

銅を溶侵した焼結鋼の摩耗特性

林 忠夫*・大島 聰範**・桑原 克典***

Wear Resistance of Copper Infiltrated-Sintered Steels

Tadao HAYASHI, Toshinori OHSHIMA and Katsunori KUWAHARA

Abstract

The wear resistance of the powder sintered steel of having infiltrated the copper which melted after sintering has been investigated. The copper infiltrated-sintered steels set up some densities of the as-sintered material (i.e., base material), and was created. In the sintered steel whose defect was completely lost by copper infiltration, the abrasion loss decreases with the decrease in density of a base material (i.e., the increase in amount of infiltrated). The abrasion loss was changed by surface plastic processing, and use of the wear test partner material from which surface hardness differs. Formation of the oxide film in the friction surface decreased abrasion loss remarkably.

1. はじめに

粉末冶金技術の進展とともに、焼結機械部品の応用分野、製造量は年々増加している。しかし、その焼結体密度を素材の真密度に到達させることは依然として困難であり、焼結体には無数の気孔が存在する。気孔は機械的性質を低下させる要因となる。例えば焼結鋼では、銅または銅を主とする合金を気孔内に浸透させて、気孔欠陥を充填させる溶浸法が行われている。

著者らは、焼結鋼に銅を溶侵して粒子間の空隙を充填することにより、引張り特性および疲労特性は大幅に向上し、基材密度の差による相違はほとんど無くなることを既に報告した¹⁾²⁾。一般に、金属同士の摩耗においては、異種金属同士の方が同種金属同士よりも摩耗特性が良好であることが認められている³⁾。このことから推測すると銅を溶浸した焼結鋼では、銅が異種金属材料として作用し潤滑効果が発現することで耐摩耗性の向上が期待できる。

そこで本報では銅溶浸した焼結鋼の摩耗特性に及ぼす溶浸銅量、塑性加工(鍛造)および表面酸化膜の生成の影響について検討を行った。

2. 供試材および実験方法

供試材は日立粉末冶金(株)から提供されたFe-0.4%C系(以下、14EPC)およびFe-0.8%C系(以下、18EPC)の焼結鋼で、銅溶浸率(0%, 100%), 基材密度、塑性加工(鍛造比: 4)の有無が異なる種々の試料を用いた。その種類を表1(a), (b)に示す。

摩耗試験は固体材料をある条件の下で摩擦させて、摩耗状態や摩耗量を調べるものであり、本実験では一般的な摩耗のし易さを調べる一種の材料試験として行った。摩耗に影響する因子は、摩擦面の形状、繰返し摩擦の有無、摩擦速度、荷重、距離および潤滑剤の有無等きわめて多いと言われている⁴⁾。

そこで、これらの要因の影響が少ない摩耗試験として、乾式で円筒(丸棒)外周面と小試験片を一方方向のすべり摩擦する(a)ブロック/回転円筒

表1 供試材の種類

(a) 14EPC			(b) 18EPC			
14EPC	溶浸率(%)	基材密度 (Mg/m ³)	18EPC	溶浸率(%)	塑性加工	
1	0	5.9	1	0	無	
2	100		2	100		
3	0	6.5	3	0	有	
4	100		4	100		
5	0	7.0	基材密度6.7(Mg/m ³)			
6	100					

* 技術専門職員 技術室(機械実習工場)

** 名誉教授 苫小牧工業高等専門学校

*** 技術職員 技術室(機械工学科)

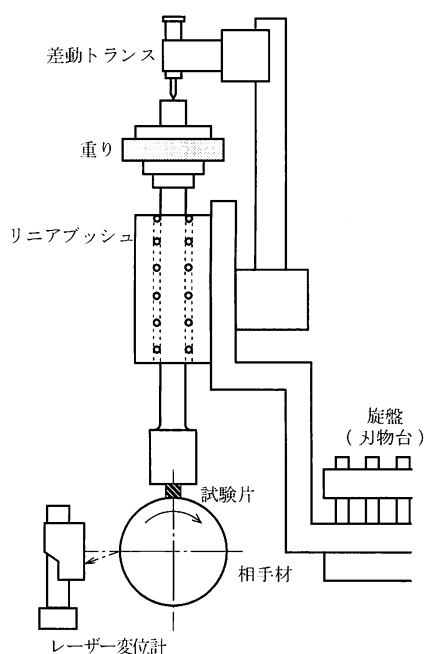


図1 摩耗試験装置「ブロック／回転円筒」形式の概略図

形式と回転円盤面とで摩擦する(b)ブロック／回転円盤形式の二形式で行った⁵⁾。(a)は旋盤を使用して回転する円筒に、(b)はモーターで回転している円盤に、試験片を所定の荷重で押付け、大気中・無潤滑状態で摩擦距離(時間)に対する摩耗量を測定して評価した。なお、摩耗量は差動トランスとレーザー変位計で検出した。摩耗試験装置(a)「ブロック／回転円筒」形式の概略図を図1に示す。摩耗試験片の寸法は $5.0 \times 10.0 \times 27.0$ mmである。その摩擦面は試験片と相手材との密着性のため、R10またはR20の鞍型に加工し、両密着面はエメリー紙150番で研磨して粗さを一定にした。なお、(b)「ブロック／回転円盤」形式の摩耗試験装置および測定方法は別報⁶⁾に記してある通りである。摩耗面の表面観察は走査型電子顕微鏡(SEM)で行った。

3. 実験結果および考察

3.1 「ブロック／回転円筒」形式 その1

3.1.1 基材密度による摩耗特性

試験片：14EPC(基材密度5.9, 6.5, 7.0Mg/m³)

相手材：炭素鋼(S45C)・・・焼鈍(表面硬さHV165), ϕ 20mm

試験荷重：1.0kgf

摩擦速度：0.47m/s

図2に未溶浸材(0%)と銅溶浸材(100%)における時間の経過に対する摩耗量の変化、すなわち摩擦距離 l と摩耗量 w との関係を示す。基材密度5.9, 6.5, 7.0Mg/m³において銅溶浸材は、未溶浸材と比べ変化の割合が小さく摩耗量が著しく少ない。このことは銅を溶浸することが焼結鋼の耐摩耗性の向上に効果的であることを示している。また、基材密度5.9Mg/m³の未溶浸材の摩耗量が極めて大きい。

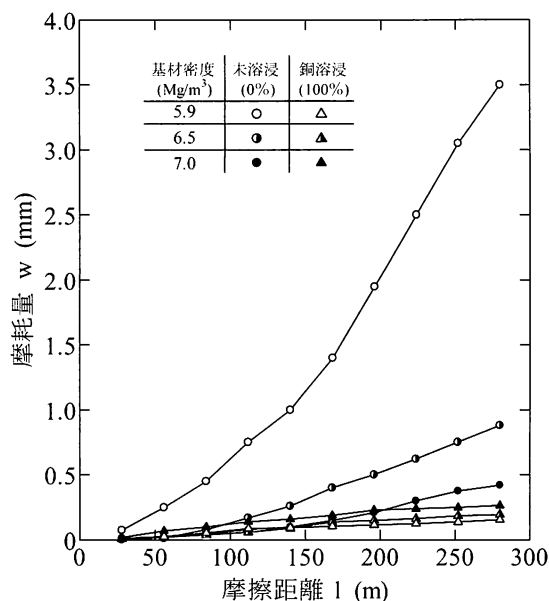


図2 未溶浸材および銅溶浸材における摩擦距離と摩耗量との関係

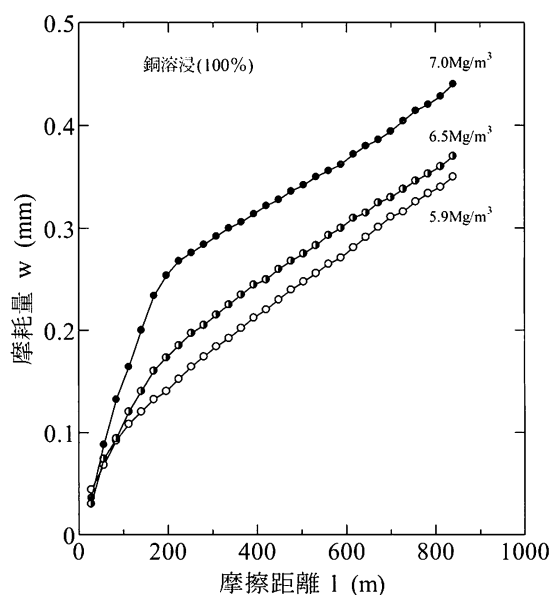


図3 銅溶浸材における基材密度の違いによる摩擦距離と摩耗量との関係

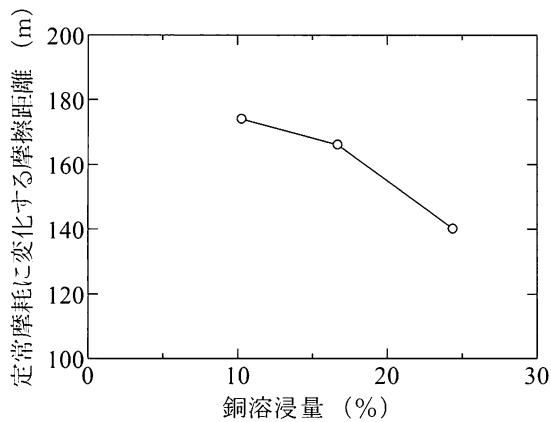


図4 銅溶浸量と定常摩耗に変化するまでの摩擦距離との関係

図3に銅溶浸率100%における基材密度の違いによる摩擦距離 l と摩耗量 w との関係を示す。基材密度が5.9, 6.5, 7.0Mg/m³と高くなるにつれて定常摩耗に入るのが遅くなる。このことをより明らかにするために、銅溶浸量と定常摩耗に変化するまでの摩擦距離との関係を図4に示す。ここで基材密度5.9, 6.5, 7.0Mg/m³に対する銅溶浸量は各々10.3, 16.7, 24.4%に相当する。銅の溶浸量が多くなるほど早く定常摩耗に入る。密度が低いものほど摩耗量は減少し、耐摩耗性が向上するものといえる。密度の低いもの、すなわち銅量の多いものほど摩耗量は少なくなった。これは摩耗面におけるCu-Fe混合相によって、初期シビア摩耗から定常マイルド摩耗への遷移が生じやすくなることによるものと考えられる。

3. 1. 2 相手材の硬さおよび塑性加工の有無による摩耗特性

試験片：18EPC(基材密度6.7Mg/m³)・・・塑性加工(有り・無し)

相手材：炭素鋼(S45C)・・・焼鈍, 200℃, 600℃
焼戻し(表面硬さHV165, 540, 270),
φ 20mm

試験荷重：1.5kgf

摩擦速度：0.47m/s

図5に焼鈍材における摩擦距離 l と摩耗量 w との関係を示す。未溶浸(0%)と銅溶浸率100%との比較で、未溶浸の塑性加工材の摩耗量が極めて大きい。一方、銅溶浸材は摩耗量が少ない。未溶浸材の気孔欠陥を圧着(塑性加工)すると、耐摩耗性が低下する。

図6に相手材200℃焼戻し材における摩擦距離 l と摩耗量 w との関係を示す。各試験片とも摩耗量は摩擦距離800mで銅溶浸材が約0.05mm, 未溶浸材が約0.13mmと非常に小さい値である。また、銅溶浸材は塑性加工の有無に関わらず摩耗量が少ない。

図7に相手材600℃焼戻し材における摩擦距離 l と摩耗量 w との関係を示す。未溶浸材(0%)は銅溶浸材(100%)に比べ摩耗量が非常に多いが、塑性加工により若干減少する。

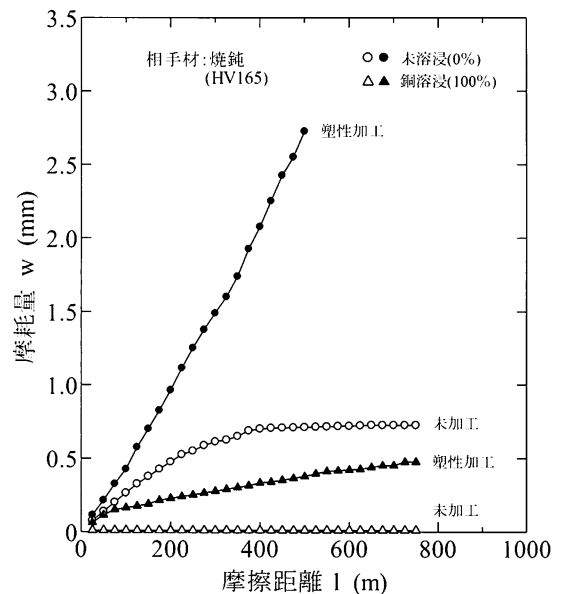


図5 焼鈍材における摩擦距離と摩耗量との関係

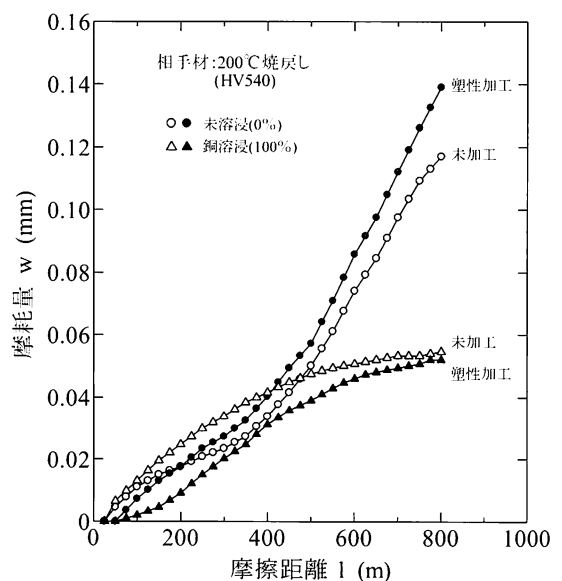


図6 200℃焼戻し材における摩擦距離と摩耗量との関係

図8に相手材の表面硬さの違いによる摩擦距離1と摩耗量wとの関係を示す。試験片は未溶浸の塑性加工材である。特に200℃焼戻し材の摩耗量が少なく、相手材の表面硬さの相違によって摩耗量が影響することを示している。焼鈍材と600℃焼戻し材はほぼ同じ傾向である。

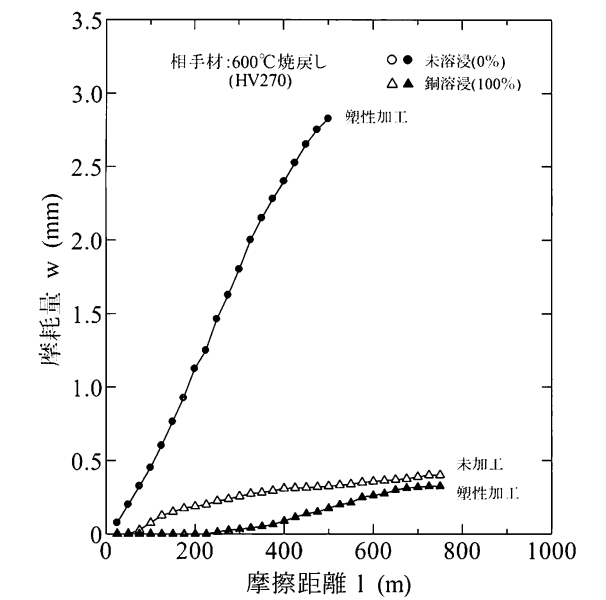


図7 600℃焼戻し材における摩擦距離と摩耗量との関係

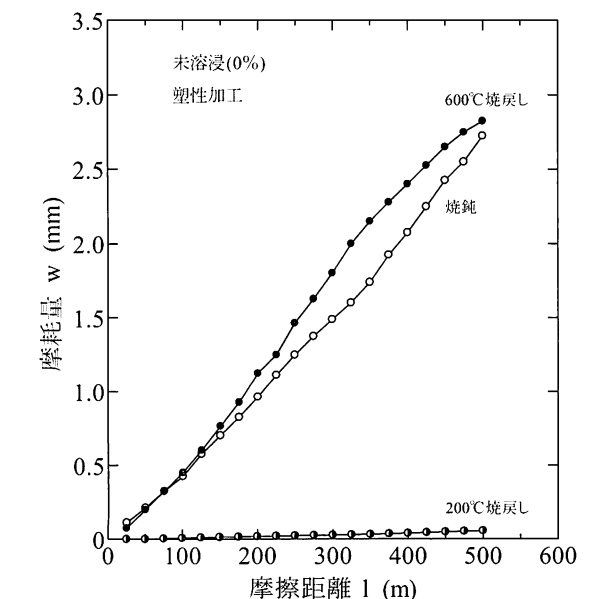


図8 相手材による摩擦距離と摩耗量との関係

3.2 「ブロック／回転円筒」形式 その2
(改良型摩耗試験装置)

試験片：14EPC(基材密度5.9, 6.5, 7.0Mg/m³)
相手材：軸受鋼(SUJ2)・・・高周波焼入れ(表面硬さHV850), φ40mm
試験荷重：0.5kgf
摩擦速度：0.47m/s

3.2.1 基材密度による摩耗特性

図9に溶浸率0% (未溶浸) および銅溶浸率100%における摩擦距離1と摩耗量wとの関係を示す。未溶浸材の基材密度5.9, 6.5, 7.0Mg/m³において、密度の低いものほど摩耗量が多くなる。銅溶浸材では銅量の多いものほど摩耗量が少なくなる。このことは先の3.1「ブロック／回転円筒」形式その1の図2と同様の傾向を示している。

次に、摩耗面に付着している表面酸化膜の影響について調べた。図10に未溶浸材および図11に銅溶浸材の酸化膜の発生の有無における、摩擦距離1と摩耗量wとの関係を示す。未溶浸材、銅溶浸材ともに酸化膜が発生すると摩耗量が極端に少なくなる。摩耗面に生成する酸化膜が摩耗特性に多大な影響を及ぼしているといえる。また、未溶浸材は基材密度が低い(5.9Mg/m³)のものほど摩耗量が多く、銅溶浸材では摩耗量が少なくなる。

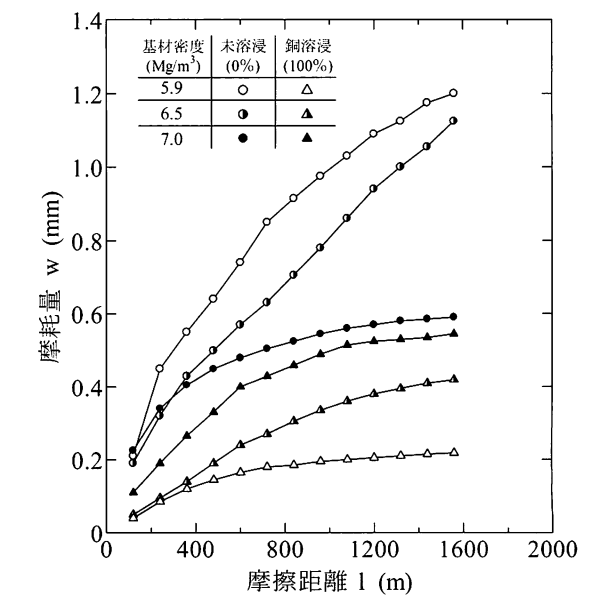


図9 未溶浸材および銅溶浸材における摩擦距離と摩耗量との関係

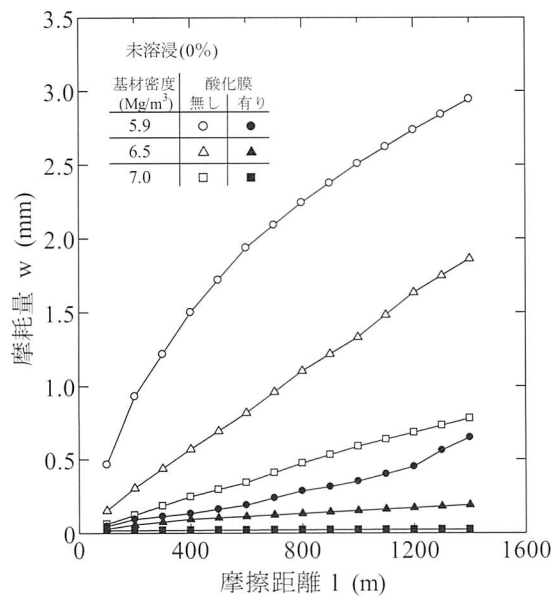


図10 未溶浸材における摩擦距離と摩耗量との関係

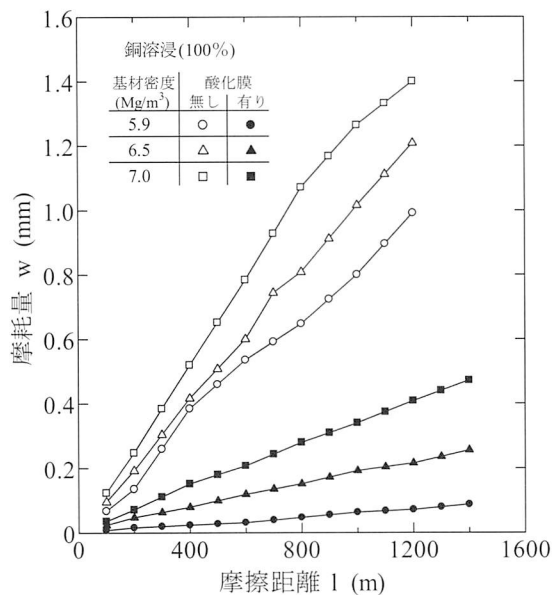
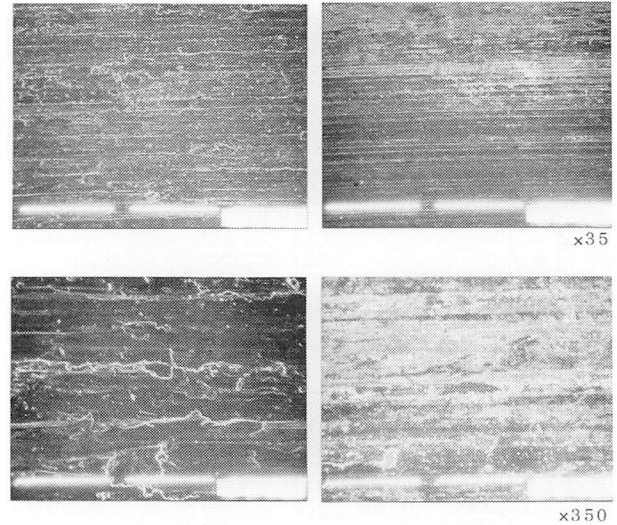


図11 銅溶浸材における摩擦距離と摩耗量との関係

3.2.2 摩耗面の表面観察

図12に基材密度 6.5Mg/m^3 、銅溶浸材(100%)の走査型電子顕微鏡(SEM)による摩耗面の表面写真を示す。(a)は酸化膜無し、(b)は酸化膜有りである。酸化膜有りの試験片の表面が平滑になっている。それに対して酸化膜無しでは表面が剥離している状態である。この酸化膜が摩耗面を保護して摩耗量を減少させているものと考えられる。



(a) 酸化膜無し (b) 酸化膜有り

図12 表面摩耗面のSEM画像

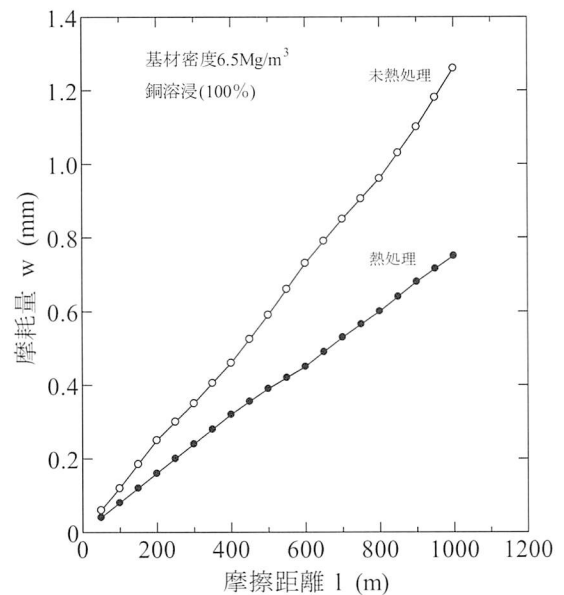


図13 熱処理による摩擦距離と摩耗量との関係

3.2.3 熱処理による摩耗特性

図13に基材密度 6.5Mg/m^3 、銅溶浸材(100%)における摩擦距離 l と摩耗量 w との関係を示す。熱処理材の方が未熱処理材と比べて摩耗量が少ない。これは試験片の熱処理(850℃焼入れ、600℃焼戻し)による硬さの違いが影響しているものと考えられる。

3.3 「ブロック／回転円盤」形式

試験片：14EPC(基材密度 5.9Mg/m^3)

相手材：軸受鋼(SUJ2)・・・高周波焼入れ(表面硬さHV850)、 $\phi 100\text{mm}$

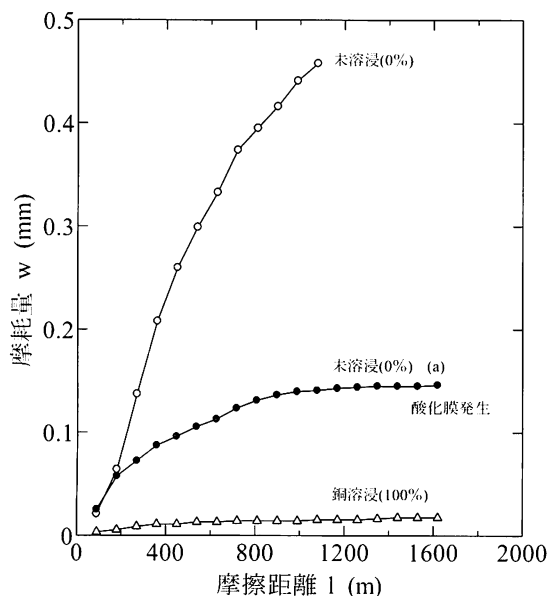


図14 未溶浸材および銅溶浸材における摩擦距離と
摩耗量との関係

試験荷重：2.0kgf

摩擦速度：3.0m/s

図14に「ブロック／回転円盤」形式における摩擦距離 l と摩耗量 w との関係を示す。未溶浸材(0%)と銅溶浸材(100%)との比較である。「ブロック／回転円筒」形式と同様に未溶浸材の摩耗量が多く、銅を溶浸すると極端に摩耗量が減少する。なお、図中の未溶浸材(a)の摩耗量の減少は、摩耗面に表面酸化膜が生成したためと考えられる。

以上、一般に金属の摩耗は金属同士の疑着によって生じるものであり、同種金属間では疑着が生じやすい。しかし、摩耗面に異種金属が存在すると、疑着が生じにくくなる。このことにより、本実験では溶浸した銅が異種金属となって、耐摩耗性を向上させたものと考えられる。

なお、摩耗試験は「ブロック／回転円筒」形式で、相手材φ110mmについても同様の実験を行ったが満足いく結果が得られなかった。また、「ブロック／回転円盤」形式では試験片と相手材(円盤)との接触(当たり具合)の問題、摩耗面における表面酸化膜の発生メカニズム等については今後の検討課題である。

4. おわりに

銅を溶浸した焼結鋼の摩耗特性について以下の知見を得た。

- (1) 溶浸銅量が多い(基材密度が低い)ものほど摩耗量は減少し、耐摩耗性は向上する。
- (2) 銅溶浸材は未溶浸材と比べ摩耗量が少ない。
- (3) 相手材の表面硬さおよび塑性加工による気孔欠陥量の変化は、摩耗量に影響を及ぼす。
- (4) 摩耗面に表面酸化膜が生成すると、摩耗量は著しく減少する。

謝 辞

実験に使用した材料は、日立粉末冶金(株)から提供されたものであり、そのご厚意に深く感謝の意を表します。本研究を卒業研究の一部として実験に協力された藤川裕之、松本英里、長谷川邦彦、福森秀希、福山謙太、綱島彰丈、藤田淳義、家入慎也の各氏に感謝します。また、本報をまとめるにあたり機械工学科高澤幸治助教授にご指導、ご助言いただいたことを記し感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 大島聰範, 林忠夫, 中村知弘: 苫小牧高専紀要, 第27号(1992)p. 23
- 2) 大島聰範, 林忠夫, 菊池希: 苫小牧高専紀要, 第31号(1996)p. 1
- 3) 野呂瀬進: 摩耗機構の解析と対策, (株)テクノシステム
- 4) 日本材料学会編: 金属材料強度試験便覧, (株)養賢堂pp. 430~437
- 5) 笹田直: 機械の研究, (株)養賢堂, 第24巻2号(1972)p. 317, 第25巻2号(1973)p. 321
- 6) 大島聰範, 林忠夫: 苫小牧高専紀要, 第33号(1998)p. 1

(平成17年12月1日受理)