

CaO-Al₂O₃ 系溶液には低温で化合物が存在すると考えられたが CaO-SiO₂ 系溶液に於ては化合物の存在は明瞭ではなかつた。

終りに臨み、本研究の遂行に關し終始御鞭撻を賜つた東北大學選鑄製錬所長小野健二博士に厚く感謝の意を表すると共に分析に助力された後藤正君に對しても厚く感謝致します。猶研究費の一部は文部省科學研究費によつたことを附記して謝意を表します。(昭和26年5月寄稿)

文 献

- 1) A. L. Feild & P. H. Royster: U. S. Bur. Mines, Tech. Paper 187 (1918); 189 (1918).
- 2) R. S. McCaffery & co-workers: A. I. M. E. Tech. Pub. No. 383 (1931).
- 3) 長谷川熊彦, 谷口光平, 上田哲三: 製鐵研究, No. 97 (昭2).
- 4) F. Hartman: St u Eisen, 54 (1934), 564; 58 (1938), 1033.
- 5) K. Endell & R. Kley: St. u. Eisen, 59 (1939) 677; K. Endell & G. Brinkman: ibid. 59 (1939), 1319.
- 6) C. H. Herty & co-workers: Mining Met. Invest. Bull. No. 47 (1930).
- 7) K. Endell, G. Heidtkamp & L. Hax: Archiv. Eisenhüttenw. 10 (1936/37), 85.
- 8) 松浦二郎: 鐵と鋼, 29 (昭18), 496.
- 9) E. N. Dec. Andrade: Phil. Mag 7 (1934), 17; 698
- 10) H. Eyring: J. Chem. Phys. 4 (1936), 283.
- 11) J. O'M. Bockris & co-workers: Discuss. Faraday Soc. No. 4 (1948), 265.

特 殊 鑄 鋼 の 研 究 (IX)

(Cr-Mo 及び Ni-Cr-Mo 鑄鋼の機械的性質に及ぼす Mn の影響)

(昭和 25 年 9 月本會講演大會にて講演)

三ヶ島 秀 雄*

RESEARCHES ON THE SPECIAL CAST STEEL (IX)

Hideo Mikashima, Dr. Eng.

Synopsis: Influence of Mn on the hardness and impact resistance of Cr-Mo cast steels containing Cr 1.2%, Mo 0.25%, and Ni-Cr-Mo cast steels containing Ni 2%, Cr 1.5%, Mo, 0.4% were investigated. The results obtained were summarized as follows:

(A) Cr-Mo-Mn cast steel: The hardness increased with addition of the Mn. increase, and with 1.8% Mn addition the hardness reached to the maximum value. The impact resistance showed the maximum value at Mn content 1.0~1.4%. The first temper-brittleness, which took place at 300~400°C, was marked as the Mn content increased.

(B) Ni-Cr-Mo-Mn cast steel: The hardness increased with increase of the Mn content. The impact resistance increased slightly with the addition of Mn up to 1%, but with higher Mn addition it decreased rapidly. The first temper-brittleness took place at about 400°C, and it showed a large sensibility as the Mn content increased.

In general the Ni-Cr-Mo cast steel was somewhat lower in strength, but addition of Mn to these cast steel, the strength and toughness was markedly increased due to the quenching properties and uniformity of heat-treatment.

I. 緒 言

従來強靱特殊鑄鋼として Ni-Cr 或は Ni-Cr-Mo 鑄

鋼が使用されているが、第8報に述べた様に強度が劣

* 九州工業大學金屬工學教室, 教授工學博士

る。尙 Ni の資源に乏しい我が國の現状からしても極力 Ni の節減を圖ることが望ましい。Ni は強靱性の賦與、變態點の降下、焼入性の向上、質量効果の減少等各方面に良好な結果を與えるが、Ni の節減と焼入性を考慮して Ni に近い性質を有する Mn を添加して、その機械的性質の變化に就て試験した。Mn は變態點の降下、質量効果の減少、焼入硬化性の増大をなすが、反面 Ni と異り炭化物を作り過熱すれば結晶粒の成長が著しく、且焼戻脆性が大きである等使用上種々注意すべき問題もあり Mn の積極的使用は可なり危懼の念を持たれているので之等の點を明かにする目的を以て Mn の影響を試験したその一部は既にマクロ組織(第3報)、擴散焼鈍(第6報)及び結晶粒度(第7報)等で報告したが、本報告に於ては Cr-Mo 及び Ni-Cr-Mo 鑄鋼に Mn を添加した場合、硬度及び衝撃抗力が如何に變化するかを試験した結果の概要に就いて述べる。

II. 實驗方法

試料は電解鐵及びフェオアロイを以てクリプトル電氣爐で坩堝溶解し、厚肉部 45×60mm、薄肉部 17×60mm の二種の断面を有する押湯付付 L 型試験片(重量 2.6kg) の砂型鑄物を作つた。鑄型は乾燥砂型で砂は朝鮮銀砂に木節粘土を加へたものを用いた。鑄造後截斷して 10mm 角、長さ 55mm、中央に 2mm の丸形溝付標準衝撃試験片を造り、これを A_c_1+50C に 20 分間加熱油焼入し、次で之を 180°~700°C の各種温度に 1 時間焼戻して硬度及び衝撃値を試験した。

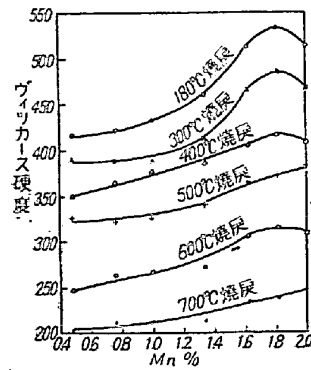
III. 實驗結果

A. Cr-Mo 鑄鋼の機械的性質に及ぼす Mn の影響

第1表 Cr-Mo-Mn 鑄鋼の化學成分

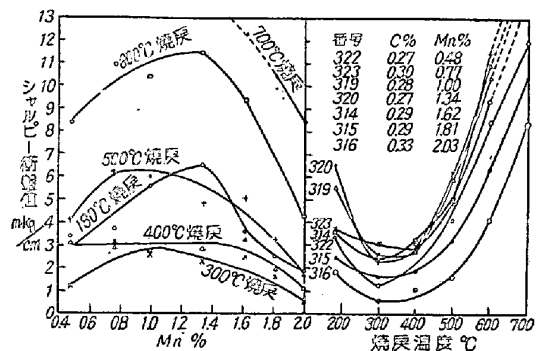
番號	C%	Cr%	Mo%	Mn%	Si%	P%	S%
322	0.27	1.23	0.25	0.48	0.25	0.008	0.017
323	0.30	1.20	〃	0.77	0.25		
319	0.28	1.16	〃	1.00	0.24	0.008	0.015
320	0.27	1.20	〃	1.34	0.24	0.010	0.020
314	0.29	1.23	〃	1.62	0.25	0.010	0.013
315	0.29	1.24	〃	1.81	0.24	0.010	0.015
316	0.33	1.27	〃	2.03	0.26	0.010	0.016

第1表は Cr 1.2%, Mo 0.25% を含む Cr-Mo 鑄鋼に Mn を 0.5~2%, 添加して硬度及び衝撃抗力を試験した試料の成分を示したもので、第1圖は硬度測定の結果を圖示したものである。之に依れば硬度は Mn の添加と共に増加するが、180°~300°C の低温焼戻では Mn 含量が少ない時は硬度増加の割合が比較的少い。然るに Mn

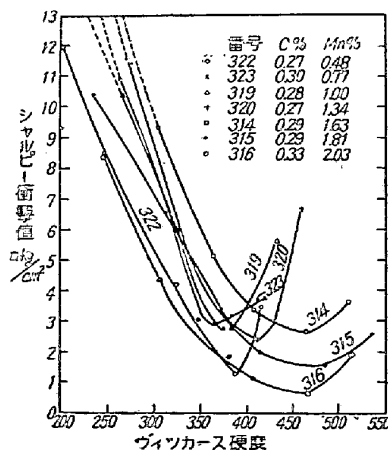


第1圖

量が増加すれば急激に硬度を増加し Mn 1.8% 附近で最高となり、尙それ以上 Mn を添加すれば寧ろ低下の傾向を示している。この様な現象は次の原因に基くものと考えられる。即ち適量の Mn の添加は焼入硬化能を著しく増加するが、Mn 含量の少ない場合には結晶偏析のため焼の充分入らない部分が出来、又過剰の場合には一部分オーステナイトの混在を來すために硬度が低下するものと思われる。併し焼戻温度を高むればソルバイトの均一な組織となるため斯る傾向が少くなり、Mn 量に比例して硬度は殆ど直線的に増加する。又衝撃値は第2圖に示す様に Mn 1.0~1.4% 附近で最高を示し、それ以上過剰に



第2圖



第3圖

Mn を添加すれば却て低下する。尙焼戻温度の影響に就て見れば Mn 含量の増加と共に 300°C 附近に第一焼戻脆性が著しく現れる。この様に適量の Mn を含むものは硬度、衝撃値共に向上するが、Mn が過剰となれば硬度は増加するが衝撃値を減ずる。第3圖は Mn Cr-Mo-鑄鋼の硬度—衝撃値關係曲線を求めたものである。低温焼戻をなして硬度が 400 以上即ちマルテンサイト組織を示し而かも高い強靱性を要求する場合には、Mn 1.0~1.4% 程度の No. 319, 320 が良好な成績を示すが、高温焼戻のソルバイト組織の場合には Mn 1.6% の No. 314 は衝撃値が高いが、1.8% 程度となれば No. 315 に示す様に明かに衝撃値を低下する。

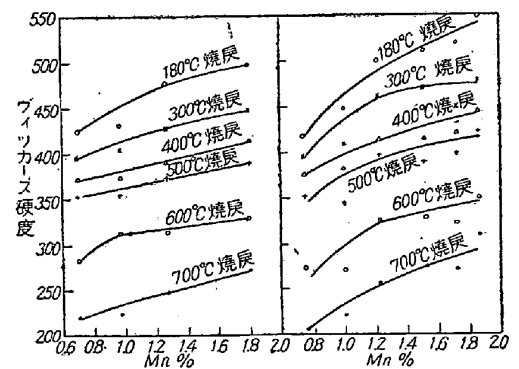
る。

B. Ni-Cr-Mo 鑄鋼の機械的性質に及ぼす Mn の影響
Ni-Cr-Mo 鑄鋼は靱性は極めて優秀であるが、硬度が低く強靱鋼としての價値が少いことは既に第8報に述べた通りである。従て硬度増加の意味も加味して Ni-Cr-Mo 鑄鋼に Mn を添加して強靱性の變化を試験して見た。本實驗に使用した鑄鋼の成分は第3表に示す様に Ni 2%, Cr 1.5%, Mo 0.4% を標準とし、之に Mn を 0.7~1.86% 添加したものをを用いた。第I類は C 0.23~0.26%, 第II類は C 0.27~0.33% を含むものにしてこれを 180°C~700°C で焼戻を行つて Mn 含量の硬度及び衝撃抗力に及ぼす影響を試験した。第4圖 (A),

第2表 Cr-Mo-Mn 鑄鋼及び鍛造鋼の比較

種類	番 號	化 學 成 分 %					ヴィッカース硬度			シャルピー衝撃値 m·kg/cm ²		
		C	Cr	Mo	Mn	Si	180°C焼戻	300°C焼戻	600°C焼戻	180°C焼戻	300°C焼戻	600°C焼戻
鑄鋼	319	0.28	1.16	0.25	1.00	0.24	432	382	267	5.63	2.73	10.37
	320	0.27	1.20	〃	1.34	0.24	459	412	271	6.68	2.35	11.53
	314	0.29	1.23	〃	1.62	0.25	514	465	304	3.60	2.61	9.33
鍛造鋼	1903	0.28	1.26	0.25	1.02	0.22	458	423	281	5.26	4.88	12.35
	1905	0.30	1.26	〃	1.27	0.25	522	424	295	5.97	4.51	11.40
	1906	0.32	1.20	〃	1.52	0.39	534	457	320	6.06	4.18	12.04

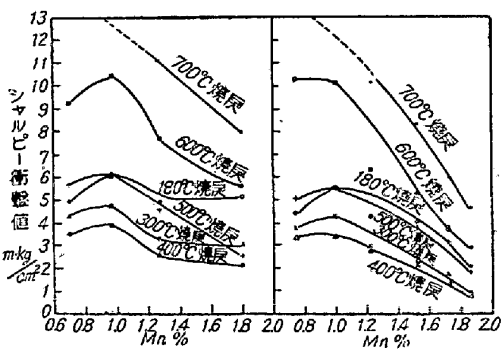
次にこの Cr-Mo-Mn 鑄鋼を同一成分の鍛造鋼と機械的性質を比較して見た。鑄鋼の性質は上述の様に Mn 1.0~1.6% 程度のものが最も成績が良好であつたが、鍛造鋼に於ても殆ど之と同様の傾向が認められた。第2表は成分がこの附近のものみに就て鑄鍛兩鋼の優劣を比較したものである。之に依れば鑄鋼では Mn 1.0~1.3% を含むものは 180°C 焼戻状態で硬度 430~460、衝撃値 5.6~6.7m·kg/cm² 程度の値を示し、鍛造鋼と比較して硬度は幾分遜色あるが、靱性は相當良好な成績を示している。併し第一焼戻脆性の現れる 300°C 附近の焼戻では鑄鋼は鍛造鋼より脆性に對する感受性が大であ



(A) 第I類 C 0.23~0.26% (B) 第II類 C 0.27~0.33%
第4圖

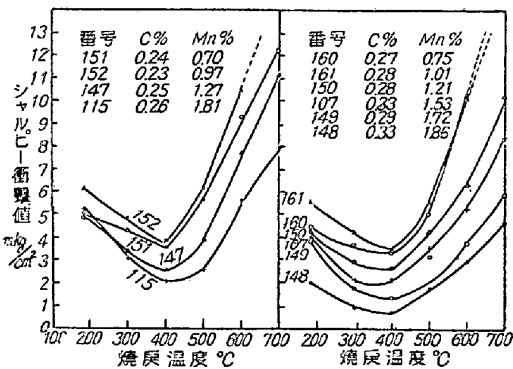
第3表 Ni-Cr-Mo-Mn 鑄鋼の化學成分

類別	番 號	C%	Ni%	Cr%	Mo%	Mn%	Si%	P%	S%
第I類 C 0.23~ 0.26%	151	0.24	2.11	1.40	0.40	0.70	0.25	0.006	0.013
	152	0.23	2.08	1.39	〃	0.97	0.35	0.006	0.020
	147	0.25	2.31	1.59	〃	1.27	0.34	0.004	0.020
	115	0.26	2.04	1.61	〃	1.81	0.25	0.007	0.018
第II類 C 0.27~ 0.33%	160	0.27	2.21	1.73	0.40	0.75	0.27	0.009	0.015
	161	0.28	2.23	1.75	〃	1.01	0.25	0.012	0.019
	150	0.28	2.15	1.51	〃	1.21	0.37	0.005	
	107	0.33	1.94	1.77	〃	1.53	0.31	0.008	
	149	0.29	2.18	1.39	〃	1.72	0.28	0.006	0.011
	148	0.33	2.12	1.47	〃	1.86	0.37	0.004	



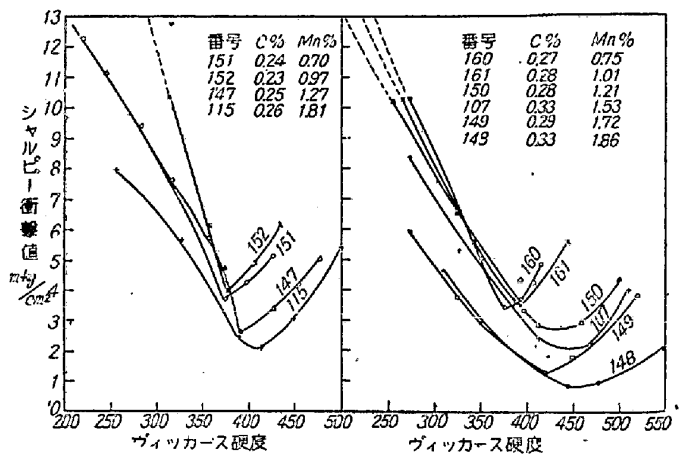
(A) 第I類 C 0.23~0.26%
(B) 第II類 C 0.27~0.33%
第 5 圖

(B) 及び第 5 圖 (A), (B) は之等の結果を示したものである。硬度は第 4 圖に示す様に何れの C 含量のものも Mn の添加と共に増加する。C 含量の高い (B) は C 含量の低い (A) よりも硬度が大であるが、Mn に依る硬度増加の傾向は何れの場合にも同様である。又衝撃値は第 5 圖の様に Mn 1% 附近迄は Mn の増加と共に幾分上昇するが、それ以上 Mn が多くなれば急激に減少する。又第 6 圖 (A), (B) は焼戻温度の衝撃値に及ぼす影響を示したものである、本鑄鋼の第一焼戻脆性は 400°C 附近に現れ而かも Mn の高いもの程脆性に對する感度性が大である。



(A) 第I類 C 0.23~0.26%
(B) 第II類 C 0.27~0.33%
第 6 圖

前述の様に Ni-Cr-Mo 鑄鋼は焼入効果が不充分にして所期の硬度を示し得なかつたが、之に Mn を添加すれば焼入性を改善し、又一面熱処理が均一に行われるから衝撃値も上昇せしめることが出来る。即ち前記の C 0.21~0.25% を含む Ni-Cr-Mo 鑄鋼では衝撃抗力が著しく低下したが、之に Mn 約 1% を添加すれば 180°C 焼戻状態で衝撃値が 5~6m.kg/cm² の値を示す様になる。尚 Ni-Cr-Mo-Mn 鑄鋼の硬度—衝撃値關係曲線を求めてその結果を第 7 圖 (A), (B) に示した。之を見るに



(A) 第I類 C 0.23~0.26%
(B) 第II類 C 0.27~0.33%
第 7 圖

C 含量の低い (A) では Mn 1.0~1.3% の No. 152, 147 は総合的に強靱であるが、C 含量の高い (B) では Mn 0.8~1.0% の No. 160, 161 が最も強靱である。即ち本鑄鋼では C が高くなれば Mn の有効添加限度が低 Mn 側に移動する傾向がある。

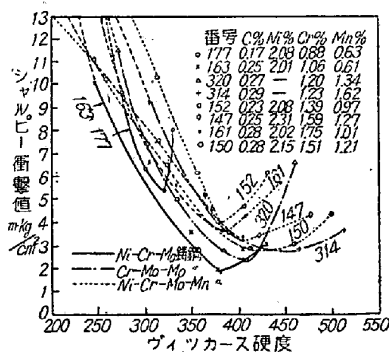
IV. 含マンガン鑄鋼の機械的性質 に關する實驗結果の考察

以上の實驗に依て明かな様に C 0.3% 程度の Cr-Mo 及び Ni-Cr-Mo 鑄鋼に Mn を添加すれば硬度が増大すると同時に衝撃値も改善せられる。その Mn 添加の衝撃抗力に對する最大有効量は Cr-Mo 鑄鋼では約 1.4% Ni-Cr-Mo 鑄鋼では約 1% にして、それ以上 Mn が過剰になれば急激に衝撃値を減ずる。之は Mn の添加に依り焼入性が良好となり、硬度が増加すると共に熱処理が均一に効くために衝撃値が高まるものと思われる。又この衝撃抗力は C 含量にも支配せられる。例えば Ni-Cr-Mo 鑄鋼に於ては C 0.23~0.26% の第 I 類では Mn 1.0~1.3%, C 0.27~0.33% の第 II 類では Mn 0.8~1.0% 附近で最も靱性が大となる。即ち C 含量の増加と共に Mn の有効限界が低 Mn 側に移動する傾向がある。

然るに Mn 添加の著しい缺陷として焼戻脆性に對する感受性、高温度に於ける結晶粒の成長及び方向性に依る靱性の差異が大であること等が挙げられる。Mn を添加すれば第一焼戻脆性を助長することは上述の實驗に徴しても明かにして、含 Mn 特殊鑄鋼の調質に特別の注意を要する點もこゝに存するのである。即ち Mn を含有する Cr-Mo 鑄鋼では約 300°C, Ni-Cr-Mo 鑄鋼では約 400°C で焼戻すれば著しく衝撃抗力を低下せしめるから

斯る温度で焼戻を施すことは極力避くべきである。若し鋼の要求する硬度が $300^{\circ}\sim 400^{\circ}\text{C}$ の焼戻に相當するものならば、寧ろ硬度の高い試料を作り高温焼戻を施せば脆性を防止することが出来る。そのためには C を増加しても又 Mn を増加しても差支えないが、前述の焼入性から見れば寧ろ C を低目にして Mn を増加する方が効果的である。例えばヴィッカース硬度で $400\sim 450$ 程度のマルテンサイト組織を要求する時は 180°C で焼戻を施せばよいが、この場合には C を 0.25% 程度とし Mn を幾分高め (Mn 1.3%) にする方が有利である。又ヴィッカース硬度 300 以上のソルバイト組織にして靱性の高いことを要求する場合には C を 0.3% 附近迄高め Mn を 1% 程度に下げる方が効果的である。尙 Mn は介在物を大きくする傾向があるため鍛伸鋼では縦横の方向性が著しいと云われている。之は珪酸 Mn、硫化 Mn 等の非金属介在物が鍛伸方向に伸ばされて所謂纖維組織を呈するためであると一般に考えられている。然るに含 Mn 鑄鋼に就て介在物の状態を検討して見たが、Mn 量の多いものが必ずしも格別介在物の数が多いとか或は大粒であると云う事實は認められず、又 180°C 焼戻のマルテンサイト組織上にも格別の差異は認められなかつた。故に過剰 Mn に依る衝撃抗力の低下は Mn を固溶する組織自體の脆弱化或は結晶粒界に析出した超顯微鏡的微粒子の作用に基くものではあるまいかと考えられる。

以上述べた様に Mn を脱酸劑程度以上積極的に添加した Cr-Mo 及び Ni-Cr-Mo 鑄鋼は、Mn を單に脱酸劑程度添加した Ni-Cr-Mo 鑄鋼に比較して強靱性が極めて大である。第 8 圖は脱酸劑程度の Mn を添加した Ni-



第 8 圖

Cr-Mo 鑄鋼 (No. 177, 163) と Mn を積極的に添加した Cr-Mo-Mn 鑄鋼 (No. 320, 314) 及び Ni-Cr-Mo-Mn 鑄鋼 (No. 152, 147, 161, 150) の硬度—衝撃値曲線

を比較したものである。Mn 含量の少ない Ni-Cr-Mo 鑄鋼は No. 177 及び 163 に示す様に低炭素のものは衝撃値は優秀であるが硬度が著しく低く、又高炭素のものは前者より硬度は高いが、尙含 Mn 鑄鋼のそれに及ばないのみならず衝撃値も低い。然るに適量の Mn を含有する鑄鋼は總體的に強靱性が著しく向上せられる。之等の中特に強靱鋼として優秀なものは Mn 1.0% を含有する Ni-Cr-Mo-Mn 鑄鋼 152 (低炭素鑄鋼) 及び 161 (高炭素鑄鋼) にして、之に次いで Mn $1.3\sim 1.6\%$ を含む Cr-Mo-Mn 鑄鋼 (No. 320, 314) が優秀である。但し含 Ni 鑄鋼は靱性は高いが硬度に遜色があり、無 Ni 鑄鋼は之と反對に靱性は低いが硬度が高い。従て硬度より寧ろ靱性の高いことを要求する場合には Ni-Cr-Mo-Mn 鑄鋼を、反對に多少の靱性を犠牲にしても硬度の高いことが要望せられる場合には Cr-Mo-Mn 鑄鋼を選ぶことが有利である。

V. 總 括

以上の結果を要約すれば大體次の通りである。

A. Cr-Mo-Mn 鑄鋼

(1) 硬度は Mn の添加と共に増加し Mn 1.8% 附近で最高を示す。

(2) 衝撃値は Mn $1.0\sim 1.4\%$ 附近で最高を示す。又 Mn の増加と共に $300^{\circ}\sim 400^{\circ}\text{C}$ 附近に第一焼戻脆性が著しく現れる。

(3) 低温焼戻のマルテンサイト組織の場合には Mn $1.0\sim 1.4\%$ とし、高温焼戻のソルバイト組織の場合には Mn を幾分高め (Mn 約 1.6%) とすることが有利である。

B. Ni-Cr-Mo-Mn 鑄鋼

(1) 硬度は Mn の添加と共に増加する。

(2) 衝撃値は Mn 1% 附近迄は Mn の添加と共に幾分上昇すが、それ以上 Mn が多くなれば急激に減少する。

(3) 第一焼戻脆性は 400°C 附近に現われ、しかも Mn の多いもの程脆性に對する感受性が大である。

要するに Ni-Cr-Mo 鑄鋼は焼入効果が不充分にして強靱鋼として所期の硬度を示し得ないが、之に Mn を添加すれば焼入性を改善し、又一面熱処理が均一に行われるから衝撃値を上昇せしめ優秀な強靱鋼となる。

(昭和 26 年 4 月寄稿)