

低合金鋳鋼の研究(II)*

(低Mn-Mo 鋳鋼の機械的性質と耐磨耗性について)

宮崎 勢四郎**

STUDIES ON MECHANICAL AND WEAR-RESISTING PROPERTIES
OF LOW Mn-Mo STEEL CASTINGS

Seishiro Miyazaki

Synopsis:

Mechanical and abrasion-resisting properties of low Mn-Mo steel that castings contained 1.1~1.7% Mn and 0.2~0.4% Mo were investigated.

Heat treatments used were homogenizing and normalizing or double normalizing. Tempering were carried on by furnace cooling from 650~550°C.

The results obtained were as follows:

0.36% C, 1.63% Mn and 0.32% Mo steel castings had better mechanical properties than 0.41% C, 1.20% Mn and 0.22% Mo steel castings. Homogenizing and double normalizing treatment were found effective for toughening, but 1.63% Mn steel castings had higher hardness as annealed, therefore their machining were rather difficult.

Wear-resistance of 1.20% Mn steel castings was relatively better than 1.63% Mn or 0.52% C and 1.39% Mn steel castings.

I. 緒 言

筆者はさきに低合金鋳鋼の各種にわたつてその機械的性質を調査し、空冷を主とした熱処理によつてショアー硬度 33~38 をうる材質の選定を行つた。その結果 0.35% C, 1.7% Mn, 0.3% Mo 鋳鋼が良好な機械的性質を有することを認めた。

しかし Mn % が高く自硬性がかなり大であるため溶接性に難点があり、焼鈍によつても硬化することがあるので焼鈍後の荒削りに困難を感じる原因となるなど現場的な問題も二、三認められるにいたつた。

この対策として考えられることは Mn, Mo 含有量の低下により焼鈍組織を軟かなものとするのであつて、原価面からみても Mn, Mo の節約は有利である。耐磨耗性の維持のために C 量をやや増加せしめて Mn, Mo 量を減らす方向に進み、いわゆる確性試験として現場において熔解した二、三の試料につき機械的性質および耐磨耗性を調査した結果を報告する。

II. 実 験 要 領

(1) 化学成分の目標と試料の鑄込

第1報において最も適当と結論された 0.35% C, 1.7% Mn, 0.3% Mo の成分を有するものを数チャージ、これよりは Mn, Mo が低く C が高いものすなわち 0.4

% C, 1.3% Mn, 0.2% Mo の成分を有するものを数チャージを3トン塩基性エルー電弧炉にて熔解した。

出鋼は約 1620°C で行い、底注ぎ取鍋より乾燥砂型の舟型試験片に約 1550°C にて鑄込んだ。舟型試験片はガス切断により押湯を除去し、1箇より約 30mm 角長さ 250mm の粗材を3本ずつ採取した。

(2) 試験片粗材の熱処理

各代表的成分のものにつき本多式熱膨脹計にて変態点を測定した後、粗材を 900°C に2時間焼鈍した。焼準は高温の拡散と低温の調質の二通りとした。第1報で 1100°C, 4時間の拡散後空冷した試料でも拡散は完全とはいえなかつたのであるが、衝撃値の向上からすれば、1000°C 2時間でもかなり有効であつたことをのべた。さらに現場においては 1100°C の昇温が炉の寿命、燃料消費からみて決して有利とは考えられないなどの理由から本報では高温拡散は 1000°C に止めた。

調質のための焼準は変態点からみて第1報より低温とし 850°C 2時間とすることに決めた。

したがつて本報では高温拡散と拡散後の冷却条件の変化、2回焼準の効果、焼鈍と焼準の併用など現場で比較的容易に作業しうると思われる熱処理を行うこととし

* 31年4月本会講演大会において発表

** 日立製作所亀有工場研究課

た。

また焼戻温度は歪取りを考慮して比較的高温の場合のみを実験し、焼戻性能を検討するため 550°C, 600°C, 650°C の3段階に変え、2時間保持後空冷または炉冷を施した。熱処理炉はシリコニット電気マツフル炉を使用し、加熱速度は 200~400°C/h, 冷却速度は焼鈍の際は 3~4°C/mn 焼戻の際は 1°C/mn 程度であつた。

(3) 材料試験と磨耗試験

熱処理を終つた粗材は JIS 4号試験片, U ノッチシャルピー衝撃試験片, および西原式磨耗試験片(外径30mm 内径 16mm 巾 8mm) に仕上げ抗張試験, 衝撃試験, 硬度試験および西原式磨耗試験機による滑り転り磨耗試験を行つた。

磨耗試験の相手として用いたものは炭素鋼 S40C を焼入焼戻後高周波焼入して外周部を約 1mm の深さで表面硬化させたものである。その表面硬度は Hv で450~500 であつた。接触面における最大圧縮応力を考慮に入れて、試験片にかかる荷重を 100, 80, 60, 40 kg の4種類とし、上試験片に供試材を装置してその回転数を 610 r.p.m とし下試験片に S40C の高周波焼入材を用いその回転数を 880 r.p.m. とした。したがつて滑り率は上試験片では 41%, 下試験片では 31% になる。試験片上にはマシン油を滴下して潤滑をはかつた。なお磨耗試験片の熱処理は 1.7% Mn の試料では拡散したものと拡散せず焼準焼戻したものの2種に分け、1.2~1.4% Mn の試料では全部拡散を施した。拡散は 1000°C 空冷, 焼準は 850°C 空冷, 焼戻は 650°C 空冷とした。

III. 実験結果

(1) 化学成出と変態点

本実験に供した試料の化学成分は Table 1 に示すとおりである。Table 1 の上段 2 箇の試料の変態点は Table 2 のごとくであつた。

以上によれば変態点からみて多少 C の高目のものが変態点が低いのであるが、Mn が多い方が第1報で述べたごとくマルテンサイト, トルースタイト変態が起り易いので焼きは入り易いと考えられる。いずれにしても焼準により充分硬化しやすい試料であると考えられる。

Table 1. Chemical composition.

Heat No.	Contents %							
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
20398	0.36	0.30	1.63	0.019	0.019	0.14	0.12	0.32
10106	0.41	0.43	1.20	0.025	0.018	0.10	0.10	0.22
20469	0.52	0.61	1.39	0.066	0.019	0.13	0.08	0.22

Table 2. Critical point.

Heat No.	Temp °C			
	Ac ₁	Ac ₃	Ar ₃	Ar ₁
20398	656	707	610	596
10106	657	690	598	556

(2) 機械的性質

上記3種の試料の各種熱処理条件と機械的性質との関係を図示すれば Fig. 1, 2, 3 のごとくなる。Fig. 1 では高温拡散したものと2回焼準したものおよび1回焼準の3者の比較。Fig. 2 では2回焼準の中の第1回焼準温度の比較および焼準と焼鈍との比較, Fig. 3 では第1回焼準温度と冷却方法の比較をそれぞれ示す。図中に第2回焼準温度の指定のないものは全部 850°C 2時間空冷である。

Fig. 1 の 1.63% Mn-Mo 鋳鋼では焼準2回のものが1回のものより良好な機械的性質を有し、とくに650°C 焼戻による衝撃値のよいことは注目される。第1回を高温に保持しない場合でも強靱な材質をえられることがわかつた。焼準のままでは靱性において欠けるところがあり、焼鈍のままでは抗張力, 伸びなどは比較的好かつたが硬度衝撃値が出なかつた。

Fig. 2 の 1.2% Mn-Mo 鋳鋼は Fig. 1 のものより C がやや高く, Mn がやや低いため、焼準硬度が 550°C 焼戻の硬度と大差がないほど下るようである。しかし 2

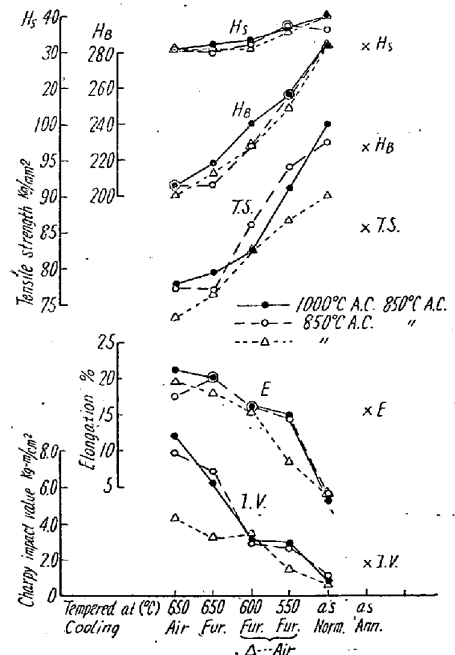


Fig. 1. Relation between mechanical properties and heat treatment conditions (0.36% C, 1.63% Mn 0.32% Mo steel casting)

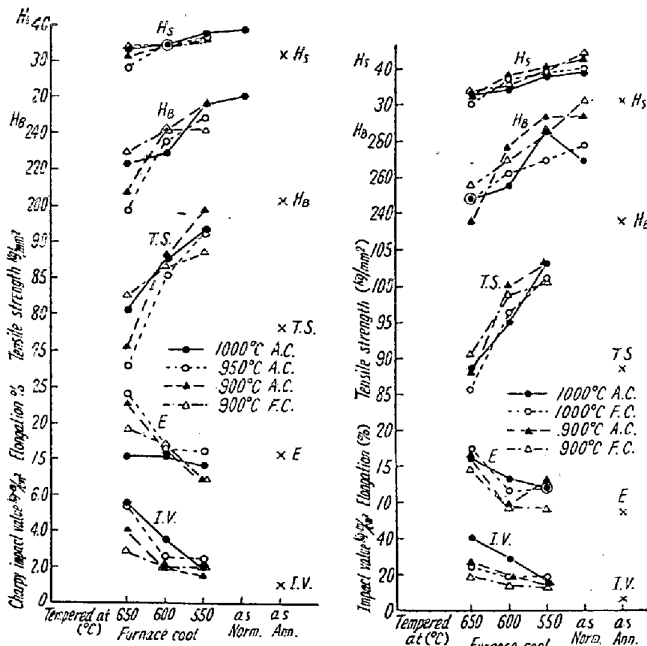


Fig. 2.

Fig. 3.

Fig. 2. Relation between mechanical properties and heat treating conditions (0.41% C, 1.20% Mn, 0.22% Mo steel casting).

Fig. 3. Relation between mechanical properties and heat treating conditions (0.52% C, 1.39% Mn, 0.22% Mo steel casting).

2回焼準したものの靱性はかなり大で第1回焼準温度の高いほど衝撃値は大となる傾向がみられる。第1回に焼鈍した場合は硬度は出たが衝撃値は下つた。

Fig. 3の1.4% Mn-Mo 鑄鋼は低合金鑄鋼としてはCが非常に高いので硬度はかなり高いものがえられたが第1回 1000°C 空冷のもののみが靱性を保つたにすぎなかつた。

(3) 磨耗試験結果

全体を通じて 60 kg 以上の荷重では各材質とも、相手の高周波焼入材によつて切削されるがごとき磨耗状況を示し 10⁵ 程度の回転数ですでに 0.5 g 以上の磨耗量を示すものさえあつた。100 kg 荷重の試験結果は省略し、80 kg, 60 kg, 40 kg の各試験結果を Fig. 4, 5, 6 に示す。

80 kg 荷重の場合、拡散した試料の硬度が一般に低かつたため磨耗量が大となつてはいるが、0.52% C のものは硬度差小なるにも拘らず、かなり激しい磨耗を受けている。

60 kg 荷重では逆に拡散しなかつたものが硬度差大で磨耗量も大となつてはいる。しかしおなじ成分の拡散したものはさらに磨耗量が大である。拡散した試料ではC量

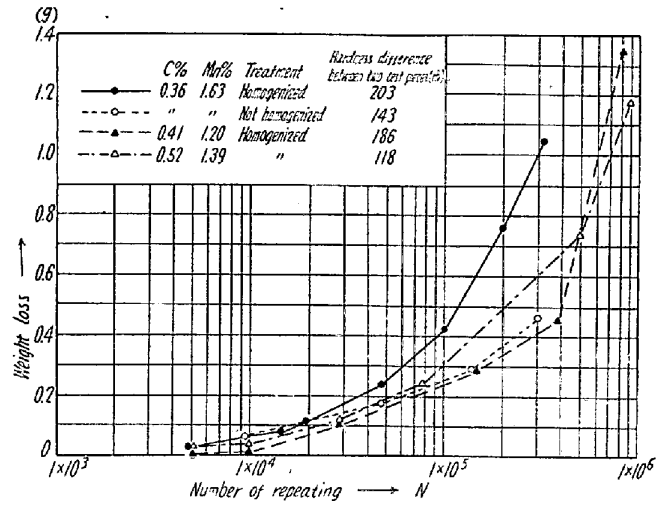


Fig. 4. Relation between wear and number of repetitions with several castings (at 80kg load)

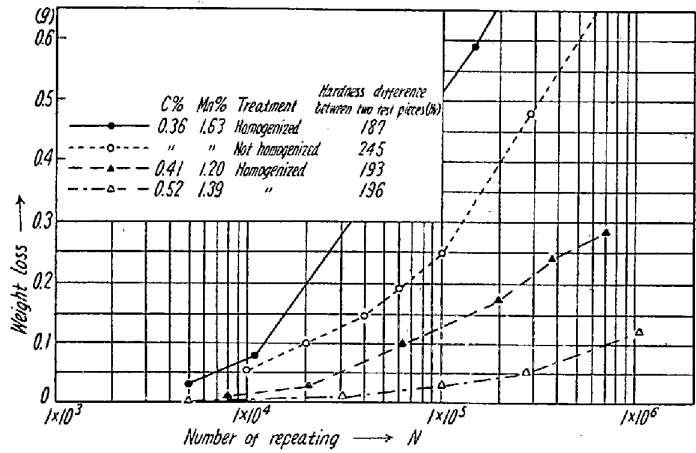


Fig. 4. Relation between wear and number of repetitions with several castings (at 60kg load)

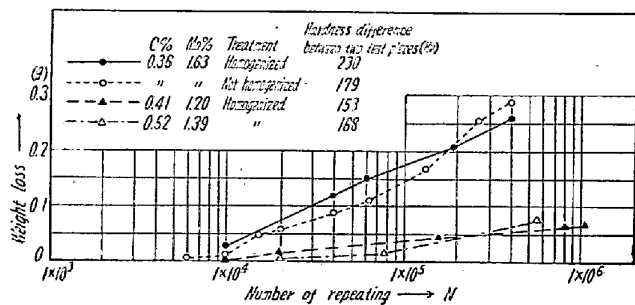


Fig. 6. Relation between wear and number of repetitions with several steel castings (at 40kg load)

の大なるほど磨耗量が少ないという結果を示した。

以上はいずれも滑り率が大きく荷重も大なので烈しい磨耗を受けたわけであるが、40 kg 荷重になると磨耗量は比較的少なくなるが、通常磨耗試験においてみられるような pitting (試料の摩擦面に小孔を生ずる) は起き

ず、すり減りのみが起つた。この場合拡散しなかつた試料は磨耗量がかなり大であつた。拡散した試料は硬度差にあまり相異はないので、この結果から 0.36% C のものに対し 0.41% C または 0.52% C のものの方が耐磨耗性良好と思われる。

IV. 考 察

(1) 化学成分と機械的性質との関係

本実験では化学成分の異なる 3 heats の試料について調査した結果、機械的性質の見地からは第 1 報の結論を確認したに止つた。0.52% C のものが硬度の高い割合に衝撃値の出ることがわかつたが、それもせいぜい 4 kg - m/cm² であるから良好とはいえない。靱性があると認められた 1.63% Mn の試料も 600°C 以下の焼戻温度では衝撃値が急に下る。また完全歪取りの見地からも 650°C 焼戻を行わねばならないことがわかる。この材質はまた、焼鈍硬度が 600°C 焼戻の硬度とほぼ同等に高いので第 1 報で懸念された焼鈍後の荒削作業においてやや困難を感じる事が認められた。Fig. 7 に示した顕微鏡組織では焼鈍状態でトルースタイトのごときややエ

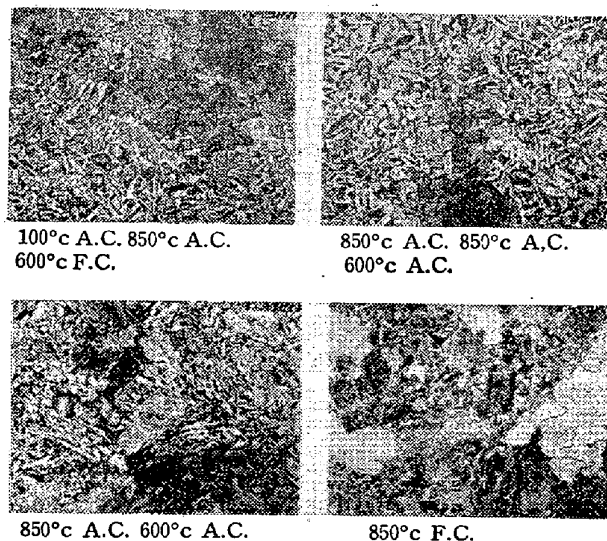


Fig. 7. Microstructures of 0.36% C, 1.63% Mn, 0.32 Mo steel casting ×400 (1/2)

ッチの濃い部分がみられるのもこれを裏書きしたものと考えられる。他の材質は焼鈍によつて 650°C 焼戻のものと同等あるいはそれ以下の硬度を示すので荒削作業にさほどの困難を感じない。組織も Fig. 8 のフェライトパーライト混合組織あるいは Fig. 9 に示すごときほとんどがパーライト組織となつたのである。

(2) 熱処理条件と機械的性質との関係

各材質に共通なことは第 1 回高温焼準、第 2 回焼準の熱処理を行つた試料が機械的性質の良好な結果を示した

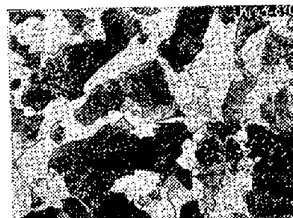
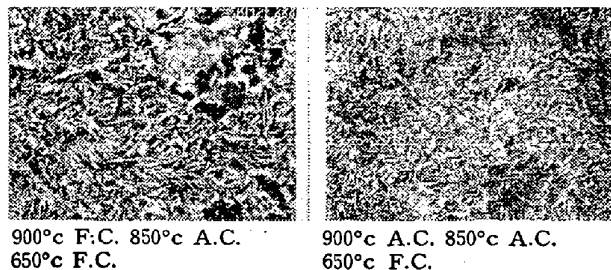
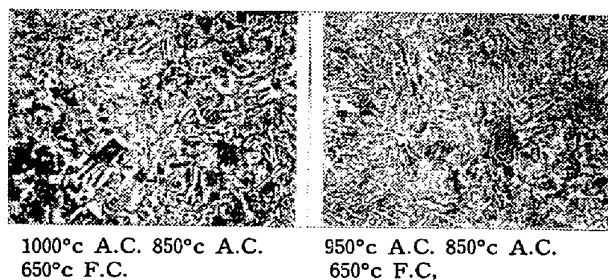


Fig. 8. Microstructures of 0.41% C, 1.20% Mn, 0.22% Mo steel casting ×400 (1/2)

←900°C F.C.

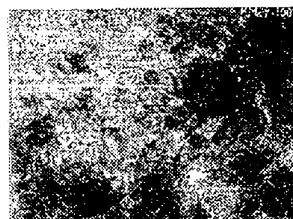
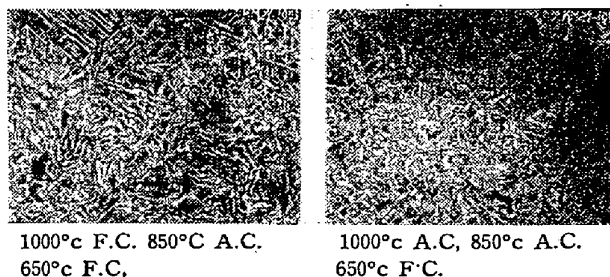
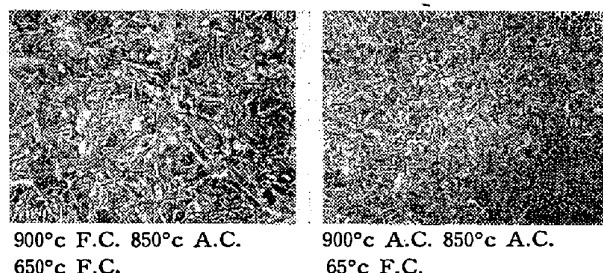


Fig. 9. Microstructures of 0.52% C, 1.39% Mn 0.22% Mo steel casting ×400 (1/2)

←900°C F.C.

ことである。また焼準を 2 回行つたものは 1 回しか行わなかつたもの(第 1 回焼準の代りに焼鈍したものを含む)に比し靱性とくに衝撃値においてすぐれている。この傾向は 650°C 焼戻の際顕著でこの場合は第 1 回焼準温度の高いほどよいことが認められる。これは第 1 報の結果とほぼ同様で Mn, Mo など拡散の比較的困難な元素

を含む試料を空冷によつて硬化させ、しかも靱性を失わないようにするには拡散後急冷するのがよいことが確認された。拡散がいかに行われているかは顕微鏡写真によつてはぼうかがい知ることができる。もちろん組織が均一になつたか否かは明確に認められないが、微細化したことは明らかである。

Fig. 7 の焼準 1 回のもはかなり粗い組織であるし、Fig. 8 の第 1 回焼鈍を行つたものは各温度とも焼準したものより組織が緻密でない。Fig. 9 でも同様にその差は明らかに認められた。

焼戻性能については 1.63% Mn のものが焼準硬度大で 550°C 焼戻のものとかかなり差があつたので 500°C 以下の焼戻温度における性質を調査をする必要があつたが衝撃値が 600°C 焼戻ですでに 3 kg-m/cm² に低下しており、どこで脆性に遷移するかは常温では確認できなかった。また歪取りの見地からも 550°C 以下の焼戻では使用上差支があるものと考えられ耐磨耗性のみを要求される場合でも 550°C 焼戻で使用するのが可と考えられる。1.2% Mn の試料では焼準硬度と 550°C 焼戻硬度がほぼおなじとなつた。0.52% C の試料でもバラツキが多いがほぼおなじ傾向であつた。このことは Mn が約 1.4% 以下では空冷による硬化はマルテンサイト化ではなくて普通鑄鋼に比し C, Mn, Mo 等のわずかの増加が空冷によるペーナイト化を促進しているものと考えられとくにこの場合の Mo 量はあまり多くを必要としないものと推定される。しかし高温度に拡散した際急冷をしないとペーナイトが伸びて針状フェライト状に発達するので機械的性質を害するものと考えられる。

(3) 耐磨耗性

磨耗試験結果は硬度差のバラツキにより定量的には極めて粗雑な実験に終つたが、傾向は掴みえたと考えられる。1.63% Mn の試料では荷重の大なる時の磨耗量は拡散した試料が大であつたのは組織中のフェライトが若干増加していただのではないかと考えられる。一般に C 量の大なるほど磨耗量の少なかつたことはこのフェライトに関係するとみてよく、定説と一致している。しかし 0.41% C, 1.2% Mn の試料と 0.52% C, 1.39% Mn の試料を比較すると、差のあつたのは 60 kg 荷重の時だけで他は大差がない。これでは硬度や組織との明確な関係を見出すことができない。両者の組織中に現われたフェライト量にはかなり差があると思われるがフェライトの出方が拡散した際針状に出ると耐磨耗性を損うのではないかと、またこのフェライトに固溶する Mn 量にはほとんど差がないはずで、もちろんフェライトの硬度上昇には

役立たないと考えられる。したがつてセメントタイトの部分が硬度を増して全体の硬度を上昇してもさほど耐磨耗性が向上しなかつたと考えられる。

結局 0.41% C, 1.2% Mn, 0.2% Mo 鑄鋼を拡散した試料はペーナイト組織が緻密で耐磨耗性を損うごときフェライトが長く現われていない点から低合金にもかかわらず優良な結果をえたと思われる。しかもこの程度の合金成分であれば熱処理による硬度のバラツキも少ないから磨耗試験結果の再現性はあるものと認められる。

V. 結 言

低 Mn-Mo 鑄鋼の 2, 3 の成分のものを塩基性電弧炉で熔製し、空冷を主とした熱処理条件で機械的性質および耐磨耗性を比較した結果、機械的性質の上からみると 0.36% C, 1.63% Mn のものが良好で歪取りを目的として焼戻後炉冷を行つてもさほど硬度を低下せず、衝撃値もかなり高いものが得られた。

耐磨耗性の見地からはこれより高 C, 低 Mn のものが良好で比較的低合金にもかかわらず磨耗量は少なかつた。しかもこの中 0.41% C, 1.2% Mn, 0.2% Mo のものは 650°C 焼戻炉冷によつてもかなり靱性を回復することができることがわかつた。したがつてこの程度の低 Mn-Mo 鑄鋼は合金元素の節約、焼鈍後の荒削りの比較的容易なこと、熔解鑄造作業も困難が少ないことなどの点から耐磨耗性を要求される比較的高級な機械部品に適用して差支えないことが認められる。

第 1 報の結論よりは一般の機械的性質が多少劣るが耐磨耗性を要求せられる部品に対して、ここにつぎの成分材質を推奨する。

化学成分(%): C 0.38~0.45, Si 0.30~0.60, Mn 1.10~1.50, P.S. それぞれ<0.030, Mo 0.15~0.30, Ni, Cr, Cu それぞれ<0.3

熱処理: 第 1 回焼準 1000°C 空冷, 第 2 回焼準 850°C 空冷, 焼戻 650°C 炉冷。

機械的性質: 抗張力>60 kg/mm², 伸び>15%, 衝撃値>3.5 kg-m/cm², ショアー硬度 28~35

終りに本研究の当初より種々御指示を賜つた日立製作所顧問東北大学名誉教授村上武次郎博士、本研究を終始指導して下さつた日立製所作業工場幹部に深謝する。

(昭和31年6月寄稿)

参 考 文 献

- 1) 宮崎勢四郎: 鉄と鋼, 42, (1956) No.7 p.562