature of 650°

Fig. 8 Relation Between Cooling Velocity and Impact Value at Tempering Temperature of 650°

0.6%の場合第一焼戻脆性は500°附近に僅かに生起し、第二焼戻脆性も比較的少ない。Mn 0.8%以上の場合第一焼戻脆性は550°附近迄生起し、且冷却速度の緩慢なる程顯著である。第二焼戻脆性も同様 Mn 量を増す程著しく、就中 Mn 1%以上に於て顯著である。Fig. 7 及び Fig. 8 は A 及び B 群の焼戻温度650°に於ける冷却方法及と衝撃値との關係を示す。

V. 焼戻脆化率に及ぼす Mn の影響

上述の如く第二焼戻脆性は Mn の含有量により影響するが、更にその脆化感受性を検討する爲各試料の焼戻脆化率を以つて比較吟味した。各試料群の焼戻温度 550~700°に於ける空冷及び爐冷による脆化率を Fig. 9 及び Fig. 10

に示す。A 試料群に於て空冷による脆化率は 600~650°が最も大で、爐冷の場合650°にて最大値を示し700°の場合各試料共脆化率を減少する。而して最大脆化率は Mn 量多い程概ね大である。次にB 試料群に於て空冷の場合脆化率は M4 を除いて何れも 600°にて最大値を示し、爐冷の場合 M4 及び M5 は630°, M6 及び M7 は650°にて脆化率最も大である。換言すれば最大脆化率を示す焼戻温度は冷却速度及び Mn 含有量により異なることが知られる、これが理由については前述せる如く炭化物の析出による脆化と一方焼戻による地質の軟化に伴ふ靱性の増加との相反する兩性の合

Fig. 9 Relation Between Tempering Temperature and Rate of Temper-Brittleness (water cool is standard).

Fig. 10 Relation Between Tempering Temperature and Rate of Temper-Brittleness (water cool is standard).

Fig. 11 Relation Between Mn Content and Rate of Temper-Brittleness at 650°.

Fig. 12 Relation Between Mn Content and Rate of Temper-Brittleness at 650°.

成効果によるものと思考する。而してB試料群に於ても矢張りMn量の多い程脆化率は大である。Fig. 11 及び Fig. 12 は Mn 含有量と焼戻脆化率との關係を示す。

Ⅶ. マンガンの焼戻脆性に及ぼす理論的考察

焼戻脆性の理論的機構に關しては前述の如く所謂炭化物析出説が最も有力である。上述の研究結果からも明らかに Si-Mn-Cr 鋼の焼戻脆性について Mn は助成する元素であることを確認した。さて Mn が焼戻脆性を助成する原因に就て考察するに本鋼は Fe, C 及び Mn の外に Si 及び Cr を含有するが、その常溫組成は 村上博士⁽³⁾ 及び 村上, 三神兩氏⁽⁴⁾ の研究結果から推定して大体 α 相と θ 相よりなるものと思考される。Mn は Cr と同様 α 鐵にも溶解するが一方 Fe_3C 中にも溶解し固溶体をつくる。即ち本鋼に存在する θ 相は Mn 及び Cr を固溶せるセメント固溶体である。而して θ 相の生成は C 及び Cr 一定なる場合に於ては概ね Mn 含有量に比例して増加すると考へられる。その結果焼戻脆性を助成することは想像に難くない。次に Mn の添加は α 鐵の炭化物溶解能力にも影響し、第二焼戻脆性の生成を容易ならしめるものと思考する。換言すれば Mn は炭化物に固溶し θ 相を生成し、且つ炭化物の α 鐵に對する溶解度を増す結果として焼戻脆性の發生を助成するものと考へる。

Ⅶ. 結 論

上述の研究結果を要約すると次の通りである。

- (1) Si-Mn-Cr 鋼の焼戻脆性に及ぼす Mn の影響を調べる爲 C, Si 及び Cr 一定にし Mn 0.6~1.2% の影響を研究した。
- (2) 焼戻による衝撃値は冷却速度一定なる場合 Mn 量の増加に比例して概ね減少する。
- (3) 第一及び第二焼戻脆性は Mn 量を増す程顯著に現はれる。而して第二焼戻脆性による脆化率は Mn 量に比例して概ね増加する。
- (4) Mn は焼戻脆性に助成する。而してこれが脆性機構について考察した。

(3) 村上, 金屬の研究, 8 (1931), 348.

(4) 村上, 三神, 金屬の研究, 7 (1930), 219.