

間加工率があるように考えられる。線材三乙が釘として使用される場合釘の具備すべき条件の1つは打込むときの腰の強さである。挫屈応力は釘の長さ、組織、成分等にも影響されるが引張強さにも比例関係がある。Fig. 9 からわかるごとく伸線後の引張強さは同成分で光線材が大でこの点は有利であるが、比較的太目の釘では冷間加工が不足で弱めになるのでこの場合素材を太目に選ぶ必要がある。

## VII. 結 論

軟鋼線材々質におよぼす圧延方式の影響を調べるため6種類の鋼をそれぞれ八幡および光製鉄所線材工場で圧延し線材素材で比較するとともに伸線試験を行い種々な点で比較した。試験結果を要約するとつぎのごとくである。

1. 光線材は八幡線材に比較し真円度が良く、附着ミルスケールは 1/2 以下であり、このため酸洗所要時間も

短かい。

2. 光線材は八幡線材と比較し引張強さ、降伏点が高いが、それにもかかわらず伸び、絞りは大である。

3. 線材組織は光線材が細かく(2.)の特性はこれによると思われる。

4. 仕上圧延後の水冷は線材々質にいちじるしく影響する。光製鉄所線材圧延機では圧延速度が大で仕上温度が高いため水冷を効果的に実施できる。

5. 伸線後にも線材素材の機械的性質の影響が明瞭に残り、光線材は八幡線材に比較し引張強さが同一の場合絞りは大である。

6. 伸線方法によつて伸線後の機械的性質、とくに絞りは変化する。(昭和 31 年 12 月寄稿)

## 文 献

- 1) 大宰: 鉄と鋼 vol. 42 (1956) Sep. 237
- 2) 石崎他: 八幡製鉄所技術研究所報告(昭和26年)
- 3) 石崎他: 同上(昭和29年)第20号

# Cr-Mo 肌焼鋼の諸性質におよぼす Mn の影響†

新 持 喜一郎\*・清 永 欣 吾\*\*

## EFFECT OF Mn ON THE PROPERTIES OF Cr-Mo CASE-HARDENING STEEL

Kiichiro Shinji and Kingo Kiyonaga

### Synopsis:

Effects of Mn on various properties of Cr-Mn-Mo case-hardening steel added with Mn from 0.6 up to 2.3% were investigated. At low quenching temperature, addition of Mn effectively decreased the distortion ratio with sufficiently increased quenched hardness. Especially the specimens containing 1.6% Mn showed the superior result. Strength much increased in Cr-Mn-Mo case-hardening steel, though toughness was sacrificed to some extent. Addition of Mn improved abrasive properties, but when combined with SNC-3, the good results could not be obtained.

## I. 緒 言

歯車材に使用される肌焼鋼は、その性質として表面硬度、耐摩耗性、靱性を有し熱処理による変形の僅少であることが要求される。とくに肌焼鋼においては熱処理による変形が大きく、歯車として用いる場合に各種の困難を生じる。鋼に Mn を添加した場合、変態点を降下し自硬性を増加することが知られているが、これらの性質はまた熱処理による歪を軽減し、機械的強度を増大することが予想される。かゝる観点から Cr-Mo 肌焼鋼に Mn を添加することにより熱処理歪の僅少な、しかも機

械的性質の優秀な肌焼鋼をえんと試みた。本研究は比較的簡易な熱処理を施した場合の諸性質におよぼす Mn の影響を調査したものである。

## II. 熱処理歪におよぼす Mn の影響

### (1) 試料および試験方法

試料の化学成分は Table 1 に示すごとく SCM-21 (SH85B) を基礎成分とし、Mn を変量とする肌焼鋼で

† 昭和 31 年 10 月本会講演会にて講演

\*\* 日立金属工業KK, 安来工場, 工博

\*\* 日立金属工業KK, 安来工場

Table 1. Chemical composition of specimens (%)

Specimens	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
Mn — 7	0.16	0.26	0.70	0.015	0.007	0.12	1.15	0.16
Mn —10	0.13	0.48	1.08	0.012	0.007	0.30	0.97	0.32
Mn —12	0.15	0.42	1.23	0.016	0.007	0.27	0.96	0.31
Mn —16	0.18	0.10	1.66	0.034	0.009	0.13	1.12	0.29
Mn —22	0.18	0.10	2.23	0.032	0.010	0.11	1.11	0.34
MnC—16	1.03	0.30	1.60	0.036	0.010	0.15	1.27	0.28
MnC—20	1.02	0.26	2.05	0.020	0.011	0.12	1.28	0.33
MnC—25	1.01	0.32	2.52	0.020	0.010	0.17	1.28	0.38

ある。このうち Mn-7, Mn-10, および Mn-12 は5 t 塩基性電弧炉で溶製し 400 kg 鋼塊に鑄造後, 15 角に圧延したもので, Mn-16, Mn-22 は 50 kg 高周波炉で溶製後, 15 角に鍛伸したものである。これらの試験素材を 900°C で焼準の後 700°C×1h の低温軟化焼鈍を行い, これより 8φ×80 の歪測定試験片および 7φ×70 の変態点測定試料を作製した。Table 1 に示す MnC-16, MnC-20 および MnC-25 は滲炭部の変態点を測定するために 50 kg 高周波炉で溶製されたもので, 同じく 15 角に鍛伸後 7φ×70 の変態点測定試料を作製した。

歪測定試験片の滲炭には, よく粉碎した木炭粉と炭酸バリウムを約 6:4 の混合比で, 十分混合かつ乾燥した滲炭剤を用いた。試料の寸度はマイクロメータにより μ 単位まで測定し, 熱処理変形率としては滲炭前の寸度に対する熱処理後の寸度の百分比で示した。

## (2) 試験結果

試料の変態点を本多式熱膨脹計により測定した結果を Table 2 に示す。空冷の場合をのぞき試料の加熱および冷却速度は 5°C/mn である。Mn の添加により加熱変態開始点および終了点が若干低下する。冷却変態の場合にはこの傾向はさらにいちじるしいが, とくに低炭素鋼において急激である。空冷では低炭素鋼で Mn 約 2% 以上, 高炭素鋼で Mn 約 1% 以上で Ar'' 変態が起る。このような Mn の添加による冷却変態点の急激な

低下は適当な熱処理により, 熱応力歪の軽減による熱処理変形率の減少の可能性を予想させるが, これについては後に報告する。上記変態点よりもつとも正当と思われる熱処理温度(正規熱処理温度)を定めこれを Table 2 に併記した。

各熱処理歪測定試験片は 950°C×4h の滲炭後, 一次焼入は省略し, 二次焼入温度を正規処理温度, 800°C, 770°C および 740°C にとり, 油焼入後いずれも 180°C で焼戻した。Fig. 1 はその結果である。一般に滲炭後

焼入焼戻によつて直径は膨脹し, 軸方向の長さは収縮する。ただし二次焼入温度が低下するにつれて直径方向の膨脹率は減少し, 軸方向の収縮は若干増加する。

Mn 量による熱処理歪の系統的变化は認められないが, Mn

1.6% の所で熱処理歪の極小点がある。

Fig. 2 は上記処理を施した試料の表面硬度(ヴィッカーズ)を示したものである。800°C の焼入温度でどの試料も十分な表面硬度を示すが, 770°C では Mn 1.0% 以上のもののみ十分な表面硬度を示す。740°C では Mn

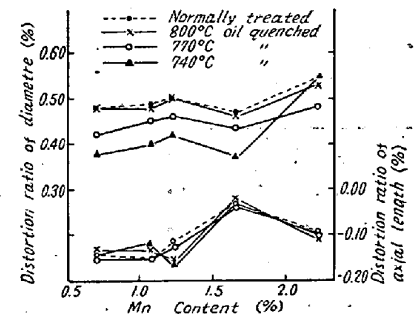


Fig. 1. Effect of Mn on the distortion ratio of specimens.

Table 2. Transformation temperature of specimens and temperature of normal treatment (°C)

Specimens	Heating 5°C/mn	Cooling		Secondary quenching temperature	Tempering temperature
		Slow cooled 5°C/mn	Air cooled		
Mn — 7	779~827	739~689	—	830 oil Q	180
Mn —10	766~846	761~696	473~378	830 "	"
Mn —12	757~833	729~682	456~357	820 "	"
Mn —16	743~792	663~629	314~215	815 "	"
Mn —22	743~791	462~391	172~	805 "	"
MnC—16	746~787	676~643	154~		
MnC—20	743~778	665~630	82~		
MnC—25	742~775	658~615	79~		

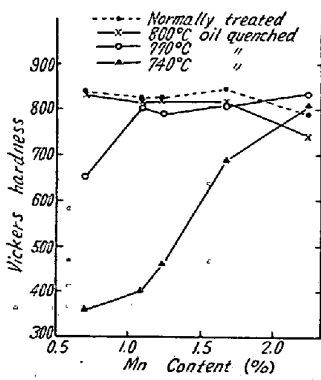


Fig. 2. Effect of Mn content on the quenched hardness of carburized case.

溶液に対する腐蝕抵抗の差を利用して、その境界をカセットメータにより判別測定した。測定結果を Table 3 に示す。Mn 添加による滲炭深さの相違は認められないようである。

Table 3. Carburized case depth of specimens.

Specimens	Case depth (mm)	Specimens	Case depth (mm)
Mn-7	1.31	Mn-16	1.31
Mn-10	1.39	Mn-22	1.38
Mn-12	1.32		

III. 機械的性質におよぼす Mn の影響

焼準、低温焼鈍した素材より規定の引張試験片およびシャルピー試験片を製作し、熱処理歪測定の場合と同じ熱処理を施した場合の各鋼の機械的性質を調査した。試験結果は Fig. 3 および Fig. 4 に示す通りである。

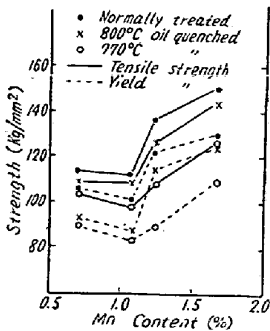


Fig. 3. Effect of Mn on the strength of specimens.

-22 をのぞき硬度が不十分である。以上の各熱処理に対する歪と表面硬度の関係より、770°C で二次焼入を行った Mn-16 がもつとも優秀な結果を示すということができよう。

各試料の滲炭特性が異なれば、当然その影響にもとずく変態歪が異なるので、滲炭試料の滲炭深さを測定した。測定方法は滲炭部と芯部の硝酸アルコール

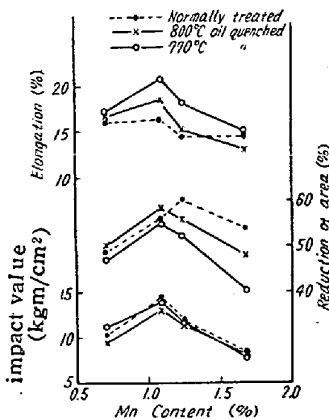


Fig. 4. Effect of Mn on the toughness of specimens.

Mn 1.2% 以上で急激に鋼の強度が増加する。Mn-16 では正規熱処理温度で 150 kg/mm<sup>2</sup> の抗張力を有し、Mn-7 に比較して約 30% その抗張性質を改善する。焼入温度が低下し、内部組織の均一化が不十分となるにしたがつて強度も低下する。この鋼種には明瞭な降伏点が認められず、したがって降伏点としては 0.2% 残留歪率をもつ強度、すなわち  $\sigma_{0.2}$  で示した。

Fig. 4 は試料の靱性を示すもので、Mn 1.2% までは伸、絞、シャルピー衝撃値とも低下を示さず、逆に靱性を向上せしめる傾向がある。Mn-16 では靱性の低下がみられるが、SCM-21 に比較して大差はない。

IV. 耐摩耗性におよぼす Mn の影響

ある試験材料の耐摩耗性は他の機械的性質のごとく、その材料の先天的属性として賦与されているものではなく他の材料と比較された相対値に意味があるものである。同種金属による摩耗の少ない材料が異種金属の組合せ摩耗の場合に、必ずしも良好な結果を示すとは限らない。これらはいずれも摩耗機構の多様性と摩耗におよぼす要因の多岐にわたるためである。摩耗試験の方法は種々あるが、実際にその材料が用いられる部分の使用条件にもつとも近似した方法が推奨されるのはもちろんである。歯車の場合には単なる回転摩擦のほか、加圧下における送り摩擦が働き、さらに潤滑用油が使用される。これらの条件を適用するには西原式摩耗試験機(アムスラー式)がもつとも適当であるが、油入摩耗の場合には繰返回転数が数百万回以上でないと斑摩耗を生じない。一方乾燥摩耗の場合には、摩耗量が増加し研究能率を向上させるが、実際に即しない憾みがある。

(1) 試験条件

本研究においては、西原式摩耗試験機を使用し、乾燥状態で最大圧縮応力 60 kg/mm<sup>2</sup>、送りなしの条件で試験し、Cr-Mo 肌焼鋼の耐摩耗性におよぼす Mn の影響について研究した。ただし最大圧縮応力はつぎの計算式によつて計算したものである。

$$f = 0.418 \sqrt{PE/b(1/r_1 + 1/r_2)}$$

- ここに f = 最大圧縮応力                    kg/mm<sup>2</sup>
- P = 荷重                                kg
- E = 縦弾性係数                    kg/mm<sup>2</sup>
- r<sub>1</sub>, r<sub>2</sub> = 上, 下試験片の半径    mm
- b = 試験片の巾                    mm

試料の縦弾性係数 (E) は 21000 kg/mm<sup>2</sup> とした。西原式摩耗試験機はアムスラー式摩耗試験機と同様な原理によるもので、リング状の上, 下試験片が水平な軸

Table 4. Chemical composition of specimens (%).

Specimens	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
S 1	0.18	0.30	0.74	0.016	0.007	0.09	1.14	0.25
S 2	0.15	0.42	1.23	0.016	0.007	0.27	0.96	0.31
S 3	0.21	0.35	1.67	0.011	0.019	0.08	1.13	0.32
S 4	0.35	0.22	0.38	0.012	0.006	3.03	0.76	—

Table 5. Heat treatment and hardness of abrasion test specimens.

Specimens	Carburizing	Secondary quenching (°C)	Tempering (°C)	Hardness (HRC)
S 1	950°C×4 h	790 oil q.	180	62.0~63.0
S 2	"	770 "	"	60.0~61.0
S 3	"	770 "	"	63.0~64.0
S 4	"	850 "	"	50.0~51.5

に支えられ、両試験片の線接触部に荷重がバネの力によつて加えられる。試験片の形状は上、下とも同一で、内径 16mmφ、外径 30mmφ、厚さ 8mm のリング状である。

試料の化学成分を Table 4 に示す。試料 S1 は Mn-7、S2 は Mn-12、S3 は Mn-16 に相当するもので、S1、S2 は 5t 塩基性電弧炉により、S3 は 50kg 高周波炉によりそれぞれ溶製し、35φ に鍛伸後、上記摩耗試験片を削り出した。Table 5 はこれらの試料に施した熱処理条件および表面硬度を示す。

## (2) 試験結果

### a. 同種試料の組合せ摩耗の場合

初期摩耗をのぞくために試料を 10,000 回転（走行距離約 1000m）運転した後、 $5 \times 10^4$  回転おきの摩耗減量を mg 単位まで秤量した。

まず同種試料の組合せ摩耗を行った。その結果を Fig. 5 に示す。これは定常摩耗の範囲の摩耗を示すので、摩耗減量と繰返し回転数はほぼ直線関係にある。ただし繰返し回転数が  $2 \times 10^5$  回転以上となると、この直線関係は若干くづれて摩耗減量は多くなる。これは滲炭による C 濃度が試料の表面からの深さによつて減少することによる。同種間摩耗の場合には、Cr-Mo 肌焼鋼の Mn 量が増加するにつれて耐摩耗性は良くなる。

酸化摩耗の場合には硬度の高いものの方が摩耗減量は少いといわれているが、その硬度は素材の硬度ではなく摩耗によつて生ずる変質層の硬度が大きく影響をおよぼす。Cr-Mo 肌焼鋼で Mn 量の多いものの摩耗減量が少いのは、加工硬化による変質層の影響および Mn によつて生ずる他の原因にもとづくものと思われる。

### (6) 異種試料の組合せ摩耗の場合

Table 4 に示した S 4 (SNC-3) を比較標準試料と

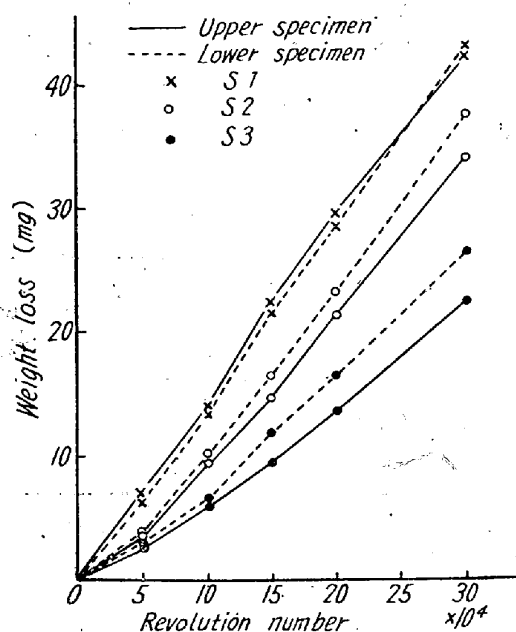


Fig. 5. Relation between abraded weight loss and revolution numbers, combined with same steel.

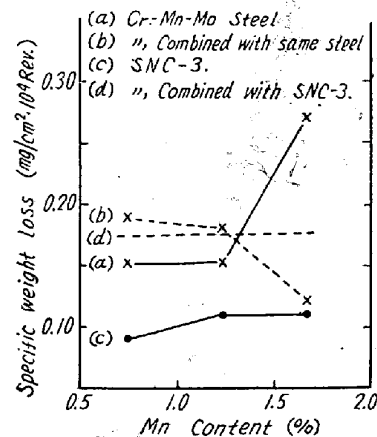


Fig. 6. Effect of Mn content on the specific weight loss, combined with SNC-3.

する異種試料の組合せ磨耗を行つた。試験条件は同種試料の組合せ磨耗の場合と同様である。上部試験片に S4 をとりつけ Cr-Mn-Mo 肌焼鋼を下部に設置した。試験結果を Fig. 6 に示す。磨耗は直線的に進むので、磨耗量としては試料の単位摩擦距離における単位接触面積当りの磨耗減量をもつて示した。Fig. 6 の (a) は Cr-Mn-Mo 肌焼鋼、(c) は S4 磨耗量を示すもので、比較のためにおのおの同種の組合せ磨耗量も併記した。

S1, S2 は同種の組合せの場合よりも磨耗量が減少するが、S3 は異種間でかなり磨耗量を増加する。一方 S4 は同種同志の組合せ磨耗の場合よりも磨耗量が僅少となる。

S4 の磨耗量の僅少となる理由は、肌焼鋼の C 濃度が高いために S4 よりも酸化し易く、したがつて S4 はそれ同志の場合よりも早く酸化粉末を象眼して耐摩耗面を形成し磨耗を減ずる。酸化摩耗状態であるから、硬度の高い肌焼鋼の磨耗量が S4 に比較して少なくなるべきはずであるが、結果はその逆を示している。この原因は明らかでないが、硬度が磨耗量を左右する決定的要因ではなく二種の材料の機械的性質が総合的に作用して、いわゆる耐摩耗性質をつくるものと考えられる。硬度は肌焼鋼にはるかにおよばないが、靱性においてまさる S4 は二つの摩擦体間にあつて、磨耗酸化粉末を一時的に保有する力が大きく、その結果、表面が耐摩耗面となるから

であろう。

## V. 結 言

以上 Cr-Mo 肌焼鋼の熱処理歪、機械的性質および耐摩耗性におよぼす Mn の影響を調査したが、それらの結果を要約すれば下記の通りである。

(1) 焼入温度の低下は熱処理歪を軽減し、Mn の添加によつてこれを実用的に可能にすることができる。とくに 770°C で二次焼入を行つた Mn 1.6% Cr-Mo 鋼がもつとも僅少な熱処理歪を示した。

(2) Mn の添加によりいちじるしく強度が増加し、Mn 1.6% では 815°C 焼入、180°C 焼戻で 150 kg/mm<sup>2</sup> の抗張力に達する。Mn 1.2% までは靱性の低下はないが、1.6% ではわずかに低下する。たゞしその程度は、抗張力の増力に比較して僅少である。焼入温度の低下は機械的性質、とくに強さを悪くする。

(3) 同種試料の組合せ磨耗を、酸化摩耗の状態と比較すると、Mn 量の多い程耐摩耗性が良くなる。

(4) SNC-3 との組合せ磨耗を酸化摩耗の状態と比較すると、Mn 1.2% までは SNC-3 および自身の磨耗量を減少するが、Mn 1.6% では自身の磨耗量が急激に増加する。

終りにのぞみ、本研究に御助言をいただいた小柴研究所長に感謝の意を表す。(昭和 31 年 11 月寄稿)