620.178.162 : 669.15'74-162

高マンガン転てつ器の摩耗試験*

(盛金金属の場合)

八 木 明**

On the Abrasion Test of High Manganese Point

(Wear of Deposited Weld High Manganese Metal)

by Akira YAGI

To find out the prevention of defacement in case of deposited weld high manganese metal used for points of the railway, I have conducted experiments under the following conditions, i.e., lubricated and non-lubricated states and determinations made by using an Amsler type abrasion testing machine, employing slip velocities ranging from 0 to 15 cm/sec and contact pressures between 50 and 90 kg/mm².

The test piece of tyre is about 0.7% C standard structure steel, and the other material of deposited weld high manganese metal.

The results of tests indicated that :—

1) "Pitting" amount of the deposited weld high manganese metal is very little, and the effect of lubrication is very remarkable.

2) In case of austenitic structure, deposited weld high manganese metal, shows the same tendency of wear as cast high manganese steel.

1. ま え が き

筆者はさきにアムスラー形摩耗試験機を使い、転てつ器に例をとった高マンガン鋼の摩耗試験を行なうと、特に塑性領域の接触応力下においては、すべり割合の増加とともに摩耗量のふえることを報告⁽¹⁾し、また高マンガン鋼製品を盛金によって補修するときの溶接棒で試験片を作ったとき、はなはだ良好な結果を得たことも既に報告⁽²⁾したとおりで、この正反対の理由をいいたいどのように説明すればよいだろうか。

最近では溶接工法の進歩によって、摩耗またはき裂などを生じた高マンガン製品も盛金で補修ができ、路面軌道などの転てつ器は、トングレールまで盛金によって完全に修復し、新品と同様になんらの不安なく使われるのも“盛金工法”に信頼がおけるからで、この実状からしても、上記の問題は解かなければならないと思う。

ところでこの相反する摩耗現象の原因と思われることに、同じ化学成分の鋼材でも組織のいかんによって摩耗量は著しく変わり、また組織そのものも圧延・鋳

造・溶接などの工法で、結晶粒子の受ける熱影響に差異があるから、工法独特の組織がうかがわれ、結果的には摩耗量の相違となることが考えられる。

ゆえに今回は盛金工法による摩耗試験片を用いて、既に発表した結果⁽²⁾を再検討するとともに、盛金した場合の高マンガン鋼の摩耗特性の一端を調べてみた。

2. 高マンガン鋼製品の盛金

2.1 盛金補修の実例と特質 高マンガン鋼製品を盛金によって補修することは、母材の加工硬化性や熱伝導性などが溶接を困難にしていたので、実施は他よりもおくれ、最近ようやく実用化したものの一つではないかと思われる。しかし本文は施工方法の難易を扱うのが目的ではないから、この問題には触れず以下摩耗の問題のみを考える。

ところで盛金工法によって更新されているものは、ジョークラッシャ、ジャイレトリクラッシャのような鉱山・土木機械が多く、またレイモンドミルやフィーダースクリーンのような化学機械、本報の主題として高マンガンてつきなどである。ゆえに盛金部分の受ける機械的な接触条件は、最初に製品として作られた母材と全く同一であるといえる。

しかし盛金とは、盛られた溶着金属の組織も物理性

* 昭和 37 年 4 月 4 日 第 39 期通常総会講演会において論文講演として講演，原稿受付 昭和 36 年 11 月 27 日。

** 正員，大阪工業技術試験所（大阪市大淀区大仁西 2）。

も、母材本来の高マンガン鋼と同一であることが、盛金工法本来の形式であろう。これに対して普通の高マンガン鋼に、クロムなどの特殊元素を加え、物理的性質を変えた金属の盛金は、むしろ表面硬化法（ハードフェーシング）の系列として、検討するのが妥当なのではないかと考えるけれど、今回は両者を比較するために、次記の2種類の溶着金属を選定した。

2.2 供試試験片について 本報の試験片として、タイヤ試験片は既報で用いた0.7% C鋼を流用し、盛金高マンガン鋼としては鑄出普通高マンガン鋼に対応するものと、特殊元素を加えた同一目的に使う“表面硬化用”の溶接棒の2種類を準備した。

これらの溶着金属化学成分・組合せ記号・摩擦面のかたさ・試験条件などは第1表に一括記入したとおりで、試験片の仕上寸法はいずれも直径 ϕ 30 mm、厚さ ϕ 7 mmの円盤状であるけれど、タイヤ以外は“盛金による素材”から作らねばならず、またまきがきのように顕微鏡組織も重要なので、次項に改めて詳細を述べることとする。

2.3 表面硬化鋼溶接棒の盛金摩耗試験片 本例は高マンガン鋼製品の盛金補修に推されている銘柄の

表面硬化用の溶接棒で、既報の摩耗試験⁽²⁾では良好な結果を示したものである。

試験片の工法は0.2% C鋼を心にして、電弧を熱源にして溶接棒を3層盛上げ、その後外周を研削して所定の寸法に仕上げる。第1図はこの試験片の端面の心部から摩擦面までの顕微鏡撮影により、表面の組織を示したものである。

全体にわたって細かい模様が樹枝状に配列された典型的な樹枝状組織を呈し、さらに拡大すると成長方向の同じ樹枝状部分を一括するように、オーステナイト独特の粒界線が認められ、黒く着色した細粒は針状化合物のマルテンサイト、白色部分は未変態のオーステナイトと推定される組織が見られたので、溶接工法ではかようなようすを呈するのではないかと考えていた（なお討論欄にこの拡大写真を追加した）。

ところがかたさはHs 78~81で非常に高く、高マンガン鋼としては疑問も多いので、その後の化学分析の結果は第1表のようで、特殊元素が金属化合物を作って組織中に細かく分布したために、非常に判定のむずかしい組織を呈したわけで、かたさその他の点からみてマルテンサイト組織と断じるのが適当のように思

第1表 供試鋼材の一覧表

記 号	鋼材組合	化 学 成 分 %							か た さ Hs	備 考
		C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo		
A ₁ /MU 1	{ 表面硬化 タ イ ヤ	0.50	0.26	0.40	—	—	4.28	0.37	78~81	表面硬化鋼の盛金 標準組織の炭素鋼
		0.69	0.72	0.15	0.050	0.053	—	—	38~42	
A ₁ /MU 2	{ 高マンガン タ イ ヤ	0.74	17.07	0.13	0.040	0.007	—	—	29~33	普通高マンガン鋼の盛金 標準組織の炭素鋼
		0.69	0.72	0.15	0.050	0.053	—	—	38~42	
A ₁	{ レ ー ル タ イ ヤ	0.71	0.69	0.24	0.032	0.041	—	—	30~32	標準組織の炭素鋼 同 上
		0.69	0.72	0.15	0.050	0.053	—	—	38~42	

注：接触応力 ($\sigma = \text{kg/mm}^2$) ..... 50~90

{ すべり割合 (S = %) ..... 0 2 5.5 10 潤滑状態の組合せ記号は A₁ のように表わす。

{ すべり速度 ($v = \text{cm/s}$) 0 3 8 15

— 0.2% C 鋼 ————— 表面硬化鋼盛金部分 ————— 摩擦面

腐食：5%硝酸アルコール 倍率 $\times 30$

第1図 表面硬化鋼の盛金摩耗試験片

われる。しかし組織は焼入鋼のように密なので、この点からは普通高マンガン鋼との差異が表われ、耐摩耗性も期待できるように思われる。なお溶接棒製造業者のカタログには、セミオーステナイト組織と記されているようで、金属化合物の形状も針状のほかに粒状を呈するものもあり、それぞれがどのような効果があるかは、こんご調査してみないとわからない。

2.4 普通高マンガン鋼溶接棒の盛金摩耗試験片

これは 0.7% C 鋼を心にして、電弧を熱源にして溶接棒を 3 層盛上げ、その後外周を研削して所定の寸法に仕上げる。第 2 図はこの試験片の端面の心部から摩擦面までの、顕微鏡撮影による表面の組織を示したものである。

同写真によると明らかに高マンガン鋼独特のオーステナイト組織ではあるけれど、資料は熱の流れる方向の切断なので、全面にわたって溶接工法のみ認められる“樹枝状組織”と粒子の成長がみられ、これと直角な切断面は細かくて、鋳造の場合よりも結晶粒子は大小両極の状態が存在して、不ぞろいのように思われる。

かたさは H_s 29~33 程度なので、鋳出の場合と大差はないけれど、溶接棒からオーステナイト組織を得るために、化学成分は第 1 表記入のように鋳出のときと多少異なる。そして結晶粒度の差異は機械的な性質を変動させるから、耐摩耗性に対してもなんらかの影響をおよぼすものと推定される。

3. 試験経過の説明

3.1 試験方法の概要 第 1 表に記入したレールに相当する試験片を、下取付軸に付けて 850 rpm の定回転を与え、レールとタイヤの試験片の圧接は、コイルばねを荷重とする負荷装置があり、両者の接触応

力はヘルツ式で推算して、所望の値になるように荷重を調節する。そうして歯車の掛換え操作でタイヤに相当する上試験片取付軸の回転を早め、回転数の差で任意のすべりを与えることができる。

試験は第 1 表記入の範囲で、鋼材による 3 組合せ、1 組合せは接触応力とすべりの値によって 16 組合せ、総計でレールとタイヤ個々に 48 組合せができるので、それぞれの実験は任意接触回数ごとの摩耗量を化学てんびんなどで精測して、摩耗量と接触回数の関係を求め、この結果より試験片の摩擦面の単位面積から 10^5 回接触ごとに摩耗し去った重さ、すなわち比摩耗量 ($\text{g}/\text{cm}^2/10^5$) を算出して、鋼材の組合せごとに比摩耗量・接触応力・すべりの関係を立体図表に一括することができる。

第 3 図はかようにして得た乾燥状態下の試験結果を一括したもので、実験記号の左はレールまたは盛金した試験片を、右はタイヤを表わした一組で、相当接触条件のときの摩耗割合を対比することができる。

また潤滑状態の試験では試験機取付の歯車ポンプによって、#40 モータ油を毎日に数滴程度の滴下にとどめて過給油にならぬように調節した。既報⁽³⁾の炭素鋼どうしの組合せでは 10^6 回接触程度からまだら摩耗が始まり、接触回数の増加に従って試験片のまるさが失われて振動を発生し、接触条件に変動が生じるので中止限度を定めたけれども、今回の試験では後述のようにまだら摩耗は軽微だったのでその必要はなかった。

3.2 乾燥状態下における摩耗試験結果 a) 表面硬化鋼の試験結果 第 3 図の A_1/MU 1 組合せがこの試験結果で、表面硬化鋼自体の耐摩耗性は著しく良いけれど、相手の標準組織鋼の摩耗は多く、ちょうど焼入鋼と標準組織鋼を組合せた試験結果のデータと大差はない。

第 2 図 普通高マンガン鋼の盛金摩耗試験片

b) 普通高マンガン鋼の試験結果 第3図 A₁/MU2 組合せがこの試験結果で、接触条件と比摩耗量の関係、ことにかたさと比摩耗量の間には、既報⁽¹⁾のときと同様に、あまり一義的な関係があるとは認められない。

3.3 両盛金試験片の潤滑状態の結果 既報⁽⁸⁾の経験から表面硬化鋼、普通高マンガン鋼の組合せとも

に、まだら摩耗の発生から経過を知るに必要な接触条件の代表的な結果のみを第4図に一括した。

この結果から表面硬化鋼を盛った場合は、潤滑状態でも相手の摩耗を進めるようであるが、しかし普通高マンガン鋼では相手の鋼材が標準組織のままであっても、接触回数が 10^7 に達しても摩耗量は少なく、また

第3図 摩耗試験結果一覽

第4図 盛金試験片の潤滑状態下の試験結果の一例

たとえまだら摩耗を発生してもほとんど進行しない。

かように疲れ試験での繰返し耐久限度に相当する 10^7 の接触を繰返ししているの、この程度の接触応力値ならば、実用上から見ればまだら摩耗に対する耐摩耗性に関してはなんらの不安のないことがうなずける。

4. 試験結果の考察

以上の一連の試験経験から得た事実によって、表面硬化鋼の盛金による場合および本報の主題である“普通高マンガン鋼”の場合を主に、摩耗機構の内容を推考したい。

4.1 表面硬化鋼の乾燥・潤滑両状態の試験結果

第3図における乾燥状態の $A_1/MU1$ 組合せ、第4図の潤滑状態の $A_1/MU1$ 組合せの結果をみると、いずれの場合も表面硬化鋼のそれ自体の摩耗は少ないけれど、相手となる標準組織鋼の摩耗を進めていることである。

ことに潤滑状態の場合においては、潤滑下にありながら各掲載例ともに、標準組織のままのタイヤ試験片の摩擦面は、疲れた表層が順次削られてゆくのだろうか、まだら摩耗などを発生する暇なく微細な金属粉となって、潤滑油中に浮遊しているようである。すなわち、この表面硬化鋼の研摩きずがかなりの長い間残り、それがために相手の標準組織鋼のタイヤを削っているように見受けられる。

結局、この表面硬化鋼の顕微鏡組織において、組織中に広く分布する針状の微細な模様——含有されるモリブデン、クロムなどの金属化合物で、かたさの値は高いと推定される——などが、ちょうど植刃のカッタのようになって、乾燥・潤滑両状態の区別なく相手の鋼材を、機械的に削っているものと断ぜざるを得ないのであって、第3、4図の結果から推してかたさの値の相違、表面あらさなどが摩耗機構を大きく左右する因子と思われるので、新しい問題として別に追及してゆくのがよいと考える。

ゆえに金属どうしの摩耗を調べるに当たっては、かたさの値や組織上の名称などが焼入鋼のそれと同一であっても、かような事実をみるとさらに化学成分、ことに特殊鋼を特徴付ける“特殊元素”の有無に注意を払わないと、この例のように母材とは全く物理性の異なった溶着金属となり、摩耗を起す機構も異なってくるので注意する必要があると思う。

筆者が既報⁽²⁾において、単に高マンガン鋼製品の盛金補修用の溶接棒を使い“溶着金属の耐摩耗性は良好である”と断じたのも、当時としては高マンガン鋼の耐摩耗・耐衝撃性があるという先入観にとらわれ、ま

たかような複雑な金属学上の変化の過程を知らなかったからで、この点は本報の発表を機会に反省したい。

4.2 普通高マンガン鋼の乾燥状態の試験結果

第3図の $A_1/MU2$ 組合せの試験結果における接触条件と比摩耗量の関係は、筆者の既に発表した鑄出高マンガン鋼の試験結果⁽¹⁾⁽⁴⁾に比べると、図表が乱れてあまり一義的な関係の認められないことである。

すなわち、高マンガン鋼の摩耗試験片を作るに際し、1個1個を鑄出して鑄はだの切削量の少ないときは、かなりの摩耗量が認められ⁽⁴⁾、太い鑄造物の心部から削った試験片の摩耗量は前者の1/2程度であることを報告⁽¹⁾した。この2報告はいずれも、接触条件と比摩耗量の間にはかなりまとまった立体図表が得られた。しかし本報の結果は、前記の試験結果⁽⁴⁾が摩耗量の多い上限値とすれば、後記の試験結果⁽¹⁾は摩耗量の少ない下限値とみなし、その範囲内に不規則な立体図表になっている。ゆえに本報の試験で得た立体図表は、既報の2結果の上下両極の範囲内に値をとった不規則な立体図表であるといいたい。したがって、実際に盛金を応用した場合の摩耗防止効果は、施工技量のいかんによって最高と最低で、倍程度の差異の表われることが推定される。

かように摩耗量の差異の表われた原因と推定されることには既報⁽¹⁾の試験片は鑄造物の心から作ったために、結晶の粒子は熱的にも化学的にも最も完全に近い状態にあると推定されるに対し、既報⁽⁴⁾の試験片は1個1個を鑄出したために、仕上の際の鑄はだの切削量が少なく、偏析や脱炭層を十分に除去できず、結果として化学成分の不安定や冷却速度の相違による異状組織がかような結果を招いたものと思われる。

盛金による溶着金属は、鑄造のときなどに比べて熱の影響が複雑であるから結晶粒子の粒度を一定に保ち難く、また盛金の際の諸条件が結晶の生成や成長に対してかなりの範囲で変化する可能性があるから、でき上がった結晶粒子も一様でなく、結果として一義的な関係の見出し得ない立体図表になったものと推定されるけれど、完全なオーステナイト組織にするためにMnを17%含有させたことが、偶然かような結果になったことも否定できない。しかし概して鑄出高マンガン鋼より耐摩耗性があるので、こんごさらにこれらについて調べる必要はある。

4.3 普通高マンガン鋼の潤滑状態の試験結果

第4図中の $A_1/MU2$ 組合せと、既報⁽⁴⁾の鑄出した高マンガン鋼の潤滑状態の試験結果を比べると、まだら摩耗の発生・経過に関しては、盛金した場合のほうの耐摩耗性のすぐれていることがわかる。

高マンガン鋼が潤滑下で塑性領域の接触を繰返すとき、焼入鋼のように非常によい耐摩耗性を呈するのは、高マンガン鋼独特の加工硬化層が発生するためであることが、既報⁽⁸⁾でわかったので、そのときに用いたと同様の方法で、試験片の摩擦面を円柱の中心線と平行な平面で切断し、摩擦面から内部への組織写真をとり、これを第5図に示した。

検鏡に供した資料は、接触応力 $\approx 70 \text{ kg/mm}^2$ 、すべり率 $= 10\%$ 、接触回数 $= 10^7$ の潤滑下の摩耗試験を終了したもので、第5図(a)は摩擦面の側を主とし、第5図(b)は内部層を示したもので、ともに内容に関したいくらかの説明を加えて一連の図に構成したものである。

まず第5図(b)とその付加説明において、この図は第2図に示した組織写真と直角な切断面、すなわち樹枝状組織の成長方向と直角に切断しているわけで、付加説明図と対象すればわかるように、高マンガン鋼独特のオーステナイト粒度は鑄造の場合と変わらない。しかし林を根本から伐採すれば木の切株が地表に残るように、この写真にも樹枝状組織の成長の際に幹となったと推定される部分が、組織写真全体にはん点となって表われ、一種独特の模様を描いているのは興味深い。

換言すると、普通高マンガン鋼を盛金したときは、本報の第2図のような組織と第5図(b)のような同一のものとは思えぬ組織が存在するわけで、かように方向によって組織にはなほだしい差異を生ずるときは、機械的性質になんらかの影響があるものとして、いちおう心に留めておくべき事実だと思われる。

次に絶大な摩耗防止効果を発揮している原因になった加工硬化層の組織写真の第5図(a)を検討すると、

次のような既報⁽⁸⁾と異なる新事実が見出される。すなわち、第一次・第二次の加工硬化層の区別がつけ難く、見掛けのスリップバンドが非常に細く、その走りぐあいも樹枝状組織の幹の水平切断に相応するはん点には無関係のようで、結果的には既報⁽⁸⁾の鑄出高マンガン鋼のオーステナイト組織のときと、差異はないと判断してさしつかえないと思う。

ただかように鑄出普通高マンガン鋼と差異を生じた原因として、マンガン含有量が特に高いことからマルテンサイトが特に少なくなり、また盛付けに際しては電弧を熱源にしているので盛金独特のオーステナイト組織が得られたので、その工法のためにも結晶内にもなんらかの残留応力が考えられるけれど、潤滑状態の場合も鑄出普通高マンガン鋼のように、いちおう加工硬化層が形成されて、耐摩耗性を発揮する機構は同一であると思われる。

4.4 母材に対する溶接棒の選定の要点 以上の2例から盛金の使用目的はまったく同一であっても、母材と化学成分が変わり、顕微鏡組織などが異なってくると、摩耗機構なども変わってくるので、こんごの主題としてはオーステナイト系溶着金属の潤滑状態下において塑性領域の圧接の問題のみに限定するのがよいと思われる。

ゆえに、ある製品の損傷部分を盛金で補修しようと思えば、原則として母材と同一の溶着金属を得ることを目標としても、圧延や鑄造などの一般工法の場合は、いちおう化学成分さえ明確にしておけば、たいていは標準組織が得られるけれど、溶接工法の場合はこれらの関連が非常に複雑なので、個々の場合について注意するとともに、施工技量の向上に待つことが非常

第5図 試験終了後の試験片の顕微鏡写真

に大きい。よって母材に対する溶接棒の選定に当たっては、化学成分の重要なことはいうまでもないが、組織は溶接の行ない方(運棒のやり方、層の重ね方、電流の選定など)や本報の第2図、第5図(b)のように、溶着金属の切断方向によって変ることさえあるので、相互の関係を常に監視しながら実施して行かなければ理想的な溶着金属を得られないように思われる。

5. 結 論

本報で得た結果を要約すると下記のとおりである。

1) 盛金に使う溶接棒は、母材と全く同一性質の溶着金属を得ることが望ましい。

2) 所望の溶着金属を得るためには、化学成分・顕微鏡組織などの多方面の検討を行ない、常に溶着金属のでき栄えを監視する必要がある。

3) 盛金金属でも化学成分・顕微鏡組織が鋳造の場合と酷似しておれば、摩耗のすすみぐあいも同一であると推定され、一様な組織の溶着金属を得るように溶接技術などを検討する必要がある。

4) 潤滑下においては、盛金高マンガン鋼のほうが、鋳出高マンガン鋼の場合のほうがより耐摩耗性はすぐれているようである。

筆をおくに当り、困難な摩耗試験片の製作を担当していただいた大阪市交通局軌道工作所、ブルドーザ工事会社の担当者各位、顕微鏡写真の撮影と検討に多大の御援助をいただいた、特殊電極会社研究所の福家博士、林課長、沖田係長に対し深謝する次第である。

なお、本論文提出後も溶着金属による Mn-Cr, Mn-Ni, Mn-Mo などの摩耗試験をすすめていたが、オーステナイト組織の明確に表われた Mn-Ni, Mn-Mo などは、乾燥状態においては鋳出高マンガン鋼と同様の結果を得たので、こんごはオーステナイトの系列を追う確信を得たことを追記しておく。

文 献

- (1) 八木, 機械学会論文集, 27-173 (昭 36-1), 61.
- (2) 八木, 材料試験, 8-58 (昭 33-7), 356.
- (3) 八木, 機械学会論文集, 28-191 (昭 37-7), 848.
- (4) 八木, 材料試験, 8-68 (昭 34-5), 423.

討

論

〔質問〕 (1) かたさと摩耗の間には関係がないというが、高マンガン鋼の耐摩耗性は加工硬化によって発揮されるので、加工硬化度と摩耗との関係を追究すべきである。

(2) 加工硬化は静的負荷よりも衝撃力によるほうが大であろう。アムスラー摩耗試験機による摩耗試験結果は、大きな衝撃を受ける転てつ器の摩耗に直接応用できるであろうか。衝撃力のかかるような摩耗試験のほうが望ましいのではないか。

(3) アムスラー摩耗試験における試験片のフロー(流かい)はどう処置されたか、重量減で摩耗量を測定するならばフローしたものは摩耗に影響しない結果となって現われるはずである。しかるに転てつ器の摩耗はフローによる変形が大きく影響している。この間の関連をどう結びつけるか。

(4) 摩耗試験中の発熱は高マンガン鋼の組織やかたさに大きな影響を与える。この発熱をどお処理し、調節したか。

(5) 転てつ器には盛金後水じん処理を施しにくい。が、供試片は共金盛金るとき水じん処理を行なったのであるか。水じん処理を行なわないときには摩耗試験結果はどう変るであろうか。(大和久重雄)

〔回答〕 (1) かたさと摩耗が無関係というのは筆者の今までのデータと他の研究者の結果からいって

いるので、今の筆者としては従来からいわれているこのかたさと摩耗の関係を、なんとかして実験から探りたいと思うくらいである。耐摩耗性と加工硬化性は第39期全国大会講演会の筆者の報告で、端緒はつかめたように思うが、今後は潤滑下(他にかようなデータがあったらどうか)も含み、また乾燥状態下も調べて、摩耗と加工硬化性とは追究中である。続報をお持ち願う。

(2) 一般に「転動接触」は静的荷重と考えられているが「衝撃荷重」の特別な場合ではないか。この点もっと具体的な条件、たとえば「見掛けの接触応力値」「荷重の作用時間」などをはっきり定義してほしいのであって、現在では転動とか衝撃というのは「かん」にたより過ぎると思う。もちろん実際への関連は「てっさ」の場合はできないだろうが、「トンダレール」の場合はすべりを伴うから当てはまる。事実すべりに弱いから現在は鉄道ではトンダレールに高マンガン鋼はないはずである。しかしいづれにしても試験と実際の関係は、開拓の段階ではないか。

(3) フローの問題は筆者の試験機では実用的に気になるほど極端なものはないので、今の段階では別に測定の誤差をおよぼしているとは考えられない。実際のフローで困るのは「てっさ」のノーズ部分のことをさしていると思うが、これは明らかに「打撃」によるもので当方の試験では関係づけられない。しかし前述の

ように「すべり摩耗」に弱いことからトングレールには使えなかったことで、すでに実用との関係は十分に思う。ただし今の「打撃」による変形は別に考えるべきではないか。

(4) 発熱は触手で耐えられなくなれば(約50°~55°C)中止して、冷却を待った。乾燥状態では摩耗粉が砂じんのように出るので、試験をながくつづけることはできなかった。実際では質量が大きいし、また車輪は連続して当らないから、この点は別にさしつかえないと思っている。

(5) 溶着金属の摩耗試験片はいずれも水じんしてない。そのために高マンガン鋼に相当するものは、溶着のままでオーステナイト組織を得るように Mn=17%のような化学成分のものを調製してもらったわけである。Mn=13%のままではどうもオーステナイト組織がはっきり出ないので、「組織」を重くみて上記のようにしたわけである。質問のように溶着金属が水じんのような処理のできないときは、溶着金属のままで最初製品であったときと同様の金属であることが望ましいと思う。そのように溶着金属を選定しているつもりである。お気付のときはご教示下さい。

〔質問〕 第1表供試鋼材の一覧表に示されている化学成分は盛金そのものについて分析された値か、または特殊元素を加えない溶接棒の値か。

(高木 乙 鷹)

〔回答〕 第1表記入の溶着金属の化学分析は、すべて溶着金属を分析してもらったものである。ご承知のように溶着金属はベースメタルと溶け合うために、2層めまでは完全に使えず、最外層は大気中にあるために酸化しやすいので、このことを考えながら摩耗試験片を作り、また化学分析もしてもらう。したがって

試験に供したときの試験片の摩擦面が、分析表のとおりであるかどうかは断言できないが、これはいつの場合でも共通のことと思う。また溶接棒そのものは、心線と被覆剤とが組合わされ、盛金作業後に溶着金属ができるので、一般の溶接棒メーカーのカタログ記載事項はどこまでも溶着金属本位に記入されるのが普通と思う。

〔質問〕 表面硬化鋼とタイヤの組合せの摩耗に対し金属酸化物と推定される物質により機械的に削る摩耗が存在するように述べられているが、針状の模様はマルテンサイトやペーナイトとどのように違っているか、できたら顕微鏡組織を見せていただきたい。また試験片の表面あらさが摩耗に影響すると思うがどの程度のあらさか。

(葉山 房夫)

〔回答〕 質問事項を次の2項目に絞ると、

(1) 組織の本質論になると正直なところ専門が違うので持論でないことをお許し願う。付図1の写真でわかるように、全容は焼入鋼とは明らかに違っている。その中で黒くなった部分は Mo, Cr などによる化合物で、ここは明らかなマルテンサイトのようである。白いところはどうなっているのかわからないが、かたさの値その他から考えてこの溶着金属の組織はマルテンサイトとみなせる。そして同一方向に延びていると思われる樹状模様を一つの区切りに見立てると、高 Mn 鋼のようなオーステナイト粒界のように見られるわけで、ここからセミオーステナイトという術語ができたのではないかと考えているが、この系統の溶接棒を市販しているのは現在一社だけなので細かい比較データを他に求められないので、この点なんらかの示唆がいただければありがたい。

(2) 筆者の使っている試験片の仕上面は▽▽程度

腐食液: ピクリン酸 5% アルコール溶液

倍率 ×480

(いずれも本文第1図資料の再撮影)

付 図 1

であるが、接触応力を 50kg/mm^2 以上にとっている
ので、今までの炭素鋼の場合は条こんがくずれて、あ
まり気にも止めていなかった。しかし今回のようなセ
ミオーステナイトのような新顔を使うと、初めてその
ようなことを気付いたわけで、まだ具体的な数値はも
っていない。一般にあらさの影響は接触応力の低いと
きは影響も大きいので神経を使うのも当然だが、筆者
の場合は今までが上記のような状態であったので無関
心であったことは否めない。もちろんこのデータは高
Mn 鋼を主にし、偶然に表面硬化鋼が比較のために試
験したので、こんご本質的な試験を続けるかは決めて
いない。

【質問】 (1) 盛金試験片の摩耗特性について
は、そのばらつき、再現性などについて厳重な注意を
要すると思うが、本実験の場合ばらつきや再現性はど
うか。

(2) 第1表中の盛金試験片のかたさはどこを測定
したものか。盛金部分全体が心部まで一様なかたさにな
っているか。盛金部分の厚さはどのくらいか。また
残留応力はどのくらいか。

(3) 第1図の倍率はいくらか。また1385ページの
右欄11行めに「各細粒はマルテンサイトと推定される
模様が見られたので……」とあるが、重要な事項なの
で明示してほしい。また表面硬化用鋼の盛金が非常
にかたい理由については、以上のようなマルテンサイト
によるものか、それともかたい金属化合物の存在によ
るものかをできれば明示してほしい……このことは摩
耗機構の考察に重要な影響があるので。なお加工硬化
性については、この場合は問題にならないと思われ、
表面硬化用鋼の盛金のオーステナイト組織が高マン
ガン鋼のオーステナイト組織と類似の特性を示すか、そ
れとも全く違った特性を示すかは、上記のようなかた
い材料ではそう重要でないと思われる。したがって組
織の検討も重点をオーステナイト組織でなく、上述の
かたさの問題に絞るべきだと思う。以上の観点でどの
ようなかたさの物質がどのような存在のしかたをして
いるかを示すことを希望する。

(4) 第2図の倍率を示せ。

(5) 第3図の乾燥摩耗および第4図の潤滑摩耗
で、表面硬化用鋼の盛金の場合、相手のタイヤ鋼の摩
耗がすべり率の増大とともに著しく増すのはどうい
う理由によるのか(比較的低い接触圧力のもとでもめ
いように認められる)。すべりを伴うところが摩擦の場
合、すべり速度が $3\sim 15\text{cm/s}$ 程度の範囲内でしか変
化していないにもかかわらず、wear rate がこのよ
うに著しく変り、しかも乾燥摩耗と潤滑摩耗とでその傾

向が同じであることは、どのように説明したらよい
か。その摩耗機構が切削的な摩耗であるとするならば
(接触2面のかたさの差から見てその公算が大きい)、
単位切削距離当りの切削量が削り速度のわずかな差に
よって著しく変化することはうなずけない。結果は同
じに見えても乾燥と潤滑では摩耗機構が違うのではな
いか。すべり率と摩擦面温度ならびにタイヤ鋼の加工
硬化の関係および試験前後の両試片の表面あらさなど
示してほしい。

(6) 問題のポイントは特殊元素含有の有無など
でなく、物理的・機械的性質の詳細な追究にあると思
う。

(赤岡 純)

【回答】 (1) 論文前刷中に落した写真の倍率・
腐食液などを追記させていただく。いずれもだいたい
 $48\sim 60$ 倍程度でなるべく全容を知るために低くと
つてある。

(2) 盛金によって摩耗試験片を作るには、筆者の
場合は心を 18mm 程度として3層めからだいたい所
望の溶着金属(最外層は酸化などするので使えない)
になるので、信用できる厚さは、摩擦面から $2\sim 3\text{mm}$
の範囲と思い、そのつもりで試験している。したが
ってかたさは円柱面を測る要領で“摩擦面”のかたさで、
残留応力などの測定は今のところ当方の手におえない
(盛金高マンガン鋼のスリップバンドの細い理由を知
る手掛かりと思うが……)。正直に言って盛金試験片
をつくること自体が、現在の溶接工学の大きな課題な
のではないか。再現性は検討していないが、図のよう
に一連の条件変化で例外的な点のない限りはよいと思
っている。

(3) 質問の(3)、(5)、(6)項は表面硬化鋼の
問題として一括させていただく。

(a) 一般性：この鋼材は高マンガン鋼がすべりに
案外弱いところから、某社で多少衝撃抵抗は低いけれ
ど、耐摩性をねらって発売しているもので、結果的に
みて高マンガン鋼本体からはずれてしまったのもやむ
を得ないと思う。ただ化学組成・組織などがちがった
場合、結果が著しく異なる実例として価値があると思
っている。

(b) 組織について：質問の(3)が主題で、第1図
の黒い細粒は拡大すると針状化合物(窒化物?)は明
らかで、白いところは何か不明である。 $400\sim 500$ の
高倍率写真は論文前刷には掲載していないので討論欄
の付図に追加することとする。この場合の摩耗機構はオ
ーステナイト組織というより、示唆の物質がどのよう
な影響を与えているかを知るのが主で、ここに高マン
ガン鋼と区別する必要があると思う。

(c) あらさについて：あらさが試験結果にこれほどきいてきたのは筆者としては初めてで、そのために表面あらさや温度測定などの測定は本報の試験で行っていない。そしてもしこの鋼材の摩耗機構を詳細に追うか、また同じ盛金でも Mn 鋼のみならず MnCr, Mn-Ni, Mn-Mo などのように、オーステナイト組織を呈するものの系列を追う場合の二方向が考えられるが、かような特例が出るとなれば測定装置も考える必要があると思う。御注意は感謝いたします。筆者としては本題の主目標は高マンガン鋼とし、その途中で上記のような“特殊金属”も出たけれど、すじとしてはオーステナイト系列を追うのが自然と考える。

(d) 特殊元素について：これを含有することによって上述のように化合物を作り、その配列？＝組織？によって摩耗機構が種々生じてくるのではないか。金属物理・金属化学の本質に触れるようで、またそれら特殊元素の配合割合もまだ外にあるから、総合的な外見を知るのも必要と思う。

〔質問〕 高マンガン鋼の摩耗に関し、接触応力、すべり％の影響などを詳細に実験され貴重なデータを提供されているが、接触圧力、試験速度の影響も大きいと考えられるので、それらについても明らかにしてもらいたい。乾燥状態の高マンガン鋼の摩耗が、太物 casting 材の外周部と心部の耐摩耗性の間にあることは興味ある事実と思われるが、その原因が、溶接組織および化学成分が太物 casting 材の内外の化学成分、組織、その他の条件の最良最悪条件をとるためとはいきれるであろうか。たとえば、化学成分でいえばこの溶接部の Mn は 17％もあり、一般高マンガン鋼の Mn の上限 14％をはるかに上まわっている。化学成分、組織その他の総合的条件から、たまたま以上のような結果が得られたもので、それを太物普通 casting 材の内外のデータに結びつけることに無理があるのではなかろうか。次に表面硬化鋼に関し、業者のカタログにセミオーステナイト組織と記されているとの記述があるが、これは溶着鋼の化学成分を見ても、かたさ (H_s 78～81) を見てもセミオーステナイトというのは適当でなく、多少のオーステナイトの存在は否めないが、むしろ

マルテンサイト組織と称すべきと思われる。また組織中の針状の微細な模様を Mo, Cr などの酸化物と推定されているが、写真ではわからないがこれらの硫化物が針状に出るとは考えられないので、おそらく窒化物ではないかと思う。(錦織清治)

〔回答〕 質問事項を次の 3 項目に絞って回答させていただきます。

(1) 今回のデータの試験条件は図に記入してあるように、接触応力 = 50～90 kg/mm² の範囲(これは試験室も実際もヘルツ式から計算した比較上の数値である)。すべり％は 10％≒15 cm/s で 0％は転動のみの状態を表わす。上記の σ = 50～90 kg/mm², S = 0～10％内の室内試験である。

(2) 本件で Mn = 17％にしたのは、溶着のままではめいりょうなオーステナイト組織のであることを目的に特に調製してもらったことをまず断わっておく。Mn = 13％のデボは組織がくずれやすいのである。組織を重視しているのは casting 高 Mn も水じんによってオーステナイト組織がでるのであって、筆者の場合は化学成分よりも“組織”を重点においたわけである。そして組織の粒度が摩耗には影響することがわかっている。盛金の際は casting の場合より粒子がそろい難く、また化学成分も摩擦面全体にわたってそろい難いと思われるので、記述のような推論をくだしたわけである。なお心削りの casting 試験片は数年前に御社で御世話になったもので、この試験結果はすでに印刷になっており、またこれらに関し参考になる事項がありましたら、こんご指摘下されたい。

(3) 組織の本質論になると専門が違うので正直なところは持論はない。ただこの場合、かたさは確かにマルテンサイト組織級であるが、オーステナイトの存在も否定できないし、Mo, Cr などから析出される化合物も無視できないので、いちおう記述のようにしたわけである。御注意のほどは感謝いたします。今回は高 Mn 系統を主にしているので、そのうちにかような特殊な溶着金属についても実験はすすめて行きたいと思っているので、その際には詳細に検討しなければならないと思っている。