

Title	クロムめっき軸の摩擦, 摩耗特性に関する研究
Author(s)	肥田, 昭
Citation	大阪大学, 1979, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/1762
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

クロムめっき軸の摩擦,摩耗特性に関する研究

昭和53年8月

肥 田

昭

クロムめっき軸の摩擦,摩耗特性に関する研究

昭和53年8月

田

昭

肥

クロムめっき軸の摩擦,摩耗特性に関する研究

目 次

緒 論	Đ 1
第1章 めっき	ち法およびめっき面の諸性質 4
1.緒	言 4
2. めっき	き条件と方法 4
3. めっき	き面の諸性質 6
3.1 表	6面形状の表示方法 6
3.2 多	3.孔率の表示と測定方法 7
3.3 密	·
3.4 硬	€ さ試験方法9
3.5 厚	『さ試験方法 10
3.6 X	うっき後の処理方法 10
4. めっき	軸の諸性質 12
5. 結	論 13
文	献 14
第2章 軸受の	>温度分布と油膜厚さ 15
1. 緒	言 15
2.実験装	も および 測定 方法 15
2.1 実	《 験 装 置 15
2。2 供	は試軸と軸受の形状寸法 16
2.3 温	18 度 測 定 方 法 18
2.4 送	法油量調節方法 18

(1)

2.5	回転速度変動	と衝撃荷重回数の測定 19	7
2.6	油膜厚さ測定	方法 20	C
2.7	油膜厚さ校正	方法 20	9
3.実験	結果および考	察 23	3
3.1	軸受温度に及	ぼす回転速度の影響 24	4
3.2	軸受温度に及	ぼす送油量の影響 20	6
3.3	軸受温度に及	ぼす荷重の影響 22	7
3.4	油膜厚さに及	ぼす送油量と荷重の影響 2	9
4. 結	論		0
文	献		1
第3章ポー	・ラスクロムの	タイプと軸受材料 3	2
1.緒			2
2. 実験	装置および測	」定方法 3	2
2.1	実 験 装	置 3	2
2.2	供試軸と軸受	その形状寸法 3	4
2.3	温度測定方	法	7
2.4	油膜厚さ測定	2方法 3	7
3.実験	検結果および考	5察 3	8
3.1	軸受のなじみ	性に及ぼすポーラスクロムのタイプの影響 3	8
3.2	軸受温度に及	なぼすポーラスクロムのタイプの影響 4	0
3.3	油膜厚さに及	&ぼすポーラスクロムのタイプの影響 4	⊦5
3.4	軸受温度とネ	由膜厚さに及ぼす油穴位置の影響 4	۲,
4. 結	論		19
文	献		51

(2)

第 4	章	往復	動ク	ㅁ厶	めっ	き	軸の軸受温度と潤滑	52
	1.	緒			言			52
	2 .	実験	装置	およ	び復	定	方法	52
		2.1	実	験	装	置		52
		2.2	供試	軸と	軸受	と のう	形状寸法	53
		2.3	温度	き 測り	む 方	法		55
		2.4	油膜	厚さ	測兌	方	法	55
		2.5	潤	滑	方	法		55
	3	実影	検結果	およ	びえ	察		56
		3.1	軸受	温度	にろ	とぼ	す潤滑方法の影響	56
•		3.2	軸受	温度	に万	とぼ	すポーラスクロムのタイプの影響	59
		3.3	油膜	[厚さ	にろ	とぼ	す軸と軸受の組合せの影響	61
	4	結			論			61
		文			献			63
第5	章	ポー	- ラス	、クロ	120) 9	イプと油膜形成	64
	1	• 緒			言			64
	2	.実馴	倹装置	およ	こびき	り定	方法	64
		2.1	供訂	€材で	形	犬寸	法	64
		2.2	油酒	旬広カ	ゞりī	面積	の測定方法	65
		2.3	油膨	東形成	えの観	見察	方法	65
••	3	・実験	澰 結牙	見およ	こびま	考察		67
		3.1	油滴	毎の戊	こがり	った	及ぼすポーラスクロムのタイプの影響	67
		3.2	油膳	東形成	えに)	及ぼ	すポーラスクロムのタイプの影響	69
	4	・結			論			71
		文			献			72

(3)

第 6	章	軸受	材料	の凝	着現	象		73
	1.	緒			言…			73
	2.	実験	装置	およ	び測	定方	法	73
		2.1	実	験	装	置		73
		2.2	供試	軸と	試験	片の	形状寸法	74
		2.3	温 度	測分	定方	法		76
		2.4	凝着	現象	の測	定方	法	76
		2.5	めっ	き面	の割	no	測定方法	76
		2.6	圧て	ん形	状の	観察		77
	3.	実験	結果	およ	び考	察		77
		3.1	試験	片の	温度	上昇		77
		3.2	純金	属試	験片	の軸	への凝着現象	79
		3.3	合金	試験	片の	軸へ	の凝着現象	83
		3.4	軟質	金属	を軸	へ押	付けた場合の圧こん形状の観察	87
		3.5	温度	によ	るめ	っき	面の割 れ の現象	87
	4 .	,結			論			89
		文			献			91
第 7	章	軸受	を材料	の摩	耗			92
	1.	緒			盲			92
	2	• 実騎	置装	およ	び測	定力	7法	92
		2.1	実	験	装	置		92
		2.2	供試	軸と	試験	片の	0形状寸法	93
		2.3	温 度] 測:	定方	法	·	94
		2.4	摩擦	係数	の測	定力	7法	95
		2.5	摩耗	量の	測定	方注	<u></u>	95

(4)

2.6 負荷の方法	95
2.7 摩耗面の観察	96
3.実験結果および考察	96
3.1 温度上昇に及ぼす潤滑方法の影響	96
3.2 温度上昇に及ぼす負荷方法の影響	99
3.3 摩擦係数に及ぼす潤滑方法の影響	100
3.4 摩擦係数に及ぼす負荷方法の影響	101
3.5 摩耗量に及ぼす潤滑方法の影響	102
3.6 摩耗量に及ぼす負荷方法の影響	104
3.7 摩耗面の観察	105
4. 結 論	106
文 献	108
第8章 他のめっき軸との比較	109
1.緒言	109
2. 実験装置および測定方法	109
2.1 実 験 装 置	109
2.2 供試軸のめっき方法と試験片の形状寸法	111
2.3 熱処理の方法	112
2.4 温度測定方法	113
2.5 摩擦係数の測定方法	113
2.6 摩耗量の測定方法	113
2.7 摩耗面の観察	113
3. 実験結果および考察	113
3.1 硬さに及ぼす熱処理温度と時間の影響	113
3.2 試験片温度に及ぼすめっき軸の影響	114

3.3	3 摩擦係数に及ぼすめっき軸の影響	116
3.4	4 摩耗量に及ぼすめっき軸の影響	116
3.5	5 摩耗面の観察	119
4 • 希		122
۲	截	123
第9章 高	(験片の形状と摩耗	124
1。 新		124
2. 身	こ 職装置および測定方法	124
2.	1 実 験 装 置	124
· 2.	2 供試軸と試験片の形状寸法	126
2.	3 温度測定方法	128
2.	4 摩擦係数の測定方法	128
2.	5 摩耗量の測定方法	128
2.	6 実接触面積の測定方法	129
3.5	長齢結果および考察	129
3.	1 温度に及ぼす試験片形状の影響	129
3.	2 摩擦係数に及ぼす試験片形状の影響	130
3.	3 摩耗量に及ぼす試験片形状の影響	131
3.	4 接触面圧に及ぼす試験片形状の影響	133
4. ž	吉 論	136
-	文 献	137
総	括	138
謝	辞	141

(6)

緒

論

硬質クロムめっきの歴史は古く、1854年に Bunsen¹⁾がクロムの電解を試みて 以来多くの学者により研究され、クロム酸を主成分とする電解液を Sargent²⁾が 提唱してから実用化されるようになった。

我が国でのクロムめっきは 1926年(大正 15年)に大藪³⁾が日本特許を得て いる。第 2次大戦中には各方面に使用され, 1960年初めて日本工業規格(JIS H8615)に工業用クロムめっきが定められ⁴⁾,その後 1966年, 1972年に改正 され現在に至っている。この工業用クロムめっきは従来硬質クロムと呼ばれてい たもので,装飾用と区別するために改名された。

工業用クロムめっきの作業条件,方法^{5~8)}や内燃機関のシリンダへの利用についての研究^{9~13)}は多いが,めっき軸が軸受性能に及ぼす影響についての研究は少ない^{14,15)}。企業では,工業用クロムめっき軸をしゅう動部材として比較的広範に使用しているが,使用方法と条件は現場の経験と勘にたよっているため,焼付,損傷などの苦い経験を繰返している。

本論文は、クロムめっき軸の実用時におけるトラブルの解消と軸受選定に対し 適切な指針を与えるため、工業用クロムめっき軸が軸受性能に与える影響につい て実験的、系統的に究明し、さらに摩耗した軸の再生と活用を可能にする方法を 見出すことを目的とした。

本研究で採用した工業用クロムめっきは、JIS めっき作業標準に従って加工した表面が平滑なめっきと、その表面にエッチングを施した多孔性のポーラスクロムめっきの2種類である。以下に論文の概要を簡単に述べる。

第1章では供試材のめっき軸の加工条件,めっき表面の形状,めっき層と素地 金属の密着性とめっき層の硬さの試験方法およびめっき軸の諸性質について述べた。

-1-

第2章ではクロムめっき軸を回転軸として用いた場合の軸受温度,温度分布お よび油膜厚さに対する送油量,回転数および荷重の影響について言及した。

第3章では軸受温度,温度分布および油膜厚さに対するクロムめっき面の種類 と軸受材料(黄銅,アルミニウム,りん青銅,銅,ホワイトメタルおよびPTFE) の影響について言及した。

第4章では往復動クロムめっき軸の潤滑について、回転軸の場合と同様に検討し、種々の潤滑方法(油、油と空気および空気潤滑)における軸受温度および油 膜厚さについて言及した。

第5章ではめっき面および研摩紙上での油滴の広がりと軸受部での油膜の形成 状態を観測し、クロムめっき面の種類と表面あらさが潤滑性能に及ぼす影響につ いて明らかにした。

第6章ではめっき軸と軸受材料の凝着現象を検討するため、純金属および合金 試験片とクロムめっき面との摩擦実験を行い、めっき軸との親和性のよい、すな わち焼付を起こしやすい金属を選びだした。

第7章ではめっき軸と軸受材料の摩耗を調べ、回転速度と荷重を変化させた場合の軸受試験片の温度、摩擦係数と摩耗量の測定および摩耗面の表面観察を行った。

第8章ではクロムめっきの代用として使用されようとしているニボジュールめ っき(めっき浴にボロンを添加させた無電解ニッケルめっき)が軸受材料によっ ては焼付を起こすため、その潤滑性能についてクロムめっきと比較検討した。

第9章では軸受試験片の形状が摩耗に及ぼす影響について,実機に近い試作試 験機を用いて検討し,従来の摩耗試験機における結果と比較した。

最後に以上の研究の総括を行った。

-2-

文 献

- 1. Bunsen : Prog. Ann., 91 (1854) 119.
 - (岸 松平:クロムめっき,日刊工業(1967)1.)
- 2. G. J. Sargent : Trans. Am. Electrochem. Soc., 37 (1920) 479.
- 3. 大藪:日本特許, 64046 (1926).
- 4. JIS H8615 : 1966, 1975.
- 5. めっき技術便覧編集委員会:めっき技術便覧,日刊工業(1959)129.
- 6. 紙野康美:日立造船技報, 21, 4(1960) 208.
- 7. 岸 松平:機械工業(1962-8) 91.
- 8. 石田武男:電気めっきに関する研究(第1巻), 1962-2。
- 9。山内俊平,伊藤義典,紙野康美:日立造船技報,21,4(1960)193.

-3-

- 10. 清水三郎, 草間喜代松:日本機械学会誌,70,581(1967)882.
- 11. 伊藤義典:内燃機関, 6, 57 (1967) 11.
- 12. 小林重一:金属材料,5,10(1965)57.
- 13. Mayer-Rässler : Metalloberf., 3, 3 (1951) 33.
- 14. Railway Locomotives and Cars, 134(1960-3)33.
- 15. Motor truck, 35, 7 (1966) 26.

第1章 めっき方法およびめっき面の諸性質

1. 緒 言

工業用クロムめっきは高硬度,高融点,すぐれた熱伝導性,低摩擦,耐摩耗性, 耐食性などを有しているため,摩耗防止,腐食防止,摩耗した部品の再生のため に広く利用されている。しかしめっきを軸に施して用いる場合,軸への密着性, 素地の疲労強度低下などが問題となるが,めっき作業管理が十分であれば現在密 着性のよいものが得られる。

一般に使用されているクロムめっきでは表面にめっき独特のマクロ的な割れが 生じるが、めっき層が厚ければ素地に達するようなものではない。このような割 れ目を積極的に利用する方法として、割れ目に潤滑油を保持させ、潤滑性をよく するポーラスクロムめっきがある。他方、この割れの生じない割れ目なしクロム¹⁾ と呼ばれる方法もある。

本研究では、現在最も広範に用いられているめっき方法で供試材を作成し、 JIS に基づいてその硬さ、厚さ、多孔率などを測定した。使用した試験軸は多 種多様であり、しかも同一条件下で作成されねばならなかったため、設備管理の 充実した特殊機化工業株式会社にめっき軸作成を依頼し、指示条件どおりの工業 用クロムめっきに仕上げた。

2. めっき条件と方法

めっき作業標準については 旧JIS H 9123 (1960) 〔1972年2月1日 廃 止〕に定められていた。

めっき前の金属表面処理方法には次のものがある。

- (a) 有機溶剤(トリクレン,パークレン)による洗浄方法
- (b) アルカリによる浸漬洗浄方法

-4-

(c) 電解洗浄方法

(d) 有機溶剤浸漬後, 超音波洗浄する方法

(e) 送電エッチング方法(陽極処理)

現在一般に多く用いられている方法は送電エッチング方法²⁰ である。この方法 ではめっき加工すべき供試材を洗浄してめっき槽に移す作業がないため、表面酸 化を防止できる点で(a~d)の方法よりもすぐれているが浴の汚れは速い。

図1-1 は陽極処理および電着開始の際にお ける電流の調節について示したものである³⁰。最 初30分間供試材をめっき浴中に浸し,その後 1~2分間陽極電流を流して表面のエッチング を行い,めっき層の密着性をよくする。

このようにめっき浴中でエッチングを行えば, 洗浄槽からめっき浴槽に供試材を移動させる必

要がなく,酸化防止と電極取付時間の省略になり,作業能率を向上させることが できる。工業用クロムめっき浴の成分は表1-1 に示したごとく主にクロム酸で ある。めっき温度と電流密度を変えることによって軸の疲労強度を大きくしたり, 密着力を大きくしたりすることができる⁴⁾。

めっき厚さは電流密度と温度に関係する が、1時間に析出するクロムの厚さが0.020 ~0.045 mm 程度で電着させるのがよい。 厚さ1mm 以上のめっきをする場合には、 途中で研削を行い、電着時の膜厚のかたよ りを防ぐとよい。



陽極処理および電着開始の電流調節

寿	1-1	x	2	÷	冬	件
x		~	ر-	e	좄	

			ボー	ラスクロムは	ちっき
	めっき条件	ッ µ ム めっき	チャンネル ターイ プ	インタメジ エイトタイ プ	ピンポイン トタイプ
	六価クロム酸, g/l	230~260	同左	同左	同左
	三価クロム酸, g/l	3.5~10.0	同左	同左	同左
硬	鉄 分,g/l	2.0~8.0	同左	同左	岡左
質	硫 酸,g/l	2.0~3.0	1.5~2.5	2.0~3.0	2.0~3.0
ĥ	温 度,℃	50 ± 3	60±3	60 ± 3	50±3
Д	電 流 密 度, A/dm ²	30~40	50~60	40~50	30~40
	時 間, h	電流密度, 0.045mm	液温で異た 厚	;る.1時間	約 0.020~
<i>z</i> .	温度,℃		60±3	60 ± 3	50±3
~	電 圧 (DC), V		5~8	5~8	5~7
チン	電流密度, A/dm ²		50~60	40~50	30~40
y	時 間,min		8~10	8~10	8~10

本論文でのめっき加工は表1-1 の範囲の条件で行った。めっき素地の仕上げ は密着力に関係し、表面仕上のよいものほど密着力が大きい⁵⁾。したがって、本実 験では素地の表面あらさが1µm R_{max}になるよう研削仕上を行った。

-5-

供試材はめっき加工後水洗し、そして研削あるいは液体ホーニングによって約 10µm 表面を除去し,表面あらさ0.8~1.5µm R_{max} に仕上げた。

この供試材は、めっき加工時に浸入した水素を放出させ、割れの発生を防ぐた めデシケータ中で1年以上放置し、実験前にアセトンによる洗浄あるいはトリク レン中で超音波洗浄を行って用いた。

3. めっき面の諸性質

表面形状の表示方法 3.1

めっき素地に傷、ピンホール、おうとつなどがあると、めっき後の表面にそれ らの影響が大きく現われることは周知のとおりである。これを利用しためっき方 法にナーリングタイプという種類がある。これは素地を機械的に多孔性に加工し, それをめっき面に反映させる方法である。しかし素地を機械的に多孔性にすると、 めっき前処理の溶液がみぞあるいは穴に残り、機械的強度を低下させることがあ るため、本論文ではめっき後の表面に電解的にエッチングを施し、多孔性にした ものを用いた。このめっきをポーラスクロムめっきと呼び,表1-1に示したよ うに電流密度と温度を変えることによって、ピンポイントタイプ、チャンネルタ

イプおよびインタメジェイトタイプの 三種類の表面を作成した。

すなわち,図1-2に示したごとく, ピンポイントタイプは表面に微細な穴 (a) クロムめっき を, チャンネルタイプはみぞを多く有し, そしてインタメジェイトタイプは両者 の中間の表面形態を有するものである。

― 一般にインタメジエイトタイプは電 (C) チャンネルタイプ 流密度をチャンネルタイプの値で、温 度をピンポイントタイプの値でめっき (電解エッチング方法による)







ポーラスクロムめっき

-6-

図 1-2 ポーラスクロムの種類

(b) ピンポイントタイプ ポーラスクロムめっき



(d) インタメジエイトタイフ ポーラスクロムめっき 100 µm

を行うため、表面の形態は上記のどちらかのタイプにかたよることが多い。

JIS H8615⁶⁾には工業用クロムめっきの種別を次のように表示するよう定め られている。

表 1-2

種別とめっき厚さ

I Cr М 単位 mm 種 類 記 导 めっき厚さ 工業用クロム 1 種 MICr 1 0.002以上 しめっき MICr 2 種 2 0.01 以上 工業用 3 MICr 3 種 0.02 以上 クロム Μ ICr 6 0.03 以上 4 種 MICr 4 レポーラス 5 種 MICr 5 0.05 以上 稙 MICr 6 6 0.1 以上 工業用クロム

上記表示方法の種別はめっき厚さに関係しており、これを表1-2 に示した。 本研究では、めっき厚さは0.1mm と定めたので5~6種に属する。

ポーラスタイプを区別する表示規定はないため,本論文中では下記のとおり表 示する。

Ν	1	I	Cr		ク	
_		_			-	

M I Cr-P

ポーラスクロムめっき

ムめっき

M I Cr-P (Pinpoint or pit) ピンポイントタイプ ポーラスクロムめっき
 M I Cr-P (channel or chan) チャンネルタイプ ポーラスクロムめっき
 M I Cr-P (Intermediate or Int) インタメジエイトタイプ ポーラスクロムめっき
 このポーラスクロムめっき表面形態が潤滑油の広がりと油の保持能力に関係し、
 軸受性能に影響を与えると考えられるが、いずれのタイプが回転軸あるいは往復
 動軸に最適であるかはいまだ明確でない。

3.2 多孔率の表示と測定方法

ポーラスクロムめっきの多孔率はめっき面の単位面積内にしめるみぞまたは穴 の面積の割合を百分率で表したものであるが、使用目的によってどの程度の多孔 率がよいかいまだ明確でないため、当事者間の協定により決めることが多い。現

-7--

場表示としては、上記の百分率ではなく、めっき面の単位面積内に存在するピン ポイント数(個/mm²)またはチャンネルみぞ幅の最大と最小寸法(μm)で表す こともある⁷⁾。

多孔率の測定には顕微鏡による方法と方眼紙を用いる方法とがある。前者では ポーラスクロムめっき面自体,あるいはスンプ法⁸⁾で転写したフイルムの表面を 顕微鏡で倍率50倍に拡大し,多孔率を測定する。後者ではめっき面の拡大写真 上のみぞまたは穴を方眼紙に写し取り,その面積の割合から求める。

図1-3 に上記の方法で測定した各種ポーラスめっき面の多孔率を示した。



図1-3 ポーラスクロムめっきの多孔率

ポーラスの多孔率をめっき加工時に厳密に決定するのは困難であり,また一部 品で部分的に多孔率を変えることもめっき作業を複雑化する。

本実験で用いたポーラスクロムめっき軸の多孔率は10~60% であるが、ピ

-8-

ンポイントタイプでは 35 ~ 50 %, チャンネルタイプでは 25 ~ 40 % が多い。 これを現場表示方法で示すと、MICr-P(pit)では 90 ~ 120個/mmf, MICr-P(chan) ではみぞ幅 10 ~ 30 μm の混在あるいは 20 ~ 30 μm になる。

3.3 密着性試験方法

素地とめっき層の密着性試験には次の方法があり、当事者間の協定によりどの 方法を用いてもよい。

- (a) と石研削による方法
- (b) 折り曲げによる方法 この方法は素地厚さ2mm 以上,めっき厚さ0.05
 mm 以上に適用できない。
- (c) 押出しによる方法 この方法はめっき厚さ 0.05 mm 以下,円筒形の場合
 は 直径 20 mm 以下には 適用できない。

本実験でのめっき厚さは 0.1mm としているため(b)と(c)の方法は供試材に は適用できないので、本論文では以下に詳述する(a)の方法を採用した。

試料を研削盤に取付け、粒度 60,結合度 H~M のと石で、と石周速 10~33 m/s,切込深さ 5μm 以下の条件で研削油を十分に供給しながら 0.03 mm 以上 静かに研削を行う規定(JIS H8615)を考慮し、本実験では、結合度 Hのと石 を用い、周速 18 m/s で行った。試験の結果、供試材においてはめっき面のはく 離は生じなかった。素地との密着性に関する研究は多数の研究者^{4,5,9)}によって行 われているため詳細な記述は省略するが素地の表面あらさが小さいほどめっき層 の密着性はよい。

3.4 硬さ試験方法

JIS によれば、クロムめっき面の硬さ測定には微小硬さ試験機を用い、一試験 片について5箇所以上の硬さを測定し、その算術平均値をもって示す。

多孔率が大で平担部が少ないようなポーラスクロムめっきにおいては多孔部の 部分を除去して測定してもよい。測定時の荷重は原則として 300 g 以上であるが, めっき層が薄い場合は最低 100 g まで使用してもよい。JIS では硬さ Hv 750

-9-

以上と定めている。なお、めっき厚さは生じたくぼみの対角線の長さの 1.5 倍以 上と定められている。岸¹⁰⁾は、くぼみ深さの 6 ~ 7 倍以上のめっき層があれば、 硬さに及ぼす素地の影響はないとしている。

本研究では,めっき厚さを0.1 mm で統一し,JIS規定を考慮して硬さ試験は 荷重 300 g で行った。

3.5 厚さ試験方法

厚さ試験には原則として顕微鏡を用いる方法を採用するが,当事者間の協定に より次のいずれの方法を用いてもよい。

(a) 顕微鏡を用いる方法

(b) 磁力厚さ計を用いる方法

(c) マイクロメータまたはシリンダゲージを用いる方法

(d) 電解式厚さ計を用いる方法

顕微鏡を用いる方法ではめっき面に垂直な切断面を作成し、バフ仕上げ後めっ き厚さを顕微鏡で測定する。めっき層の境界を見やすくするために適当に腐食し て観察してもよい。切断時に垂直面から10°の傾きがあればめっき厚さの測定値 に約2%の誤差を生じる⁶⁾。

この方法では試験片を切断しなければならないため、本論文では全数測定容易

な図1-4の磁力厚さ計を用いる方法により厚さを 測定した。磁力厚さ計としては厚さ既知の標準試験 片によって補正されたものを用い,試験面1個所に ついて3回,少なくとも3個所以上の厚さを測定し, その算術平均値を採用した。

3.6 めっき後の処理方法

一般にめっき後の洗浄は水洗が多く採用されてい る。ポーラスクロムめっきは研削中にチャンネルあ



図1-4 磁力厚さ計の原理

るいはピンポイント部分に目づまりを生じる。そこで中性洗剤と水を 1:100 の

割合で混合した溶液中で、ガーゼで表面を洗浄する方法と、この液中で試験軸を 30分間 煮沸する方法および超音波洗浄による方法の三者についてめっき前後の 表面の状態を観察し、結果を比較検討した¹¹⁾

その結果を以下に示す。

図1-5 に MICr - P (pit)を洗剤液
中で洗浄した場合の洗浄前,後の表面を示
した。表面の汚れは十分とれるが,pit 穴
に入った汚れは完全にはとれない。

図1-6 に MICr-P(chan) を洗剤 液中で洗浄した場合の洗浄前後の表面を示 した。みぞ中に入った汚れはとれ, MICr-P(pit) より表面は美しくなった。

図1-7 に MICr-P(pit) を洗剤液 中で煮沸した場合の煮沸前後の表面を示し た。洗浄の場合よりも pit 穴の中に入り込 んだ汚れはとれて美しくなった。

図1-8 に MICr-P(chan)を洗剤 液中で煮沸した場合の煮沸前後の表面を示 した。 pit の場合よりわずかに洗浄度は劣 るようである。

図1-9 に MICr-P(pit)を超音波 洗浄した場合の洗浄前後の表面を示した。 洗剤液で洗浄または煮沸洗浄するよりも表 面, pit 穴ともに美しくなった。

図1-10 に MICr-P(chan)を超音 波洗浄した場合の洗浄前後の表面を示した。

-11 -



pit の場合と同様,非常に美しくなった。

以上の結果,めっき後の表面洗浄処理方法としては超音波洗浄が最も効果的で ある。一般にめっき工場で行われる水洗時においても,ガーゼあるいは柔らかい ブラシでこするほうが水洗だけよりもめっき面は美しくなる。

4. めっき軸の諸性質

めっき軸の機械的諸性質を試験するため、JIS Z 2201 の 4 号試験片の形状寸 法にめっき試験片(めっき厚さ 0.12 mm)を作成し、アムスラ万能試験機を用い て引張り試験を行った。本研究に使用しためっき軸の素地金属は主に炭素鋼 (S 45 C ~ S 50 C) である。

表1-3 に供試素地金属の化学成分,表1-4 にそれらの機械的性質および表 1-5 に S 50 C 材のめっき前後の機械的性質をそれぞれ示した。

表1-3	供試材料の化学成分	

÷n	.0		化 学	成	分 %	
高乙	ሻ	С	Si	Mn	Р	S
S	45 C	0.42~0.48	0.15~0.35	0.60~0.90	0.030以下	0.035以下
S	50 C	0.47 ~ 0.53	0.15~0.35	0.60~0.90	0.030以下	0.035以下
S	S 50	0.30以下			0.050以下	0.050以下

表1-4 供試材料の機械的性質

記	号	機	械 的	性 質	
		引張強さ Kg/m航	伸び9	る 硬 さ Hv	
S	45 C	58以上	20以_	E 230	
S	50 C	62以上	17以_	E 268	J15 G4051 1日日
S	S 50	61.5	18以_	E 103	JIS G3101 相当

表1-5 めっき前後の機械的性質

記号	機	械 的 性	質	備考
	引張強さ Kg/mm	伸び%	便 さ HV	
S 50 C	61.7	15.0	268	· ·
S 50 C /C MICr	63.4	10.8	885 (300 <i>g</i>)	めっき厚さ 0.12mm

めっきを施した素地の炭素鋼の疲労に関しては,Kocanda¹²,Wiegand¹³⁾らの研 究があるが,本論文の主目的でないため省略する。一般に電気めっきをすること により疲労限度は少し低下する。しかしクロムめっきをすることにより耐摩耗性 は増加する。

5. 結 論

- (1) めっき浴の管理を十分に行い,表1-1の条件でめっきおよびエッチングを 行えば各種のタイプのめっきが得られる。しかしインタメジェイトタイプはめ っき温度と電流に応じてチャンネルまたはピンポイントのどちらかにかたよる ことが多い。
- (2) ポーラスクロムめっきでは多孔率を厳密に決定するのは困難と考えてよい。 また多孔率を一部品で部分的に異なる状態にすることは、めっき作業が複雑化 する割には要求する多孔率が得にくい。
- (3) 素地の表面あらさが小さいほどめっき層の密着性はよく,本研究の前加工方 法によればめっき層のはく離は生じなかった。
- (4) めっき面の硬さは JIS では Hv 750 以上と指定されているが、本研究ではHv 850 以上であった。
- (5) めっき厚さはめっき時間により自由に調節できるが、1.0 mm に達する厚い めっきに対しては、途中でめっき面を研削したほうが厚さの均一なものが得ら れる。本研究に用いためっき軸ではめっき厚さが0.1 mm であるため、途中研 削は行っていない。
- (6) めっき後の表面処理では超音波洗浄が最もよく、めっき工場で単に水洗する
 場合にも、ポーラスクロムめっきの表面は柔らかいブラシでこするほうが美しくなる。

文 献

- 1. R. Dow and J.E Stareck: Plating, 40, 987 (1953).
- 2. 鈴木信利:金属表面技術,8,4(1957)110.
- 3. 永島彰二:金属材料,5,10(1965)40.
- 4. 紙野康美:日立造船技報,21,4(1960)205。
- 5. 鈴木信利:金属表面技術,8,4(1957)104.
- 6. 日本規格協会: JIS H8615 (1975).
- 7. 肥田 昭: 潤滑, 11, 3 (1966) 21.
- 8. 日本金属学会:金属便覧, 丸善(1955) 1176.
- 9。岸 松平:機械工業 (1962-8) 91.
- 10. 岸 松平: クロムめっき,日刊工業(1967-9)230。
- 11. 肥田 昭, 市村雄弘: 潤滑, 14, 2 (1969) 70.
- 12. S. Kocanda : Metalloberf., 15, 4 (1961) 101.
- 13. H. Wiegand and H. -R. Kaiser : Metalloberf., 18, 10 (1964) 289.

第2章 軸受の温度分布と油膜厚さ

1. 緒 言

機械の良否を判定する一手段として,回転軸の運動の滑らかさや,軸受温度上 昇状態などを用いることが多い。

軸受温度は、軸と軸受材料の組合せや、両者間に生ずる摩擦熱、熱伝導、潤滑 油の種類など多くの要因により異なる。

また実機テストとモデルテストでは温度の実測値が相違することが多い。しか し、その傾向を把握し実用に役立たせるためには、モデルテストであっても十分 参考になると考える。

本章では従来から使用されている軸の代わりにクロムめっき軸を用いた場合,同 じ軸受をそのまま用いることが可能か否かを調べるため,種々のタイプのクロム めっき軸とケルメット軸受の組合せで,実機に近い状態で軸を回転させ,軸受温 度,温度分布および油膜厚さを測定した。

2. 実験装置および測定方法

2.1 実験装置

軸受温度に及ぼす回転速度の影響を調べる場合は 図 2-1 の装置Aのごとく, 1/2 PS, 1720 rpm のモータを用い,中間軸を通じて供試軸を無負荷状態で 1100, 1800 および 1900 rpm になるよう V プーリを取りか

えて回転数を変化させた。

軸受温度に及ぼす送油量の影響を調べる場合は, 上記のようなベルト駆動による回転変動を防ぐため, 図 2-2 の装置 Bのごとく, 1/2 PS, 1720 rpm の モータに供試軸を直結した。



図2-1 装置 A

-15-

軸受温度に及ぼす荷重の影響を調べる場合は、図2-3の装置Cのごとく、

2PS, 3380 rpm のモータを使用し, 中間軸 を通じて供試軸を 2400 rpm で回転させた。

油膜厚さ測定に用いた装置は 図 2-3 と 同じで、回転速度も同じである。

各装置とも回転速度は瞬時読取回転計で 測定した。



図2-3 装置 C



2.2 供試軸と軸受の形状寸法

軸:図2-4の形状に作成しためっき膜 の密着性のよい軟鋼(Hv 103)¹⁾の表面に 第1章表1-1のめっき条件でクロムめっ きを施し,研削,洗浄後用いた。

めっきは無地とピンポイントタイプの2 種類とした。めっき面の表面あらさは比較 標準試験片を用いて比較し, 0.2 ~ 0.8 μm R_{max} と推定した。MICr-P(pit)軸表面の 多孔状態はスンプ法²⁾を用いて観察し, 図 2-5 に示した。そして表面 1 mm² 当りの ピンポイント数を3 個所測定し, 平均値



図2-5 スンプ法によるMICr-P 表面

93個/mm²(多孔率で約36%)の値を得た。

軸受:図2-6の形状寸法を持つ軸受面① と②にはケルメットを使用し,ハウジング③ は鋳鉄製である。下メタル②の油穴に連結し ている油みぞは幅8mm,円周方向に長さ70 mmのものが設けてある。



軸受温度測定用軸受には温度測定用として ※測定始めの点 炭素鋼製裏金に熱電対そう入用の穴を軸方向 図2-6 軸 受 の 形 状 に 4 列,周周方向に 12 点,計 48 個所設定した。軸受裏金に 1.5 mm Ø,深さ 5 mm の穴を半径方向にあけ,ハウジング側から 3 mm Ø の穴をあけて連絡し、長

さ600mmの銅(0.5mmφ)-コンスタン(0.65mmφ)熱電対をそう入した。本 方法では軸受表面下約1mmの位置での軸受温度が測定できることになる。

油膜厚さ測定用軸受には図 2-7の油膜厚さ測定位置に 3mm Øの穴を軸方向に3列, 円周方向に6点,計16個所 (送油穴,上メタル止めねじ部 を除く)あけ,油膜厚さ測定 用電極として1.6mm Ø, 長 さ20mmの銅線を周囲と絶 縁して取付けた。また温度測 定のため図2-7のごとく1



図2-7 油膜厚さ測定位置と電気回路

mm φ の穴を軸方向に 4 列,円周方向に 10 点,計 36 個所(締付ボルト位置を除く),軸受表面より下 1 mm 内側まであけ,長さ 1 m の銅 (0.2 mm φ) - コンス タンタン (0.3 mm φ)の熱電対をそう入した。

軸-軸受間の直径すきまは50µm とした。

-17-

2.3 温度測定方法

温度測定用として 図 2-6 と 図 2-7 の軸受に設けた温度測定用穴に銅-コン スタンタン熱電対を取付けた。測定温度が半田の融点より低いゆえ,熱電対の接 点部は半田付で接合し,補正後の熱電対を竹せんと接着剤で測定用穴に固定して 24時間以上経過後使用した。各測定点の温度は,多点測定切換用 2 段 2 ポール 1 2 接点スイッチを使用し,冷接点を通じてミリボルト計で測定した。測定後, 補正 mV-℃ 曲線で電圧を温度に換算した。測定順序は始動より 図 2-6 あるい は 図 2-7 のA列※位置よりB,C,D列,次に軸の回転方向の列をそれぞれ 10秒間隔で測定し,さらに 10分後A列※位置より測定を繰返した。

回転速度または送油量を変化させた場合の温度測定時間は2時間とした。 また油膜厚さ測定実験においては、回転速度または送油量を変化させた場合の軸 受温度が30分経過後と2時間経過後とでは2~3℃程度しか相違しなかったた め、温度測定は30分で打ち切った。

2.4 送油量調節方法

回転速度に応じて送油量を調節するため,表2-1 に示した SAE 30 番モータ ーオイルを231 油槽に入れ,これを図2-1 の中間軸に連結した Vベルトで駆 動する歯車ポンプによって循環させる送油方法を用いた。

一般に送油量は高速ディーゼル機関で 400 ~ 600 cc/PS/min, ガソリン機関で
 約 150 cc/PS/min としている³⁾。

本実験では上記の送油量を参考にして、供試軸の回転速度増加とともに送油量 も多くなるようにした。すなわち、1000 rpm 時で 83 cc/min に設定したところ、 回転速度に応じて 1100 rpm で 92 cc/min、1800 rpm で 150 cc/min、1900 rpm で 153 cc/min となった。

MICr-P 軸の試験における送油量は上記のように 図2-1 の装置に調整弁を 設置して変化させてもよかったが、送油量をいっそう正確にするため、図2-2 のごとく 1/4 PS モータで歯車ポンプを 850 rpm で回転させ、調整弁で調節した。

-18-

MICr 軸 1900 rpm の送油量が約 160 cc/ min であったのに対し、MICr-P 軸の送 油量は同じ回転速度で 130, 260 および 420 cc/min と変化させた。

この送油量は、試験停止時に、送油配管

表2-1 潤滑油特性

比	度	0.913		
粘	度	レッドウッド	50 °C	267 秒
		11	100 ℃	56.5秒
粘度打	旨数	81		
引火	点	225 ℃		
凝固	点	— 5 ℃		

途中に設けた圧力計が測定時と同じ値を示すように送油穴出口を少し閉じ、その 状態で流出した油量をメスシリンダで測定して求めた。荷重を変化させた場合の 送油方法は 図 2-2 の送置を利用して油槽内の油(181)を各軸受に 200,400, 600, 800, 1000 cc/min 送油した。

油槽内の潤滑油は冷却せずに循環させて使用しているゆえ、上部の温度が高く なる。これを防ぐため 1/16 PS モータ付かくはん機を用いた。

2.5 回転速度変動と衝撃荷重回数の測定方法

静荷重は 図 2-3 のごとく、連接棒を通じて左右の試験軸に負荷をかける。 荷重の調節は連接棒に取付けたレバーの端に接続したターンバックルとばね秤で 行う。本装置では無負荷〔ただし軸, プーリなどの重さ約10kg (0.24kg/cm²)〕 から 100 kg/cm² の範囲の荷重が軸受にかかるようになっている。

衝撃荷重の負荷は曽田式衝撃試験機4)の原理を用 い、 図 2 - 8 のごとくレバーに取付けたフライホイ ールで行った。フライホイールの周上G点に次式で 計算した重錘を取付け、軸の回転数 2400 rpm と同 じ周波数で負荷がかかるようにした。この方法で、



図2-8 衝撃荷重の負荷方法 無負荷, 50 kg(1.2 kg/cm²), 100 kg(2.4 kg/cm²)の衝撃荷重を軸受に与えた。

F =	$\frac{W}{\omega} \omega^2 R$	$l_1 = 0.2 \text{ (m)}$	F=遠心力	(kg)
л	7.0 /2	$l_2 = 0.4$ (m)	P=衝擊荷重	(kg)
Ρ=	$\overline{l_1} \cdot \mathbf{F}$	R = 0.15 (m)	W=重 錘	(kg)
W =	$\frac{9.8l_1 \cdot P}{l_2 R \omega^2}$			

-19-

回転速度の変動を測定するため、図2-9のごとく中間軸に厚さ10mmのベ

ークライト円板に接点を設けたものを取付け、 また衝撃回数測定のため図2-8のレバーに接 点を設け、両接点の接続時の電圧信号を2現象 ブラウン管オシロスコープで観測し、回転数と 衝撃回数とが一致しているかどうかを測定した。



2.6 油膜厚さ測定方法

油膜厚さ測定における信号の取出しには、図2-7の軸受に取付けた1.6 mm¢の銅線とエンパイヤチューブをかぶせた0.5 mm¢,長さ600 mmのエナメル線とを半田付けしたものを用いた。

各測定点の電圧を図の電気回路と1段1ポール12接点スイッチによる信号の 切換えによって測定した。使用した油は SAE 30番モータオイルである。

油膜を抵抗体^{5,6)}とみなし、油膜厚さの変化に応じた電圧変化を軸受温度の安定 した 30分経過後に測定する。この電圧変化は2現象ブラウン管オシロスコープ で観察し、必要に応じてシングルスイープ波形を連続撮影装置の1こま送り装置 で記録した。また電圧計と電流計だけでも測定できるよう電圧計に油膜厚さを目 盛った。この場合の電圧と油膜厚さの関係は次節の方法で得られる。

2.7 油膜厚さ校正方法

図 2-10 に油膜厚さ校正装置を示した。(a)は軸受に取付けた電極(1.6 mm¢の銅線)と同じ電極を有する装置で,(b)は電極面積を大きくし,印加電 圧変化と油膜厚さを連続的に変化させ測定できる装置である。

(a) に示した装置では、図の形状に軸受外側を 45 mm 角に作り、その3 面に 各々上下 2 個所の×印位置に、図 2 – 7 の軸受に用いた電極と同じ面積をもつ電 極を計 6 個そう入した。

電極先端面と軸受内面は同一面になるように設定した。また、軸と軸受には 1/10 のテーパをつけ、軸の上下電極間 6 mm にはテーパをつけず、丸穴加工し

-20-

た。拡大図は,軸を完全には めこんだ状態の図で,軸受の 上部電極位置が軸に接触し, 下部電極位置では軸受と0.3 mmのすきまができる。軸受 下部の油だめには SAE 30番 モータオイルが入っているの で,軸と軸受間は,この油で 油膜が形成される。



図2-10(a) 油膜厚さ校正装置

油膜厚さ測定にあたって、まず電極と軸の間に一定の電圧を印加しておき、テ ーパ軸を徐々に降下させていく。テーパ軸を1µm 降下させると、電極位置にお いて軸受すきまは 0.05 µm 狭くなるので、油膜厚さは徐々に小さくなる。

油膜厚さが厚いと回路に電流は流れず,ある厚さ以下になると電流が流れはじ める。したがって、ブラウン管オシロスコープで電圧変化が現われるのを観察し ながらテーパ軸を降下させ、波形変化時の軸の移動距離をダイヤルゲージで読み とる。この値から油膜厚さを求める。その結果、印加電圧 6 V において、絶縁破 壊のはじまる時の油膜厚さは 80 µm となった。

(b) に示した装置では、直流電圧電流発生装置、マイクロメータ、ブラウン管 オシロスコープ(またはペン書きオシログラフ)を用いる。

電極は表面あらさ 0.5 µm R_{max}. 厚さ 2.0 mm の均一な銅板で作り,顕微鏡試 料埋込用樹脂で片面を露出させて固めた。この電極を 図2-10(b) のバーニャ 付マイクロメータのアンビル上に露出面を上にして乗せ,電極とスピンドルとの 平行平面間に油膜をつくる。印加直流電圧は 1 V ~ 6 V の範囲で, 1 V ずつ変化 させ,各電圧において絶縁破壊のはじまる油膜厚さをマイクロメータで読みとり, 油膜厚さと電圧の関係を測定する。

-21-



図 2 - 10(b) 油膜厚さ連続校正用装置

-22-

この方法は、図2-10(a)の方法と違って、油膜厚さを変化させることが可能 であり、膜厚と電圧との関係が求められ る。図2-10(a)および(b)の装置で求 めた油膜厚さと電極面積との関係を電圧 6Vの場合について図2-11に示した。 絶縁破壊のはじまる油膜厚さは電極面積 に反比例することがわかる。

油の体積固有抵抗 ρ_v (*Q*・cm) はホ イートストンブリッジとポテンショメー タを用いて測定し,次式⁷⁾ から約 5.98×



10'(Q・cm)の値を得た。

$ \rho_{\rm v} = {\rm R}_{\rm v} \cdot \frac{{\rm A}}{{\rm h}} $	(1)	R _v :体積絶縁抵抗	(\mathcal{Q})
`F = I ⋅ P	(2)	A:電極面積	(cm ²)
$\mathbf{D} = \mathbf{I} \cdot \mathbf{K}_{\mathbf{V}}$	(2)	h:油膜厚さ	(cm)
$ \rho_{\rm v} = \frac{\rm E}{\rm I} \cdot \frac{\rm A}{\rm h} $	(3)	E:電 圧	(V)
. – –		I :電 流	(A)

体積絶縁抵抗は電極面積と油膜厚さにより変化することが上式より明らかであ る。すなわち体積絶縁抵抗は油膜厚さに比例し,電極面積に反比例する。

各軸受に埋込んだ電極による油膜厚さ測定法では、油膜部への印加電圧が6V の場合、80µm 以上の油膜厚さで電流は流れず、したがってブラウン管上で波 形の変化も生じない。

油膜厚さ 80µm以下で,はじめて測定が可能となり,厚さ0µm で最大電圧 6V が検出できる。

そこで油膜厚さ80 μm での電圧0Vを基準にとり、これを2現象ブラウン管 オシロスコープの一方に接続し、厚さ測定の基線とする。他方の端子に油膜厚さ の変化による電圧信号を接続し、この電圧と0Vの基線との間隔から厚さを測定 する。本方法では油膜厚さ80 μm ~ 0 μm の変化

に対して,測定電圧は0~6Vの範囲で比例的に 変化する。

h = 80 - kS

h :油膜厚さ(μm) k :定 数 S :電圧変化(mm) MMMMM

図2-12 電圧変化と基線

図 2-12 に軸を回転させた場合の油膜厚さ記録の一例を示した。

3. 実験結果および考察

温度測定において、測定時の室温は始動時の潤滑油の温度あるいは軸受からの

-23-

放熱などに関係すると思われるので,始動前 の温度を一定にするか,軸受温度から室温を 差引いて軸受温度上昇を比較するほうがより 正確と考えられる。そこで始動時の室温を0 ℃に換算して図示する方法をとる。

以下に示す軸受温度は各測定点において測 定した温度の算術平均した値である。

3.1 軸受温度に及ぼす回転速度の影響

図2-13 に回転速度を変化させた場合の軸 受温度上昇を示した。図(a)は実際の軸受温 度を示し、図(b)は始動時の室温を基準にし た、軸受温度上昇を示したものである。いず れの軸でも回転速度の増加とともに軸受温度 が上昇することがわかるが、注意すべき点は 1800 から 1900 rpm へ回転速度をわずかに増 加させるだけで、軸受温度にかなりの上昇が 認められることである。

MICr 軸と MICr-P 軸では, いずれの回 転速度においても MICr-P 軸を用いたほうが 軸受温度は低い。

図2-14 に、回転速度を変化させた 場合の90分経過時の軸方向各点の温 度を平均し、円周方向の温度分布を示 した。高温個所が左上と右下側である のは、油穴が下側にあるため温度の低 い油が左側を冷やし、かつ無負荷状態





-24 -

であるため、ベルト駆動による軸心の片寄りによるためと考えられる。

図2-15 に始

動時の温度を25 ℃とし、90分経 過時の各回転速 度における軸受 面の等温線図を 示した。温度上 昇は時間ととも にちょうど波紋 を描くように広 がるが, 図2-15(a) に示した MICr 軸の場合, 油穴を中心とし て等温線が存在 せず,回転方向 にややずれた複 雑な模様となる。

図 2−15(b)の

図2-15 各回転速度における 90 分経過時の軸受面の等温線図

MICr-P 軸の

場合は給油点を中心としただ円状に等温線が存在する。また、軸方向では中央附 近で両端よりも低く、この傾向は円周方向最高温度附近で著しく、W. Nűckerの 報告⁸⁾と一致している。

軸受温度を低く保つことが可能であれば高速のほうが油膜の形成がよい。 しかし実際には摩擦回数が増加すると軸受温度は高くなり軸受の負荷能力はさ



(b) MICr-P軸の軸受

-25-

がる。これを防ぐため、すきまを大きくしたり、潤滑油粘度を低くすることなど が考えられているが、このような方法は動的に不安定になりやすく、軸受各部の 均等な潤滑が不十分となって油膜破断の恐れが生じる。これらの点に関しても MICr-P軸は有利になると思われる。

3.2 軸受温度に及ぼす送油量の影響

図 2-16 は送油量を変化させた場合の軸受 温度上昇を示した。(a) は実際の温度変化を 示しており、始動時の温度が異なることがわ かる。上記 3-1 節と同様に始動時の室温を 0℃として(b) に示した。

送油量が 130 cc/min の MICr-P 軸の軸受
温度上昇が、 160 cc/min の MICr 軸 の軸受
温度上昇より低いことに注目すべきで、 MICr
-P 軸を用いた場合の軸受内の潤滑状態が良
好であることを暗示している。

図 2-17 は送油量を変化させた場合の 9 0 分経過時の軸方向各点 の平均軸受温度分布を 示したもので,図 2-14 と比べると、ベル トによる影響はなくな り、高温個所が左下側 にある。この場合温度 の低い潤滑油で左側が



冷却されているはずであるが、その影響は認められなかった。

この理由として、図2-16 に示した潤滑油の温度上昇がわずかであることから、

潤滑油による軸受部の冷却が十分行われていないと考えられる。

図2-18 に始動時の温度を 25 ℃ とし,各送油量における 90 分経過時 の 軸受 面の等温線図を示した。MICr-P 軸は,MICr 軸に比べて,送油量が比較的少な くても軸受温度はあまり変化せず,熱による軸受変形などの影響も少ないと思わ れる。



(b) MICr-P軸の軸受(無負荷時)

荷重負荷時の軸受温度に及ぼす送油量の影響は次の 3.3 節で述べる。

3.3 軸受温度に及ぼす荷重の影響

図2-19 に静荷重を加えた場合の軸受温度を無負荷時の温度とともに示す。荷 重を負荷し、送油量を少なくした場合でも、MICr-P軸の軸受温度はMICr 軸 のそれに比べて一般に低く、MICr 軸にみられるような荷重負荷による急激な温 度上昇は認められない。

図2-18 各送油量における90分経過時の軸受面の等温線図
図2-20 に無負荷および静荷重 下の30分経過時における送油量 と軸受温度の関係を示した。

MICr 軸に比べてMICr-P軸の軸 受温度は約10℃低い。また無負 荷の場合,送油量は軸受温度にあ まり影響を与えないが,荷重を加 えるとその影響は大きい。

図2-21 に衝撃荷重の場合の軸 受温度を示した。

MICr 軸では荷重増加による軸 受温度は高く,時間とともに急激 に温度が高くなる。MICr-P軸 では荷重や時間に対する軸受温度 上昇の割合が小さい。

図2-22 に衝撃荷重の場合の 30分経過時における軸受温度と 送油量の関係を示した。送油量の 変化に対して MICr-P 軸では, MICr 軸に比べて, 無負荷の場合 で7℃~15℃, 荷重を負荷した 場合で5℃~20℃ 軸受温度が低



く,良好な潤滑状態を示している。図2-19~2-22の結果から,衝撃試験にお ける単位面積当りの荷重は静荷重のそれより少なくても,軸受温度は静荷重の軸 受温度よりも高く,荷重のかけ方の軸受温度に対する影響は非常に大きいことが わかる。またクロムめっきの種類と荷重の負荷方法にかかわらず,軸受温度は始

-28-

動後10~30分で定常な状態に達することが明らかとなった。

3.4 油膜厚さに及ぼす送油量と荷重の影響

図2-23は静荷重の場合の30分経過時の送油量と油膜厚さの関係を示す。 図中に示す油膜厚さは全測定点において測定した値を算術平均した値である。負 荷をかけた場合に比べ,無負荷状態で油膜厚さが薄いのは軸のふれまわりによる

ためと考えられる。また送油量に関係せず MICr

-P 軸のほうが油膜厚さは厚い。

軸受の油膜厚さは次式で計算される⁹⁾。

$$\mathbf{h} = (\mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_0) + \mathbf{e} \, \cos \, \theta$$

h :	測定点における油膜厚さ	(mm)
r ₀ :	軸半径= 45 - 0.010	(mm)
r ₁ :	軸受半径= 45 + 0.015	(mm)
e :	偏心距離= 0.02	(mm)
θ:	測定点までの角度	

(軸受温度最高点を θ =180°とした)

しかし表 2-2 のごとく測定値と計算値とは $\theta = 90^{\circ}$ および $\theta = 270^{\circ}$ の場合を除きかなり の相違がある。これは運転中に軸中心が軸受中 心のまかりを回転するためと思われる。なお, 軸の全周に油膜が形成されるまでの時間は油膜



静荷重の場合の送油量と油膜厚さ

表2-2 円周方向の油膜厚さ

	A (0)	計算値	測定値(µm)					
	0(~)	(µm)	クロム めっき軸	ポーラスクロム めっき軸				
	9 0	25.0	26.0	27.1				
	130	12.1	26.4	28.0				
	170	5.3	26.7	28.0				
	270	25.0	26.3	28.0				
	310	37.9	25.7	27.1				
	340	43.8	25.5	27.5				
- 2		1 1						

厚さ測定における検出電圧を連続撮影装置で記録した結果, 0.1 ~ 0.2 秒である ことがわかった。すなわち軸の回転速度が 2400 rpm であるから軸が 4 ~ 8 回転 すれば油膜が形成されることになる。

全般を通じて MICr-P 軸のほうが MICr 軸よりも 2~3μm だけ油膜が厚く, わずかではあるが軸受温度上昇の抑制に対して有利であると思われる。

以上の結果, MICr-P軸は, 多孔質金属のごとく作用し, 軸が回転するとポー ラスクロムめっきの穴からにじみ出た油が油膜の形成を助け, 回転が止まれば軸

-29-

受面にある油はポーラスの穴にたまるものと考えられる。

汎用内燃機関では、始動後軸受面に潤滑油が行きわたるまでに夏季で30秒, 冬季で2~3分かかるが、軸を MICr-P にしておくと、この過渡状態での潤滑に 役立つものと思われる。

4. 結 論

- (1) 機器の運転中の軸受温度は始動後できるだけすみやかに定常状態に入り、かつその後の温度上昇が少ないことが望まれる。今回の実験によると始動後10~30分の間は温度変化が大きく、その後はほぼ定常な状態に入ることがわかった。したがって、実際の軸受で回転速度、軸受荷重などを変化させる場合は、変化後10~30分間の軸受温度に注意すれば焼付による破損を未然に防ぐことができる。
- (2)回転速度を増加させると、軸受温度は高くなり、負荷能力はさがる。これを 防ぐためには送油量を多くするか、潤滑性のよい軸を用いればよいことが明ら かになった。
- (3) クロムめっき軸とポーラスクロムめっき軸とではいかなる送油量においても ポーラスクロムめっき軸のほうが軸受温度が低く、特に送油量が少なく荷重が 大きい場合にその傾向が著しい。
- (4) 軸受に衝撃荷重がかかる場合には、単位面積当りの荷重が静荷重の場合より はるかに低い値であっても軸受温度は静荷重時とほとんど同じ値であったこと は実用面で十分注意を要する。

文 献

- 1. K. Kuun : South Africa, Mech. Engr., 9, 6 (1960-1)139.
- 2. 日本金属学会編:金属便覧, 丸善(1955)1176.
- 3. 長尾不二夫: 内燃機関講義 上, 養賢堂(1958)414.
- 4. 内海竜夫, 金子練造: ころがり軸受の検査法, オーム社(1954)143.
- 5. 古浜庄一:機械学会論文集, 27, 175(1961)357.
- 6. I. O. M. Conochie , A. Cameron : Trans. ASME Ser. D 82, 1 (1960) 29.
- 7. 電気学会編:絶縁試験法ハンドブック,電気学会(1976)197。
- 8. W. Nücker : Forschungsheft, 355 (1932).
- 9. 日本潤滑学会編:潤滑ハンドブック,養賢堂(1970)117.

第3章 ポーラスクロムのタイプと軸受材料

1. 緒 言

第2章ではクロムめっき軸あるいはピンポイントタイプポーラスクロムめっき 軸と分割型で油みぞを有するケルメット軸受とを組合せた場合,軸受温度および 油膜厚さに対する軸受の運転条件の影響を検討した。

本章では、チャンネルタイプのポーラスクロムめっき軸をも含めて、ポーラス クロムのタイプが軸受性能に与える効果を総合的に判断しようとするものである。 一般に油みぞの形状が油膜厚さなどに影響を及ぼすことがわかっているので^{1~3)}、 この影響を除くため、主として油みぞのない軸受を用い、ポーラスクロムのタイ プが軸受のなじみ性、軸受温度および油膜厚さに及ぼす影響と、さらに油穴の位 置が軸受温度と油膜厚さに及ぼす影響について検討した。種々の軸と軸受の組合 せについて、軸受試験条件(回転速度、荷重および送油量)と軸受の油穴位置を 変化させ、軸受温度、温度分布および油膜厚さを測定した。使用した軸受は、油 みぞのない黄銅、アルミニウム、りん青銅、銅系含油および PTEF 製の軸受と 油みぞのあるホワイトメタル軸受である。

供試軸にはクロムめっき軸のほかに S50C 軸も用いた。

2. 実験装置および測定方法

2.1 実験装置

図3-1 に示した装置において、1PS、3400 rpm のモータを駆動源として使用し、無段変速機、中間軸、2段Vプーリを介して供試軸を回転させた。軸と軸 受材料のなじみ性を検討する場合には、1000、2000 および3,000 rpm に回転速 度を変化させた。"なじみ性がよい"とは、軸回転の開始後短時間で急激な軸受 温度上昇が起こらずに定常な温度に達し、かつその温度が低く安定な状態に保持

-32-

されることを示すものとする。荷重を無負荷から 100 kg/cm² まで変化させた場合の回転速度は 1000 rpm とした。



図3-1 装 置

潤滑には油槽に 30 番モータオイルを 10 / 入れ, 1/2 PS, 1700 rpm のモータ 2 台で 2 台の歯車ポンプをそれぞれ回転させ,各軸受に送油した。

軸受のなじみ性に及ぼすポーラスクロムのタイプの影響を調べる場合には、送 油量を 1000 cc/min とした。各種の軸受材料において、軸受温度と油膜厚さに及 ぼすポーラロクロムのタイプの影響を調べる場合には、送油量を 500 cc/min に 減少させて実験を行った。

油槽内の潤滑油は冷却せず,40メッシュの金網でろ過しつつ,常にかくはんし ながら使用した。

含油軸受の場合は、軸受の油穴出口から送油管内にかけて 20 mm 内側までフェルトをつめ込み、多量の油が流出するのを防いだ。流出量は送油管に接続した ビューレットの油面の位置を一定に保つ方法で調節した。実験では流出油量を約 0.35 cc/min の一定に保持した。

PTFE 軸受に対する潤滑剤としては、水と切削油剤(JIS K2341のW1種) を10:1の割合で混合した乳化油を用いた。送油量は20,50および100 cc/min とした。油穴位置が軸受温度と油膜厚さに及ぼす影響を調べる場合は、送油量を

-33-

さらに少なくし、18.5 cc/min にした。

負荷方法としては 図 3-1 のごとく 連接棒に取付けたレバーに接続したターン バックルをまわし、ばね秤で無負荷(0.28 kg/cm²)から 100 kg/cm² までの荷重 が各軸受にかかるようにした。

軸受のなじみ性を試験する場合は荷重を無負荷から 100 kg/cm² まで 20 kg/cm² ずつ変化させた。またポーラスクロムのタイプの軸受へ及ぼす影響を調べる場合 の荷重は、無負荷 (0.28 kg/cm²), 50 kg/cm² および 100 kg/cm² とした。

PTFE 軸受に対しては無負荷 (0.28 kg/cm²), 2.8 kg/cm² および 5.6 kg/cm² とした。

油穴位置の軸受への影響を調べ る場合には無負荷(0.28 kg/cm²), 0.30 および 2.8 kg/cm² とした。

2.2 供試軸と軸受の形状寸法

軸:S50C(Hv230)で図3- 図3-2 供試軸 2の形状に試験軸を作成した。ホワイトメ タル軸受に用いた軸の形状寸法は図3-3 に示した。

供試軸の表面は第1章の表1-1のめっ き条件で150μmの厚さにめっきしたのち, エッチングによって MICr-P(pit)軸およ び MICr-P(chan)軸を作成した。めっき 加工後,液体ホーニングを施し⁴⁾,軸寸法を 60mmφにした。表面あらさは比較標準試 験片を用いて比較し, 0.2~0.8μm R_{max} と推定した。

図 3-4 にスンプ法と顕微鏡で直接観察





図3-3 供試軸 (ホワイトメタル軸受用)



図3-4 ポーラスクロム軸の表面

した場合の MICr-P 軸表面の数例を示した。 (a) と (b) はチャンネルタイプで、 (a) はみぞ幅の小さいもの, (b) はみぞ幅の大きいものである。 (c) はピンポイ ントタイプの表面である。

MICr-P 軸の両端面から油の流出を防ぐ目的で端から 5mm の幅だけエッチン グしない軸(No.10および11)も作成した。

軸受:図3-5の形状にアルミニウム(Al)、黄銅(Bs)、りん青銅(PB),銅 系含油 (SBK) およびテフロン (PTFE)の材 1<u>キリ</u> 料で試験用軸受を作成した。また、図3-6 に油みぞを有するホワイトメタル(WJ)軸受 の形状寸法を示した。ホワイトメタル軸受の 裏金は炭素鋼である。 。温度測定位置 × 油膜測定位置 ※測定始めの位置



各軸受材料の硬さを表 3-1 に示した。

表3-1 軸受材料の硬さ

軸 受材料	硬 さ (Hv)	JIS 材料 記号表示	JIS 相当(旧)
Al	42	Al B2	H 4163
Bs	168	BsBF2-1/2H	H 3423
PB	213	PBB2-1/2H	H 3741
SBK	199	SBK1112	B 1581
WJ	37	W J 1	H 5401
PTFE		-	





軸受には前章2-2節と同様に、温度測定

のために1mm Ø, 深さ 6.5 mmの穴を軸方向に 3列, 円周方向に 6点計 17 個所 (送油穴位置を除く)あけた。油膜厚さ測定位置には3mm Ø 穴を軸方向に3列, 円周方向に 6 点,計 18 個所あけ、 1.6 mm Ø,長き 10 mm の 銅線 にエンパイヤ チューブをかぶせて周囲と絶縁したものを穴に取付けた。

実験に用いた軸と軸受の組合せ、図3-1(b)の装置において同時に試験する 軸の組合せ、軸と軸受の取付すきまおよび実験条件を表 3-2 に示した。

-35-

		軸	2	<u>ب</u>	·····································	Z,				実	験 条	件	<u>.</u>
		軸	軸	受材料	直径すきま	多孔率	多孔率	組	記	荷重	回転速度	送油量	測定時間
	Na	種別	No.	種別	μm	約 (%)	ユマ骝 μm pit数 個/mm?	ロセ	号	kg/cm ²	rpm	cc/min	分
	1	MICr	1	A 1	72	-	_	A(C)		無負荷	h] . [
な	2	MICr	1	Вs	65	_		В	٠	20	1000		+ 30
じ	3	MICr-P(C)	2	Al	72	42	13 ~ 30	С	\triangle	40			+ 30
み	4	MICr-P(P)	2	Вs	71	44	112	В	0	60			
性	5	S 50 C	3.	A 1	72	-	-	A	▲	80			
	6	S 50 C	3	Вs	. 65			С	۲	J 100	J	J]
	7	MICr - P(C)	4	Bs	96	34	9~29	a	Ø	〕無負荷)]
	8	MICr-P(C)	5	Вs	68	50	21 ~ 30	b	\Diamond	50			
	9	MICr-P(C)	6	Bs	45	39	9 ~ 30	с		100		} 500	 60
	10	$MICr - P(C_1)$	7	Вs	78	39	19~20	с	Ø			000	
[.] ہڑ	11	$MICr - P(P_1)$	8	Вs	75	45	. 116	a	C				
1	12	MICr-P(P)	9	Вs	52	40	102	b	0	J	J	J ·	J
ラ	13	MICr	1	PB	46	-	· _	d	•	無負荷)]].	
x	14	MICr - P(C)	2	ΡB	32	32	8~25	е	0	50		500	
7	15	MICr-P(P)	3	ΡB	51	51	130	d	0	100			
	16	S 50 C	4	ΡB	38	-		e	Ø	J	J	J	J
	17	MICr	1	SBK	43	. –	-	f	•	無負荷		1	ן
	18	MICr-P(C)	2	SBK	47	35	4 ~ 33	g	\oslash	50	1000	0.35	60
0	1.9	MICr - P(P)	3	SBK	4 1	46	119	f	0			吸上	
8	20	S 50 C	4	SBK	44			g	Ø	J	J	J	J
1	21	MICr	1	WJ	50	-	-	i	•) 無負荷)		
プ	22	MICr-P(C)	2	W J	51	12	2~8	i	0	50	1000	600	60
	23	MICr - P(P)	3	W J	50	56	143	h	0	100		200	
	24	S 50 C	4	WJ	52			h	Ø	J))	J
	25	MICr	1	PTFE	170	-	-	j	•	▲ 無負荷 2.8] 1000	100	60
	26	S 50 C	2	PTFE	. 175	-	-	j	Ø	5.6	J	J 20]
酒穴	27	MICr	10	Bs	48	-	-	k	•	▲負荷 0.3	1000	18.5	60
位置	28	MICr - P(C)	11	Bs	55	10	3~5	k	0] 2.8		IJ	J

表3-2 軸と軸受の組合せおよび実験条件

註(1) 組合せ、A,B,Cは試験機の左右に取付け同時に測定したものを示す。

٠.

(2) 種別で MICr-P(C), MICr-P(P)の()中はポーラスクロムのチャンネル,またはビンポイントタイプを意味する。 また、(C₁)、(P₁)は両端5mm エッチングしないもの。 この表中,組合せ欄の記号が同じ軸は同時に試験したことを意味する。たとえば,MICr軸(Na1)とS50C軸(Na5)とは装置の左右に同時に取付けて試験したので,両者にAの記号をつけている。

2.3 温度測定方法

温度測定は 図 3-5 および 図 3-6 の軸受に設けた測定用穴に長さ 1000 mm の銅(0.2 mm φ)-コンスタンタン(0.35 mm φ)熱電対を取付けて行った。各 測定点の温度は多点測定切換用 2 段 2 ポール 1 2 接点スイッチを使用し,冷接点 を通じてミリボルト計で測定した。測定後 mV-℃曲線で電圧を温度に換算した。 測定順序は 図 3-5 の A 列※位置より数字の順に A, B, C 列,次に軸の回転方向 の列をそれぞれ 10 秒間隔で測定し,さらに 10 分後 A 列※位置より測定を繰返し た。始動より 30 分間は測定しながらならし運転し,さらに続けて 30 分間,計1 時間の温度測定を行った。

軸受のなじみ性に及ぼすポーラスクロムのタイプの影響を測定する場合は 1000 rpm, 1時間の測定に続いて 2000 rpm で 30 分, 3000 rpm で 30 分, 計2時間の 測定を行った。

2.4 油膜厚さ測定方法

図3-5 に示した電気回路により,第2章2.6 節と同様の方法で油膜厚さの測定を行った⁵⁾。油膜厚さ測定は30分経過時と60分経過時に図3-5 に示した数字の順序で※位置より回転方向に測定した。

図3-7 に油膜厚さ測定時のブラウン管オシロスコープの波形を示す。

基線		
	turtritaithether	
(a) 油膜存在している場合	(b)油膜時々切れる場合	(c) 油膜切れた場合
図 3 — 7	油膜厚さ測定時の波形	
	-37-	

- (a) は軸と軸受間に油膜が存在している場合で、図中のSは基線からの移動距離 を示す。
- (b)は油膜が時々切れる場合の波形である。
- (c)は油膜が切れて軸と軸受が接触した場合の波形である。

実験結果および考察

3.1 軸受のなじみ性に及ぼすポーラスクロムのタイプの影響

図3-8 は無負荷と100 kg/cm² 負荷時のアルミニウム軸受と黄銅軸受の軸受 温度上昇の時間的変化である。温度表示は実際の軸受温度から室温を差し引いた ものである。また実験値は軸受の各測定点における測定値を算術平均した値であ る。



図3-8 経過時間と軸受温度上昇

無負荷の場合(a)において、始動後約15分まで、黄銅の軸受温度は急に上昇 し、その後時間が経過すると徐々に軸受温度は下り、始動後約40分経過してほ ぼ定常状態になる。回転速度を1000から2000 rpm に増加させると軸受温度は上 昇し約20分後に最高となったが、その後低くなるような傾向を示した。さらに 回転速度を2000から3000 rpmに増加させても2000 rpm の軸受温度より少し高

-38-

い温度で安定した。

一方,アルミニウム軸受ではS50C軸以外のめっき軸に対して,始動後約20 分で軸受温度は定常状態になる。回転速度を増加させると軸受温度は高くなるが, 黄銅軸受にみられたような急激な温度上昇と引き続く降下の傾向は示さない。

荷重 100 kg/cm² の場合(b)において, MICr 軸と黄銅軸受との組合せは, 20 分経過時の実際の軸受温度が120℃を超え,その後,約 10 分経過すると軸受温 度は無負荷の場合と同様に低くなる傾向を示す。しかし,軸受温度が非常に高い ため実験を途中で中止した。

このように、一般に黄銅軸受はアルミニウム軸受よりも軸受温度上昇が激しく、 そのうえ定常状態になるまでの時間も長い。したがってなじみ性が悪いと考えら れる。また、S50C軸とアルミニウム軸受との組合せでは無負荷時でも比較的 軸受温度が高く、めっき軸を用いた場合よりも悪い結果を示した。

なじみ性の悪い黄銅軸受において、MICr 軸と MICr-P(pit) 軸とを比べると、 荷重を増加させた場合でも MICr-P(pit) 軸の軸受温度は MICr 軸のそれに比べ て低い。このことからポーラスクロムめっきは潤滑に役立っていると思われる。 図3-9 は各回転速度における荷重と軸受温度上昇について示したものである。



図3-9 荷重と軸受温度上昇

一般に荷重を増加させた場合, MICr 軸に対する黄銅軸受の組合せでは MICr 軸とアルミニウム軸受の組合せよりも軸受温度は高くなった。 MICr-P(pit)軸 と黄銅軸受の組合せでは, 1000 rpm. 100 kg/cm² において, MICr-P(chan)軸 とアルミニウム軸受の組合せよりもわずかに軸受温度が高かったが, 回転速度を 1000 から 2000 および 3000 rpm に 増加させた場合には他の軸に対するよりも低 い軸受温度となった。このように, 黄銅軸受に対して MICr 軸では, 荷重を増加 させると軸受温度が非常に高くなり, MICr-P(pit) 軸では急に軸受温度が高く なることはなく, 軸受の硬さ, 材質などがめっき軸とのなじみに関係があるよう に思われる。実験後の軸受面を観察すると, 黄銅軸受では焼付を生じたような変 色個所あるいは目づまりがあるのに対して, アルミニウム軸受面は各所に輝面摩 耗を起こしている。この輝面摩耗は硬い軸で軟らかく延性の大きいアルミニウム 軸受面を強くこすったことによる塑性変形のためと思われる。

3.2 軸受温度に及ぼすポーラスクロムのタイプの影響

MICr-P軸のポーラスクロムのタイプが軸受温度に及ぼす影響を調べるため、 なじみ性の悪い黄銅軸受を主として用いた。同時にりん青銅軸受、銅系含油軸受⁶⁾ およびホワイトメタル軸受⁷⁾ も用いて軸受温度を測定した。この結果を、S50C 軸と MICr 軸にりん青銅軸受、銅系含油軸受、ホワイトメタル軸受および PTFE 軸受⁸⁾ を組合せて得た軸受温度と比較し、ポーラスクロムのタイプと軸受材料の 関係について検討する。

図 3-10 に黄銅軸受の温度上昇を経過時間について示した。

無負荷の場合(a)において、端をエッチングしない MICr-P(chan端)軸Na 10 と MICr-P(pit端)軸Na 11 とを比べると、前者は始動後約 10 分経過時に軸受温 度が急に上昇し、局部的に凝着を起こす傾向を示した。これは MICr-P(pit端) 軸よりも軸端からの油の飛散が多かったためと思われる。MICr-P(pit端)軸では 軸受温度が速く定常状態になり、しかもその温度は低く凝着するような傾向は示 さなかった。全表面をエッチングした MICr-P(chan)軸Na 7~9と MICr-P

-40 -

(pit) 軸 Na 12 とを比べると, MICr-P (pit) 軸の軸受温度は chan 軸 Na 7 と 8 軸よりも高く, Na 9 軸よりも低い。チャンネル幅の異なるみぞが混在しているNa 7 および 9 軸とみぞ幅の太い Na 8 軸とを比較すると, Na 8 軸は Na 7 軸と Na 9 軸の 中間の軸受温度となる。これがチャンネルみぞ幅による影響か, 軸受すきまによ る影響かは明らかでない。



図3-10 経過時間と軸受温度上昇(黄銅軸受)

荷重 100 kg/cm² の場合(b)において、10 分経過後 MICr-P(chan 端) 軸は焼 付を生じ、また MICr-P(pit 端) 軸も 軸受温度 が非常に高くなったので実験を 中止した。端をエッチングしない軸(Na 10 および 11) はエッチング部と非エ ッチング部との境界でわずかに段がつき、そのため悪い結果を示したと考えられ る。 MICr-P(chan) 軸 Na 7 および 8 と MICr-P(pit) 軸 Na 12 とを比べると、 Na 7 軸は 30 分経過時に軸受温度が 120 C を超え、また Na 8 軸は 10 分経過時の 実際の軸受温度が 85 C にもなり凝着を起こす恐れがある。 MICr-P(pit) 軸 では 10 分程度で、軸受温度は定常状態になる。

以上の結果から, ピンポイントタイプのほうがチャンネルタイプよりも軸受温 度は速く定常状態になりすぐれている。

-41-

図3-11 にりん青銅軸受の温度上昇を経過時間について示した。



図3-11 経過時間と軸受温度上昇(りん青銅軸受)

無負荷の場合 (a) において、MICr-P (chan) 軸では最も軸受温度が低く、 MICr 軸では高い。荷重 100 kg/cm² の場合 (b) において、MICr-P (pit) 軸はめ っき軸の中で最も軸受温度が低く、MICr 軸は無負荷の場合と同様に高い。特に 30 分経過時の測定時における軸受温度が 140 $^{\circ}$ を超え、局部的な焼付を起こし ていると考えられる。めっきしない S50 C 軸の 60 分経過時の軸受温度は MICr-P (pit) 軸よりも低いが、20 分経過時までは高いことからなじみ性は MICr-P (pit) 軸よりよくないと考える。

以上のごとく, りん青銅軸受の温度に対してポーラスクロムのタイプの影響は 大きく, チャンネルタイプよりもピンポイントタイプのほうがすぐれている。

-42--



MICr-P(chan)軸では軸受温度が最も高く, 30分経過後わずかに低くなるが, 50分経過後温度はさらに上昇する傾向を示している。

図3-13 にホワイト メタル軸受の温度上昇 を経過時間について示 した。送油量は 1000 cc/min の場合である。 無負荷の場合(a)にお いて, MICr-P(pit) 軸で最も軸受温度が低



図3-13 経過時間と軸受温度上昇(ホワイトメタル軸受)

く, 続いて MICr-P(chan)軸, S50C軸, MICr 軸の順序となり, 初期なじみ の悪い MICr 軸では S50C 軸よりも悪い結果を示している。荷重 100 kg/cm² の 場合(b)において, MICr-P(pit)軸で最も軸受温度が低く, MICr 軸と MICr-

-4.3-

P(chan)軸とはほとんど同じである。無負荷時においてS50C軸よりも軸受温 度の高かった MICr 軸は荷重 100 kg/cm² においてはわずかに低い値となった。

図3-14 に荷重と送油量を変化 させた場合のホワイトメタル軸受 の60分経過時の軸受温度上昇を 示した。

軸受温度は送油量の減少、荷重 の増加に従って一般に高くなる。

MICr-P (pit) ではいずれの荷 重あるいは送油量においても、他 の軸よりも軸受温度が低くすぐれ ている。



図3-15 に PTFE 軸受の 温度上昇を経過 時間について示 した。無負荷の 場合(a) におい て、送油量が少 ないと軸受温度 は高く、その傾 向は MICr 軸の ほうが大である。



荷重 5.6 kg/cm² の場合において,送油量が少ないと MICr 軸のほうが S 50 C 軸よりも軸受温度は高く、送油量が多いと MICr 軸のほうが低くなる。このよう に MICr 軸と PTFE 軸受の組合せでは冷却を十分行う必要があるといえる。

-44-

実験終了後の MICr 軸表面を観察すると、軸表面には段がつくほどクロムの摩 耗が生じた。これは軟かい PTFE 軸受にクロムの摩耗粉が押し込まれ、Cr と Cr の接触を行ったためと思われる。

3.3 油膜厚さに及ぼすポーラスクロムのタイプの影響

以下の図中に示す油膜厚さは軸受各測定点における測定値を算術平均した値で ある。

図3-16 に黄銅軸受における60分経過時の荷重に対する油膜厚さの変化を示した。

30

MICr-P(chan)軸 Na 7 ではどの荷重においても油 膜厚さが最も薄い。

MICr-P(chan)軸 No 8 では、荷重が増加しても無 負荷の場合と油膜厚さは変 らず全般に薄い。

25 回転速度 1000 rpm **n** 0 送油量 500 cc/min ő 60 分経過時 ų ₄₀ 15 油胰厚 01 Ø MICr-P(chan)軸 No.7 g ♦ MICr-P(chan)軸 No. 8 II MICr-P(chan)軸 No. 9 Ø MICr-P(chan端)軸 № 10 5 O MICr-P(pit 端)軸 №11 O MICr-P(pit)轴 No.12 0 0 50 100 荷重.kg/cm²

図3-16 荷重と油膜厚さ(黄銅軸受)

MICr-P(chan)軸 No.9 では無負荷の油膜厚さは厚

いが、荷重の増加とともに薄くなっている。

両端をエッチングしない MICr-P(chan端) 軸 No 10 でも No 9 と同様に荷重の 増加とともに油膜厚さは薄くなり、100 kg/cm²の場合には MICr-P(chan) 軸 No 7 に近い値を示す。両端をエッチングしない MICr-P(pit 端) 軸 No 11 では荷重 が増加しても油膜厚さは薄くならず、いずれの軸よりも油膜は厚い。

MICr-P(pit)軸 Na 12 は荷重の増加とともに油膜厚さが薄くなってはいるが、 100 kg/cm²時の油膜厚さが 20 μ m で他の軸の場合よりも厚い。以上のことから MICr-P(pit)軸のほうが MICr-P(chan)軸よりも油膜厚さは厚く潤滑をよく しているといえる。

-45-

図3-17 にりん青銅軸受における60分経過時の荷重に対する油膜厚さの変化 を示した。

MICr-P(chan)軸ではめ っき軸の中で最も油膜厚さが 薄い。しかし、荷重を増加し た場合に油膜厚さは少し厚く なっている。

MICr-P (pit) 軸では荷重 の増加とともに油膜厚さは薄 くなるが, 100 kg/cm²時にお いても 28 µmの油膜厚さがあ るため, 潤滑のよいことがわかる。



図3-18 に含油軸受における60分経過時の軸の種類と油膜厚さについて示した。

40

MICr-P (chan)軸と MICr-P (pit)軸での油膜厚 さの違いはほとんどないが, 負荷 50 kg/cm²時に MICr-P (pit)軸のほうがわずかに 厚い。

無負荷時よりも 50 kg/cm² において油膜厚さが厚くなっ



図3-18 軸と油膜厚さ(含油軸受)

ているのは、軸が軸受下部にかたよるためその部分の油膜厚さは薄くなるが、そ れ以外の部分では油膜厚さが厚くなり、全測定値の平均値が厚くなったものと思 われる。

図3-19 に荷重と送油量を変化させた場合のホワイトメタル軸受における 60

-46-

分経過時の油膜厚さを示した。



図3-19 荷重,送油量と油膜厚さ(ホワイトメタル軸受)

各送油量,荷重において,MICr軸とS50C軸では油膜厚さがほとんど同じか, あるいは少しMICr軸のほうが薄い程度で大差はない。

MICr-P(chan)軸と MICr-P(pit)軸とでも油膜厚さはあまり変らない。しかし MICr 軸と MICr-P 軸とでは MICr-P 軸のほうが約 10 µm ぐらい油膜は厚く, 潤滑のよいことがわかる。

3.4 軸受温度と油膜厚さに及ぼす油穴位置の影響



図3-20 経過時間と軸受温度上昇(黄銅軸受)

図3-20 に黄銅軸受の油穴位置を変化させた場合⁹⁾の軸受温度上昇を経過時間について示した。

無負荷時(a) および 2.8 kg/cm² 時(b) において, MICr 軸, MICr – P 軸とも 油穴の位置 240°の軸受温度が低くてよい。油穴位置 0°と 120° における軸受温度 は荷重 2.8 kg/cm² の場合に MICr – P 軸のほうが高い。これは送油量が 18.5 cc/ min と非常に少ないため, 潤滑油による冷却よりも常に温度の高い油がポーラス 中に存在するためであると思われる。

-48 -

図3-21 に 6 0 分経過時の油穴位 地に対する軸受温度上昇を示した。 油穴位置 0°では軸の種類,荷重によ って軸受温度が異なるが,他の油穴 位置の場合よりも高い。そして 240° では荷重の増加にともなって軸受温 度は高くなる。以上の結果から油穴 位置は 120°~ 240°の範囲に設けると よい。

図3-22 に 6 0 分経過時の油膜厚 さを油穴位置について示した。

油穴位置0°では他の油穴位置より も油膜厚さは薄く,240°では荷重が 増加しても油膜厚さは厚い。MICr 軸とMICr-P軸とを比べると, MICr-P軸のほうが油膜厚さは一般 に厚く,送油による冷却作用は少な いにしても潤滑性のよいことは明ら かである。





4. 結 論

クロムめっき軸,ポーラスクロムめっき軸に対する軸受温度上昇は軸受の硬さ や材質に大きく影響されるように思われる。本実験で用いた各種の軸受材料にお いて,荷重,送油量はすべて同じではないが,ポーラスタイプが軸受のなじみあ るいは油膜厚さに及ぼす影響は次のごとく明らかになった。

(1) 黄銅軸受とクロムめっき軸との組合せでは回転速度や荷重を増加させると軸 受温度は急に上昇し、凝着を起こす恐れが常にあり、なじみ性も悪い。

ポーラスクロムめっき軸との組合せでは, ピンポイントタイプのほうがチャ ンネルタイプよりも軸受温度は低く, 油膜厚さも厚い。また, ピンポイントタ イプのほうがチャンネルタイプよりも黄銅の摩耗粉による目づまりは少なくす ぐれている。

- (2) アルミニウム軸受とクロムめっき軸との組合せでは回転速度や荷重を増加させても焼付くようなことはない。また、ポーラスクロムめっき軸は軟らかいアルミニウム軸受を削るが、クロムめっき軸ではそのような恐れも少ない。
- (3) りん青銅軸受とクロムめっき軸との組合せでは焼付きやすく、荷重を増加させた場合に急に軸受温度が高くなり、油膜厚さが厚くてもあまりよい結果を示さない。しかしめっき軸のうちではピンポイントタイプポーラスクロムめっき軸で軸受温度が低く、油膜厚さが厚く最もすぐれている。
- (4) 含油軸受とクロムめっき軸との組合せではポーラスクロムめっき軸よりもクロムめっき軸の場合に油膜厚さは薄いが、軸受温度は低くすぐれている。これは軸受面が多孔質であるため適当な給油が行なわれているにもかかわらず、軸のポーラスがかえって潤滑油の流れに悪影響を及ぼしているためではないかと考えられる。
- (5) ホワイトメタル軸受とクロムめっき軸との組合せでは荷重よりも送油量の軸 受温度への影響が大である。クロムめっき軸とポーラスクロムめっき軸とでは

-49-

ポーラスクロムめっき軸のほうがよく、ポーラスクロムのタイプではピンポイント タイプのほうがチャンネルタイプよりも軸受温度は低く、油膜厚さも厚くてよい。 (6) PTFE軸受とクロムめっき軸との組合せでは、潤滑油のほとんどが水であ

- ったため送油量の多いほうが軸受温度をより低く保つことができる。荷重が増加し,送油量が少ない場合にクロムめっき軸はS50C軸に比べて軸受温度が高く,しかも実験終了後のMICr軸表面を観察すると,軸表面には段がつくほど 摩耗が多かった。したがって,常時回転する軸にはPTFE軸受は不適当である。
- (7) 油穴の位置 θ = 120°では荷重を増加させても軸受温度,油膜厚さへの影響は 少ない。 θ = 240°では荷重を増加させた場合,軸受温度よりも油膜厚さの変化 が大きい。すべての油穴の位置について比べると θ = 0°が最も悪く, θ = 120° と 240°では両者であまり相違はないが,荷重の変化に対して軸受温度,油膜厚 さへの影響の少ない θ = 120°のほうがすぐれていると思われる。
- (8) なじみ性の観点から検討すると、クロムめっき軸は初期なじみが悪いためならし運転を長くすることが望ましい。軸受材料としては第2章のケルメット軸受や本章の銅系含油軸受のほうが他の軸受よりもすぐれている。
- (9) ポーラスクロムのチャンネルみぞについて示すと、細いみぞで数多く分布しているほうが太いみぞで数少なく分布しているよりも軸受温度は低く、油膜厚さも厚くてよい。

ポーラスクロムめっきのチャンネルタイプとピンポイントタイプとでは,ピンポイントタイプのほうがどの軸受材料に対してもよい。そしてピットの大き さが小さく,多孔率で40% ぐらいまでが適当と思われる。

したがって、軸にポーラスクロムめっきをする場合にはピンポイントタイプ が適している。

-50-

- 1. D. Clayton : Proc. Inst. Mech. Engr., 155 (1946) 41.
- 2. 軸受潤滑便覧編集委員会:軸受·潤滑便覧,日刊工業(1961)109.
- 3. 佐々木外喜雄, 杉本 豊, 長江 茂:日本機械学会誌,55,402(1952)463.
- 4. 岸 松平:クロムめっき,日刊工業(1964)82.
- 5. 肥田 昭, 市村雄弘: 潤滑, 11.10(1966)437.
- 6。肥田 昭:近畿大学理工学部研究報告,13(1978-3)91.
- 7. 肥田 昭,市村雄弘:日本機械学会金沢地方講演論文集(1966)75。
- 8. 肥田 昭: 潤滑, 21.6(1976)384.
- 9。肥田 昭:近畿大学理工学部研究報告,13(1978-3)81.

第 4 章 往復動クロムめっき軸の軸受温度と潤滑

1. 緒 言

第2および3章では回転軸にクロムめっきおよびポーラスクロムめっきを施し た場合,これらが軸受性能に及ぼす影響について検討したが,往復動軸について も回転軸と同様な傾向を示すかどうか調べておく必要がある。

本章では直径に対して長さの短い種々のクロムめっき軸と材質の異なる5種類 の軸受(鋳鉄,鋼,黄銅,りん青銅およびアルミニウム)とをそれぞれ組合せて 用いた。潤滑方法は油潤滑,油と空気の混合潤滑および空気潤滑とした。そして, 各潤滑方法のもとでめっき軸を往復動させ,軸受の温度上昇,温度分布,油膜厚 さなどを測定し,軸受温度に及ぼす潤滑方法とポーラスクロムのタイプの影響, 油膜厚さに及ぼす軸と軸受材料の組合せの影響などについて検討した。また,往 復動内燃機関のクロムめっきを施したシリンダとピストンリングに関する研究報 告^{1,2,5)}の結果が本実験の結果と適合するかどうかを検討した。

2. 実験装置および測定方法

2.1 実験装置

軸に往復動を与えるため、200 W、1700 rpm のモータにバリダイヤプーリを取付 け、Vベルトで図4-1 に示したようなク ランク軸を1000 rpm で回転させることに より、軸受内にそう入した供試軸を連接棒 を通じて1m/s の平均速度で30 mm 往復 動させる。

往復動中回転しないよう、供試軸は取付





図4-1 装 置

-52-

軸に2本のピンで止め、さらにナットで締付けて固定する。

2.2 供試軸と軸受の形状寸法

図 4-2 の形状寸法に作成した S 50 C (Hv 268)の供試軸の表面に第1章, 表 1-1 の条件でめっきを施し, MICr 軸, MICr

-P(chan)軸および MICr-P(pit)軸を作成した。
めっき加工後,液体ホーニングで呼び寸法 30 mm φ,
表面あらさ 0.4 ~ 0.8 μm R_{max} に仕上げた。MICr P軸表面を顕微鏡で直接観察し、ピンポイントタイ



図4-2 供試軸

プについては1mm²当りのピット数,チャンネルタイプについてはチャンネルみ ぞ幅寸法を測定し,結果を後出の表 4-2 に示した。往復動部分(取付軸,供試 軸,座金,ナットなど)の重量は 189

gである。

軸受は 図 4-3 に示した形状寸法に 鋳鉄 (FC 23), 鋼 (SS 50), 黄銅 (B_sBF), りん青銅 (PBB 2) お およびアルミニウム (AlJ 2)で作成した。

これらの材料の化学成分と硬さを表 4-1 に示した。



表4-1 軸受材料の化学成分と硬さ

化学成分% 軸受	C	Si	Mn	Р	S	Fe	硬 さ (HRB)
FC 23	3.66	1.81	0.53	0.200	0.086	残	79.95
SS 50	0.08	0.18	0.31	0.041	0.047	残	96.75
业学成分% 軸受	Cu	Sn	Pb	Zn	P ·	-	硬 さ (HRB)
Bs BF	59.12	0.44	1.46	38.48	_	-	63.75
PBB $2-\frac{1}{2}H$	94.23	4.64	—		0.05	-	91.75
化学成分% 軸受	Cu	Si	Mn	Zn	Fe	Al	硬 さ (HRB)
AlJ 2	3.72	0.24	0.38	0 .1 3	0.45	残	72.50

-53-

軸受には温度測定のため1mmø,深さ6.5mmの穴を軸方向に3列,円周方向に4点,計12個所あけた。また油膜厚さ測定のため2mmø穴を軸方向に3列,円周方向に4点計11個所(送油穴位置を除く)温度測定位置と45°ずらせてあけた。

軸と軸受の組合せ,軸受直径すきまおよびポーラスクロムめっきの多孔率を表 4-2 に示した。

潤 滑 法		油,剂	由空気,	前方空気	周	囲	空気
軸	軸受	軸受すきま (µm)	多孔率 約 (%)	多孔率 みぞ幅, (µm) または ピット数(個/mm ²)	軸受すきま (µm)	多孔率 約(%)	多孔率 みぞ幅, (µm) または ピット数(個/mm ²)
	FC 23	41.5			62.0	_	
	SS 50	52.5	_	. —	68.0		
S 50 C	BsBF	47.5	_		65.0	_	—
	PBB 2	45.0	—	_	_	—	-
	AlJ 2	40.5	· —		62.8	-	
	FC 23	19.5	_	_	38.5	-	
	SS 50	53.0			57.0	_	. —
MICr	Bs BF	25.5	—	_	36.0	-	
	PBB 2	31.0	··		37.8	—	-
	ALJ 2	19.0	—	· <u> </u>	35.6		
	FC 23	27.0	32	1.6~31.6	31.8	16	5.0 ~ 1 1 .7
MICTO	SS 50	36.0	68	33.0~45.8	58.6	12	2 .5 ~ 10.0
MICT-P	BsBF	18.9	45	12.5 ~ 33.0	31.0	22	8.3~15.0
(channel)	PBB 2	41.0	18	4.2 ~ 1 4.2	31 .1	18	3.3~15.0
	AlJ 2	30.8	19	4.2~15.0	30.0	18	5.8 ~ 12.5
	FC 23	49.0	48	122	35.0	39	99
MICr-P	SS 50	54.0	58	146	59.1	31	80
(pippoint)	Bs BF	36.0	52	1 3 1	32.0	46	120
(pmpoint)	PBB 2	42.5	54	138	35.0	47	121
	AlJ 2	46.5	62	155	35.0	42	106

表4-2 軸と軸受の組合せ

2.3 温度测定方法

温度測定は 図 4-3 の軸受に設けた温度測定用穴に,長さ 1000 mm の銅(0.2 mm φ) - コンスタンタン(0.3 mm φ) 熱電対を補正後取付けた。

各測定点の温度は多点測定切換用2段2ポール12接点スイッチを使用し,冷 接点を通じてミリボルト計で測定した。測定後,補正 mV-℃曲線で電圧を温度 に換算した。測定順序は始動より 図4-3 のA列※位置よりA,B,C列,次にクラ ンク軸側からみて時計回転方向の列をそれぞれ図中の番号順に10秒間隔で測定 し,さらに10分後A列※位置より測定を繰返した。始動より30分間は測定し ながらならし運転し,さらに続けて30分間,計1時間の温度測定を行った。

2.4 油膜厚さ測定方法

油膜厚さ測定は 図4-3 の軸受に設けた油膜厚さ測定用穴に 1.0 mm ¢,長さ 1000 mm のエナメル被覆銅線を周囲と絶縁して取付け、図の電気回路と切換スイ ッチとを用いて行った。油膜厚さ測定と校正方法は第2章2.6節,2.7節 に示し た方法と同じである。

油膜厚さ測定は油潤滑の場合のみ行い,始動後30分, 60分経過時の2回測 定した。

各測定点の測定間隔は約10秒とした。

2.5 潤 滑 方 法

潤滑方法は油潤滑,油~空気潤滑および空気潤滑とした。

油潤滑の場合は油槽に SAE 30番モータオイルを入れ、油量調整弁で送油量が 0.5あるいは 1.0 cc/min になるよう調節し、軸受上部より滴下しながら給油を行 った。

油-空気潤滑の場合は圧縮機からの空気を空気だめに入れ、減圧弁でゲージ圧 力1kg/cm²に調節し、図4-1 に示したように軸受前側(クランクと反対側)に 取付けたキャップ中央から空気を送る。これと同時に油槽上部にも空気を送って 油面に圧力をかけ、潤滑油の滴下を行い、油-空気潤滑になるようにした。この

-55-

場合の空気流量は図4-1の圧力計とキャップ間の6mm¢の管内にピトー管を そう入して測定し、160 l/minの値を得た。したがって軸受内での平均空気速度 は3.7m/sと推定できる。

空気潤滑の場合は軸受前側に取付けたキャップの中央から空気を送る前方送風 方法と、図4-3 の軸受周囲に取付けた内径1mm の銅管、12個所から空気を 送る周囲送風方法とを用いた。前方送風の場合は油-空気潤滑で用いた油量調節 弁を閉じ、空気だけを軸受に送った。周囲送風の場合は軸受前側に取付けたキャ ップを取り除き、図4-1 の分岐管と減圧弁側の管とを接続して空気を送った。 軸受に取付けた各送風管内の圧力は分岐管と各送風管の途中にT字管を取付け、 切換弁を用いて圧力計で測定した。空気量は分岐管の手前で測定し、油-空気潤 滑の場合と同じ160 *l*/min の値を得た。

実験結果および考察

温度測定において、測定時の室温が異なると軸受、潤滑油、空気温度が異なり、 実験後の軸受温度をそのまま比較するのは不適当と考えられる。そこで実験期間 中の平均室温が約26℃であったので、始動前の温度を25℃に補正して図示し た。なお、以下に示す軸受温度は軸受の各測定点における測定値を算術平均した 値である。

3.1 軸受温度に及ぼす潤滑方法の影響

往復動において,一般に滴下給油法が多く用いられているため,まず油潤滑の 場合の軸受温度を経過時間について示し,次に各潤滑方法における60分経過時 の軸受温度を示した。

図4-4 に軸受材料別に油潤滑の場合の軸受温度を経過時間について示した。

鋳鉄軸受(a) において送油量 1.0 cc/min のとき S 50 C 軸よりも MICr 軸で軸 受温度は高いが、送油量が 0.5 cc/min になると S 50 C 軸よりも MICr 軸のほう が軸受温度は低くなる。これは送油量よりもめっき軸のなじみの悪いことに原因

-56-

しているように思われる。MICr-P(pit)軸ではいずれの送油量においても軸受 温度は低い。



図 4 - 4 軸受温度と経過時間(油潤滑)

鋼軸受(b)において、送油量が0.5と1.0cc/minのいずれの場合もS50C軸 よりも MICr 軸, MICr-P (pit) 軸で軸受温度は低い。

黄銅軸受(c)において、S50C軸よりもめっき軸のほうが軸受温度は高い。 しかし、めっき軸のうちで MICr-P (pit)軸はS50C 軸の軸受温度と大差がな い。

-57-

りん青銅軸受(d)において、S50C軸よりもめっき軸のほうが軸受温度は高く、 めっき軸との組合せはよくないようである。

アルミニウム軸受(e)において,送油量 1.0 cc/min の場合は S 50 C 軸よりも めっき軸のほうが軸受温度は低くてよい。

以上のごとく送油量が少ないとどの軸受においても軸受温度は高くなるが,軸 の種類が軸受温度へ及ぼす影響は組合せる軸受の種類によって異なるようである。

油-空気潤滑あるいは空気潤滑の場合も経過時間に対する軸受温度上昇は上記 図4-4 と同様な傾向を示した⁴⁾。図4-5 に60分経過時の各軸受温度上昇を潤 滑方法別に示した。



図4-5 潤滑方法と軸受温度上昇

油-空気潤滑では、MICr 軸やS 50 C 軸と鋼あるいはりん青銅軸受の組合せや、 MICr-P(pit)軸と鋳鉄、黄銅、あるいはアルミニウム軸受の組合せで軸受温度 が低い。この温度を低く保つ一因として、滴下した油が前方からの圧縮空気で軸 受表面に散布されるためと考えられる。

空気潤滑における前方送風と周囲送風を比べると,前方送風のほうが軸受温度 は低い。これは軸と軸受間を通過する空気量の相違によるためと考えられる。

-58-

すなわち,前方送風では軸受一端に取付けたキャップからの送風が全べて軸と 軸受間を通過し,後方(クランク側)から流出するのに対して,周囲送風では軸 両端から空気が流出するため,軸と軸受間のすきまを通過する空気量が少なくな り,冷却効果が少なくなるためである。

ー般に動圧空気軸受において、軸受すきまは油潤滑の 1/2 ~ 1/5 にするが⁵⁾,本 実験では油潤滑の軸受すきまのままで行った。

このため、往復動の上、下死点において軸の傾きが多くなって軸受面をこする ため、軸受温度が高くなったものと思われる。特に、周囲空気潤滑は他の潤滑方 法よりも軸受温度が高くなった。

以上の結果,油潤滑において,送油量をあまり多くしても往復動軸で潤滑油を 軸受端から排出してしまい,軸受温度を低くする効果は少ないと思われる。

潤滑方法としては油-空気潤滑または油潤滑がよく,空気潤滑では前方から送 風するほうが周囲から送風するよりもよいことが明らかとなった。

3.2 軸受温度に及ぼすポーラスクロムのタイプの影響

図4-6 に 60 分経過時の各軸受温度上昇を軸の種類について示した。



図4-6 ポーラスクロムのタイプと軸受温度上昇

油潤滑において, MICr-P(pit)軸を用いると, 黄銅とりん青銅軸受を除けば どの軸に対しても軸受温度は低い。前出の図4-4からも送油量が0.5 cc/min において MICr-P(pit)軸の軸受温度は同様に低いことがわかる。一方, MICr -P(chan)軸では軸受温度は全般に高い。特にアルミニウム軸受で送油量が0.5 cc/min になると50分経過時に急に軸受温度が上昇していることが図4-4 にお いて認められた。

油-空気潤滑においても MICr-P(pit)軸では鋼軸受、りん青銅軸受を除けば、 油潤滑の場合と同様に軸受温度は低く、よい傾向を示す。一方、MICr-P(chan) 軸では黄銅軸受、アルミニウム軸受に対してはそれほど軸受温度は高くないが、 その他の軸受では最も高い。そして油潤滑の場合と同様にS50C軸、MICr軸よ りも高い軸受温度を示し、よくない。

空気潤滑においては油潤滑でよい結果を示した MICr-P (pit) 軸では MICr軸 よりも軸受温度が高くなる。油潤滑で MICr-P (pit) 軸よりも軸受温度の高かっ た MICr-P (chan) 軸では MICr-P (pit) 軸と同じ軸受温度かまたは低くなる。

以上のごとく油潤滑において、MICr-P(pit)軸を用いると軸に保持されている油が潤滑を助け、軸受温度はMICr軸よりも低くなったと思われる。

内燃機関のシリンダに MICr-Pを用いた場合, 潤滑油の消費量は少なくなるが 多孔率の選定によっては焼付くこともある。そして MICr-P (pit)では初期摩耗 は大であるが, なじみがよいという報告がある⁶⁾。また, MICr-P (chan) はシリ ンダヘッドへの油あがりが多いと報告されている⁷⁾。

本実験においても MICr-P (chan) 軸のほうが MICr-P (pit) 軸よりも軸端か らの油の流出が多いことが観察された。この結果は MICr-P (chan) 軸では送風 された圧縮空気によりチャンネルみぞに沿って潤滑油が押しだされるのに対して, MICr-P (pit) 軸ではピット中の油が容易にピットから排出されないためである と考えられる。

空気潤滑において、MICr-P軸では軸と軸受間に介在する空気の流れが乱され

-60-

るためか,または常に乾燥摩擦状態に近い接触がなされ,ポーラス面による軸受 面の引かきが行われるため,軸受温度が高くなったと考えられる。

3.3 油膜厚さに及ぼす軸と軸受の組合せの影響

往復動軸と軸受の油膜厚さ測定においては、軸受の測定点上に軸の外周面が位 置していなければ、油膜を通して流れる電流は小さくなり、油膜は厚く測定され ることになる。

そこで測定値をできるだけ正確に比較するため各軸受の最小油膜厚さを用いる のが適当であると考え、図4-7 に最小油膜厚さを軸と軸受の組合せ別に示した。

どの軸受に対しても MICr -P軸の油膜厚さは S 50 C 軸, MICr 軸よりも厚く, ポーラ スクロムによる潤滑への効果 が明らかである。黄銅軸受に 対する MICr-P軸は S 50 C 軸の油膜厚さとほとんど同じ である。

図 4 - 4 (d) に示したよう

40 0 35 0 30 ۳u 0 軸平均速度 1 m/s 25 . 経過時間 60分 忉 潤滑方法 油潤滑 最小油膜厚 20 1.0 cc/min 送 油 量 0 0 ğ Ø 15 0 ● MICr 軸 10 . Ø MICr-P(chan)軸 O MICr-P(pit) 軸 5 S50C軸 0 FC SS Вs ΡB Al 軸受材料

図4-7 軸ー軸受の組合せと油膜厚さ

に、りん青銅と MICr-P軸の組合せでは油膜厚さが厚いのに軸受温度は高くなっている。またりん青銅とS50C軸の組合せでは油膜が薄くても軸受温度が低い。

このように往復動軸受においては油膜が薄くても油の広がりのよい表面を有す る軸受あるいは軸を用いるのがよいと思われる。

4. 結 論

(1) 潤滑方法としては油-空気潤滑が油あるいは空気のみによる潤滑方法よりも 軸受温度が低くてよい。油潤滑では送油量の多い 1.0 cc/min のほうが 0.5 cc/ min の場合よりもよい。油膜厚さや軸受温度の測定結果からみると、送油量を

 $-6^{\circ}1^{-1}$

さらに多くしても軸受端からの油の流出が多くなるだけで,軸受の冷却にそれ ほど役立つと思えない。空気潤滑では周囲より送風すると軸受両端から空気が 流出するのに対して,前方より送風すると軸受後方からのみ流出することにな る。したがって,後者のほうが軸と軸受間を通過する空気量が多くなり,軸受 を冷却したためによい結果を得ることができたと考えられる。

(2) ポーラスクロムめっき軸は油潤滑および油-空気潤滑においては回転軸の場合と同様によい結果を示すが、空気潤滑においてはよくない。

ポーラスクロムめっきではピンポイントタイプがチャンネルタイプよりもす ぐれているようで、この原因はポーラスクロムのタイプによる軸受すきま内の 油の流出のしやすさに関係するようである。

- (3) 本研究のように軸径に対して長さの短い軸では、軸受すきまを小さくし、軸 受両端での軸の傾きを防ぐほうがよいと思われる。また空気潤滑にする場には 油潤滑の場合の軸受すきまよりも小さくする必要がある。
- (4) 軸受材料は本研究のような無負荷状態ではどれを用いても大差はないが、鉄 鋼材料よりも非鉄金属材料のほうが、軸受温度が低く、油膜厚さが厚いためよいと思われる。

文献

1. 山内俊平, 伊藤義典, 紙野康美:日立造船技報, 21, 4(1960)193.

2. 清水三郎, 草間喜代松:日本機械学会誌, 70, 581(1967)882.

3. 高橋堅太郎:金属材料, 5,10(1965)44.

4. 肥田 昭, 市村雄弘:近畿大学理工学部研究報告6号 (1971)77.

5. 軸受•潤滑便覧,編集委員会編:軸受•潤滑便覧,日刊工業(1961)75.

6. 小林重一:金属材料, 5, 10(1969)59.

7. 伊藤義典: 内燃機関, 6, 3(1969)11.
第 5 章 ポーラスクロムのタイプと油膜形成

1. 緒 言

第3章では軸受温度あるいは油膜厚さに及ぼすクロムめっきのタイプの影響に ついて述べ、ポーラスクロムのめっき軸が軸受の潤滑に対して有効であることを 明らかにした。

この一原因として,めっき面上での油の広がり特性と軸受との間の油膜の形成 状態がポーラスクロムめっき面においてすぐれていることが考えられる。

チャンネルタイプではチャンネルみぞが全表面に連結しているため油の広がり がよく, ピンポイントタイプではピットが油だまりとなり, 油の広がりが悪いと 考えられている¹⁾。したがって, これらの油の広がりを観察すれば, 第3章の実験 においてチャンネルタイプで油膜厚さが薄く, ピンポイントタイプで厚くなった ことをいっそう明確にすることができる。

本章では表面あらさの異なるめっき試験片および粒度の異なる耐水研摩紙を用 いて,油の広がり特性を調べた。またポーラスクロムめっき軸と透明アクリル樹 脂軸受の組合せで油膜形成状態を調べた。

2. 実験装置および測定方法

2.1 供試材の形状寸法

第1章,表1-1の条件で直径60mm,厚さ3.2mmの表面あらさの同じ鉄板 あるいは50mm角,厚さ10mmの表面あらさの異なる鉄板にMICr,MICr-P (chan),およびMICr-P(pit)のめっきを施した。前者の供試材は粒度の異な る研摩紙で仕上げ,後者の供試材は、特に表面あらさの小さいものだけ,さらに バフで仕上げた。そして両供試材とも超音波洗浄後使用した。

また、油の広がりに対する表面あらさの影響を調べるため、表 5-1 に示した

-64-

種々の粒度をもつ耐水研摩紙²⁾
 を用いた。耐水研摩紙は110~
 150 g/m²の耐水処理したクラフ
 ト紙の表面に炭化けい素を接着
 したものである。

表5-1 耐水研摩紙の種類と粒度

研摩紙の種類 (番)	400	600	800	1000
研摩材の粒径(µm)	40	28	20	16

(注) 粒径は参考資料である。

油膜形成を観察する場合は,第3章,表3-2 に示した MICr-P軸(Na.7~ 12)と図3-5の形状に製作した透明アクリル樹脂の軸受を組合せた。

樹脂系の軸受では軸受すきまを金属軸受の場合の3~4倍にとるのが普通であるから,軸受内径寸法は60.2mmとした。

2.2 油滴広がり面積の測定方法

油滴広がり面積を測定する場合は 図 5-1 に示した装置を用いた。

油滴広がり面積(以下油滴面積という)は試 験片表面上10mm の高さからピペットでSAE 30番モータオイルを1滴(0.03 cc)落とし, 滴下後30秒, 60秒後に写真撮影を行い,その 後30分,60分後はノギスで油滴直径を測定し た。また同じ方法で各研摩紙上に油を滴下し, 1分,2分,10分経過後に写真撮影し,その後, 1時間から6時間までは1時間ごとにノギスで 油滴直径を測定し,油滴面積を算出した。

メスシリンダで測定する容量法とで測定した。



油1滴の量は直示天秤で測定する重量法と, 図5-1 装 置

その結果,油1滴の量は0.03 cc で,その誤差は1.3% であった。

2.3 油膜形成の観察方法

油膜形成の観察には 1/4 PS, 1800 rpm のモータを駆動源として使用し, 図 5 - 2 の供試軸を 800 rpm で回転させ写真撮影を行った。





表5-2 乳化油特性

オイルのみで潤滑すると軸と油 の色合の識別が困難であったた め、30番モータオイルに水溶性 切削油剤 (W1種)³⁾と水を表5 -2の割合で混合し、乳化させ て用いた⁴⁾。

この場合, SAE 30 番モータ

國	種別		乳化油に対 する混合比	乳化時の フォートカップ №.4 流出時間(15°C)	比重
30番	モータオ	イル	5	2分 5秒5	0.909
切	削 油	剤	1	27秒5	0.905
蒸	留	水	2	10秒0	0.999
乳	化	油		3分28秒6	0.936

混合油は粘度測定中に油と水とが分離または水が沈でんするため、フォードカ ップNa 4⁵⁾ で油の流出時間を測定して粘度の参考とした。図5-3 に乳化油の色 合と濃淡を写真で示した。

Özdas⁶は乳化油以外の観察用潤滑油としてけい光染料を油に混入している。 また油を少し乳化させるためには、微粉末の酸化チタンあるいはカルシウムを混 入する方法もある。本実験では、できるだけ 30 番モータオイルによく似た油性で しかも乳化させる方法を用いた。

送油量が多いと、軸の回転直後に軸受全面に潤滑油が行きわたり、軸の種類による油膜形成が判別できないので、送油量は 2.5 cc/min とした。

油膜形成の写真は,モータのスイッチを入れた瞬間と約40秒後の連続回転時 に,供試軸の軸心の高さの位置に設置したカメラで撮影した。照明はけい光燈と

-66-

実験結果および考察

3.1 油滴の広がりに及ぼすポーラスクロムのタイプの影響

円板形状の試験片は表面仕上時に同心円状の旋削条こんが残り,条こんに沿っ て油が流れやすい傾向がある。そこで同心円状条こんのない研削した正方形試験 片を主として使用した。

この場合,研削方向は油滴の広がりに対して影響を及ぼさず,常に円形の油の 島が形成された。

図5-4 に油滴面積の時間的変化を示した。

MICr 面上の油滴は滴下後ある程度広がった後、広がりはほとんど停止する。

MICr-P(chan) 面上の油滴は滴下後すぐ に広がり, MICr のように停止することなく 試験片全表面に広がる。MICr-P(pit)面上 の油滴の広がりは MICr-P(chan)よりも悪 いが, MICr のように停止しないで徐々に試 験片全表面に広がる。

実験時の室温や油温の相違は油の粘度を変 えるため、油滴の広がりはこれらの条件によ って異なるので注意を要する。



図5-4 経過時間と油滴面積 (めっき面上)

MICr-P での油滴面積は MICr よりも大きいと報告されており⁷⁾, 本実験の結 果と一致する。さらに MICr-P の油滴面積はポーラスクロムのタイプによって 異なり, チャンネルタイプではピンポイントタイプよりも大きく, チャンネルみ ぞに沿って油が広がることが明らかとなった。

図 5-5 にめっき面上の油滴面積を表面あらさについて示した。

-67-

クロムめっき面上の油滴面積はポーラスクロムのタイプや表面あらさに影響されるようであるが、そのいずれに大きく影響されるかは明確ではない。表面あら さ3~4μm R_{max} 程度まではあらいほど油滴面積は大きい。これ以上のあらさで は、油滴面積はあらさによってほとんど変らない。また、あらさにかかわらず、ポ ーラス面ではチャンネルタイプのほうがピンポイントタイプよりも油滴面積は大きい。



-68-

図5-6 に耐水研摩紙上での油滴面積を経過時間について示した。

研摩紙の粒度(番)の順序で油滴面積は小さくなっている。すなわち,研摩材 の粒径の小さいものほど油滴面積は小さい。

図 5-7 に耐水研摩紙の種類と油滴面積の関係を示した。

油の滴下後,油滴面積は増加し,粒径の大きい場合,5時間後の油滴面積は約 2200 mm² になる。粒径の小さい場合,5時間後においても1400 mm²で,粒径が 大きいほど油滴面積は大きいことが明らかとなった。

以上のごとく,めっき面上と研摩紙上における油滴の広がりは,表面あらさに 対して同じような傾向を示し,表面あらさが大きいと油滴の広がりは大きい。ポ ーラスクロムめっきのように表面にみぞまたは穴があると油滴の広がりはみぞま たは穴の形状で異なる。

3.2 油膜形成に及ぼすポーラスクロムのタイプの影響

透明アクリル樹脂軸受と MICr-P 軸を組合せ,乳化油を給油しながら軸を回転させた場合の油膜形成状態を 図 5-8 に示した。

図5-8(a)に始動時の油膜形成状態を示した。写真上で白っぽい個所ほど油 膜が厚いことを示しており、写真観察から油膜形成状態がわかる。

MICr-P(chan)軸 Na 7 では中央に油が存在し、広がりは悪く、油膜は下側で 薄い。MICr-P(chan) Na 8 軸では中央附近で部分的に油が存在するだけで油膜 は最も薄い。MICr-P(chan) 軸 Na 9 では中央より軸のつばの反対側によく油が 広がっている。MICr(chan 端) 軸 Na 10 では軸受上部で油がよく広がっているが、 軸のつば側で油膜は薄い。MICr-P(pit 端) 軸 Na 11 では軸受中央部から上部に わたり油膜が存在し、軸のつば側で薄い。MICr-P(pit) 軸 Na 12 では油膜の広 がりがよく、軸受上部で油膜厚さは最も厚い。

すなわち、始動時において、MICr-P(chan)軸ではチャンネル幅の異なるみ ぞが混在している軸のほうがみぞ幅の太いだけよりも油膜形成はよい(第3章表 3-2参照)。MICr-P(pit)軸での油膜形成はMICr-P(chan)軸での油膜形

-69-



MICr-P(chan)軸Na 7 MICr-P(chan)軸Na 8 MICr-P(chan)軸Na 9 MICr-P(chan端)軸Na 10 MICr-P(pit端)軸Na 11 MICr-P(pit端)軸Na 12

図 5 - 8 油 膜 形 成 (上段(a): 始動時,下段(b): 約 40 秒後) 送油量 2.5 cc/min 回転数 800 rpm 容温 15℃

成よりもよい。これは軸のピット中に入った油と軸表面の油とで油膜形成をする ためと考えられる。軸の両端をエッチングしない軸は、軸の全表面をエッチング した軸に比べ、油の流出を防いでいるようではあるが、エッチングしていない部 分の油膜は薄い。

図5-8(b)に始動後約40秒経過した時の油膜形成の状態を示した。

MICr-P(chan)軸 Na 7 では軸の全表面に油は広がるが、つば側より油が飛び だし、端でわずかに薄くなった。MICr-P(chan)軸 Na 8 では軸のつば側に油の 切れた部分が生じ、軸受両端では油膜は薄い。MICr-P(chan)軸 Na 9 では軸の 左下側に油の切れた部分があるが、左上側の油膜は比較的厚い。MICr-P(chan 端)軸Na 10 では軸のつば側に油の切れた部分があり油膜は中央部で厚いが両側に なるほど薄い。MICr-P(pit端)軸 Na 11 では軸全面に油が薄く存在している。

-70-

MICr-P(pit)軸 Na 12 では Na 11軸よりも軸全面に油が厚く分布し、軸受両端の 油膜厚さが中央部とほとんど同じであることがわかった。すなわち連続運転時に おいても始動時と同様にチャンネルタイプではチャンネル幅の異なるみぞが混在 しているほうが、みぞ幅の太いだけのものよりも油膜形成はよい。また MICr-P(pit)軸のほうが MICr-P(chan)軸よりも、ピット中に油を多く保持して回 転しているため、油膜が厚く、油の広がりもよい。

以上の結果は、第3章、第3節の油膜厚さ測定結果とよく一致している。

4. 結 論

- (1) 油滴の広がりは表面あらさが小さいほど悪く、大きいほどよいが、 3~5 μm
 R_{max} 以上になるとほとんど変らない。あらさが大きすぎると表面のくぼみに多量に油がたまり、広がりに寄与する油量が少なくなるためと考えられる。
- (2) ポーラスクロムめっき面での油滴の広がりの状態からみると、チャンネルタ
 イプで油は広がりやすく、したがって油膜は薄くなる。
- (3) ポーラスクロムめっき軸の油膜形成の観察から、ピンポイントタイプのほう がチャンネルタイプよりも油膜が厚く、軸受全面に分布する。
- (4) 電位差による油膜厚さの測定方法では、測定位置の油膜の情報しかわからないが、透明アクリル樹脂軸受を使用すると軸受全体の油膜形成状態が観察できる。しかし、長時間運転すると軸受温度が上昇し、熱膨張のため正確な観察は望めない。また乳化潤滑油の油性が実際に用いる油の油性と著しく異なる場合には、この方法は不適当であり、乳化油の作成方法を検討する必要がある。
- (5) 第3章の油膜厚さ測定結果と本章の油膜形成の観察結果とはよく一致し、第 4章で示した油膜厚さに及ぼすポーラスクロムのタイプの影響をさらに明確に することができた。

文 献

1. 岸 松平:クロムめっき,日刊工業 (1967)131.

2. 日本規格協会: JIS R6253 (1971).

3. 日本規格協会: JIS K2341 (1961).

4. 肥田 昭, 市村雄弘: 潤滑,11, 10(1966)437.

5. 日本規格協会: JIS K5650 (1961).

6. M. N. Őzdas : Trans. ASME, 5(1958)826.

7. E. Meyer-Rässler : Metalloberf., 3 (1951)B 33.

第6章 軸受材料の凝着現象

1. 緒 言

第2章および第3章では硬質クロムめっき軸あるいはポーラスクロムめっき軸 と各種の軸受(ケルメット、アルミニウム、黄銅、りん青銅、ホワイトメタル、 銅系含油および PTFE)とを組合せ、実機に近い状態で実験を行い、軸受温度上 昇および油膜厚さに及ぼす回転速度、荷重、あるいは送油量の影響などについて 述べた。

その結果、めっき軸とケルメット軸受の組合せが最適で、黄銅あるいはりん青銅軸受の組合せは凝着または焼付を起こしやすいことが明らかとなった。

本章では5種類(銅,亜鉛,すず,鉛およびアンチモン)の純金属と,それらの 合金試験片をクロムめっき軸あるいはポーラスクロムめっき軸と無潤滑のもとで 摩擦させ,凝着現象を調べた。また実験中にクロムめっき軸の表面に割れが生じ るのを観察したので¹⁾ クロムめっき軸およびポーラスクロムめっき軸を高温炉内 に入れて,表面に割れの生じる温度を測定し,割れの状態についても観察を行っ た。

実験装置および測定方法

2.1 実験装置

図 6-1 に示した装置において、 1.5 PS, 1800 rpm のモータを駆動源として 使用し、Vプーリを介して供試軸を 940 rpm で回転させた。

供試軸は試験片取付軸にナットで締付けて固定し,試験片は試験片保持台に取 付ける。荷重は試験片一端にかぶせた負荷用キャップをばね秤を通じて引っ張る ことによって負荷する。荷重の調節は負荷用ハンドルと微動調節ハンドルを回転 させて行い,本実験では試験片を供試軸に10kgで押しつける。モータの始動時

-73--



図6-1 装

置

の回転速度は一定していないため、回転速度が一定になるまで負荷除去用レバー で供試軸と試験片が接触しないように保ち、所定の回転速度になれば負荷をかけ る。なお両接触面は湿度の影響を受けると凝着現象の測定が不正確になると考え られるため、乾燥剤で吸湿させた樹脂板の囲いの中で、供試軸と試験片を摩擦さ せた。

2.2 供試軸と試験片の形状寸法

供試軸は 図 6-2 の形状に S 50 C で作成し, 表面に第1章 表 1-1 の条件で めっきを施し、MICr 軸、MICr-P (chan) 軸および MICr-P (pit) 軸を作成し た。めっき加工後、液体ホーニングで加工

し, 呼び寸法 30mm Ø, 表面あらさ 0.4 ~

0.8µm R_{max}に仕上げた。

めっき厚さは磁力厚さ計で測定し、その 値は平均 0.102 mm であった。



硬さは抜取検査方法によって同種類の供 試軸を5個ずつ取りだし、測定した。

図 6 - 2 供

MICr 軸あるいは MICr-P (pit) 軸では Hv 850 ~ 856, MICr-P (chan) 軸 では Hv 875 であった。

-74-

試験片は図 6-3 の形状に銅(A) あるいはりん 青銅(F)丸捧を長さ75mmに切断し,端面を研摩 紙1000番で仕上げた。



表 6-1 に示した亜鉛,すず,鉛およびアンチ モンの純金属試験片 (B~E) とそれらの合金試験 図6-3 試験片 片(G~Q)は,内径12mmの石英管の一端をセメントで固めた筒にそれぞれ溶融 金属を流し込んで作成し、表面を上記と同じ方法で仕上げた。

軸と接触させる試験片の表面は実験前に試料研摩盤を用いて、研摩剤なしで水 のみのバフ仕上げを行った。ただし、銅とりん青銅試験片に対しては、研摩剤と して酸化クロムと水を1:100の重量割合で混合した溶液でバフ仕上げを行い、 最後に水のみでバフ仕上げを行った。これらの試験片の化学成分と硬さを表 6-1 に、そのうち、合金試験片の表面顕微鏡組織を図 6-4 にそれぞれ示した。



100 µm

図 6-4 合金試験片の表面顕微鏡組織

試験片には温度測定のため、接触面より1.5mmの位置に、1mmφ、深さ6 mmの穴をあけた。また実験中に試験片が回転しないように、接触面より15mm の位置に2mmφ、深さ5mmの回り止め穴を設けた。

2.3 温度測定方法

試験片の温度測定は図6-3の試験片に設けた温度測定用穴に、長さ1000mm の銅(0.2mm¢)-コンスタンタン(0.3mm¢)熱電対を取付け、冷接点を通 じてミリボルト計で測定した。測定後、補正mV-℃曲線で電圧を温度に換算し た。

2.4 凝着現象の測定方法

バフ仕上げした試験片を,表面に傷があるかどうかを顕微鏡で観察した後,実 験装置に取付ける。

試験片A~Fでは、10秒間供試軸と摩擦させて、試験片の温度測定を行い、停止させる。そして両接触面を観察し、表面に変化がなければ変化の生じるまで同じことをくり返す。この方法によると、停止時ごとに温度低下があり、このため表面状態が連続運転時と異なることが考えられる。そこで、表面間の状態が変化した温度まで連続摩擦させる方法でも測定する。A~F試験片の測定においては、10秒間ぐらいで凝着を起こすことが多かったため、G~Q試験片では10秒間摩擦させた。

実験後の両摩擦面は顕微鏡で観察し,写真撮影を行う。その後,軸表面をガー ゼで軽くふき,再び顕微鏡で観察して試験片材料の軸への移着,凝着あるいは目 づまり状態を調べた。

2.5 めっき面の割れの測定方法

りん青銅試験片(F)の凝着現象の測定中に、供試軸のめっき面にわずかな割れ の発生を観察した。この割れの発生状態を調べるため、乾燥炉と電気炉を用いて、 めっき厚さ 0.1 mm の MICr 軸および MICr-P 軸の割れと温度の関係について 測定した。乾燥炉の温度を 50,100,150℃ に、また電気炉の温度を 200℃ ある

-76-

いは 300 ℃ にそれぞれ保ち,供試軸を15分間炉中に入れ,大気中で徐冷後,表 面を観察する。まためっき厚さが割れに関係すると考えられるため,厚さ0.065 mm のものについても同様の実験を行った。

MICr-P軸は乾燥炉中の実験では割れの状態を正確に観察できなかったため、 電気炉の温度を 30℃ から 18 分で 100℃に、さらに 12 分で 200℃ まで上昇させ、 その後大気中で徐冷後表面観察する方法を採用した。

表面の割れの判定においては、顕微鏡と目盛付レンズとを用いて、割れみぞ幅 の測定を行った。

2.6 圧こん形状の観察

ポーラスクロムめっき軸のみぞあるいは穴の中に潤滑油が存在していないと、 実験中に試験片材料による目づまりを起こすことが多い。この原因を調べるため、 めっき軸を回転させないで、鉛試験片(D)を10kgの荷重で押しつけて試験片表 面へのポーラス模様の転写状態を観察した。

実験結果および考察

3.1 試験片の温度上昇

属試験片材料が凝 着を起こすまでの 経過時間と試験片 の温度を図6-5 に示した。

めっき軸に純金

MICr 軸に銅 (A) が凝着を起こ すまでの時間は長 く,それだけ試験



片の温度は高くなる。

MICr-P(chan)軸には 15 秒で, MICr-P(pit)軸には 20 秒で銅が凝着を起 こした。10 ~ 20 秒経過時の試験片温度は両軸とも MICr 軸よりも高い。

亜鉛(B)は MICr 軸に短時間で凝着を起こし、10秒後の試験片温度は MICr-P 軸よりも高い。MICr-P (chan) 軸あるいは (pit) 軸に対しては 70~80秒後
 まで凝着を起こさない。

すず(C)は MICr 軸と MICr-P(pit)軸に短時間で凝着を起こすが、 MICr-P (chan)軸には 80 秒後まで凝着を起こさない。

鉛(D)はいずれの軸に対しても短時間で凝着を起こす。

MICr-P 軸では MICr-P (chan) 軸のほうが MICr-P (pit) 軸よりも凝着を起 こしやすい。

アンチモン(E)は本実験で使用した材料のうち最も短時間で凝着を起こした。 同じ経過時間ごとの各試験片の温度を比較してみると、MICr 軸に対して、鉛 と亜鉛は試験片温度が高く、MICr-P(chan)軸に対しては銅が高い。 また亜鉛 よりもすずのほうが試験片温度が高い。

MICr-P(pit)軸に対して、いずれの試験片も試験片温度は高いが、そのうちでは亜鉛が最も低い。

図 6-6 に各試験片の 10 秒経過後の温度上昇を示した。

合金試験片 (F~Q)におい て, MICr 軸での試験片温度 上昇は MICr-P軸に比べて 低い。また MICr-P軸のうち で, MICr-P (pit) 軸に対し てG~JあるいはO試験片の 温度上昇は MICr-P (chan) 軸に対するよりも低い。その



他の合金試験片では MICr-P (chan) 軸に対する温度上昇のほうが低い。

MICr-P(chan)軸ではチャンネルみぞ幅の細いものと太いものとが混在している軸のほうが、太いみぞ幅のみ存在している軸に対するよりも、試験片温度上昇は少ない。

3.2 純金属試験片の軸への凝着現象

試験片と供試軸の表面観察結果を表 6-2 に示した。

この表中に次節の合金試験片と供試軸の表面観察結果も記述し,各試験片ある いは供試軸をそれぞれ比較しやすくした。

				試	験片	Ø	表面						ø ,	ē ļ	歯の	表面	0	
Ē	а, Д		/MICr		/(chan)		/(chan太)		/(pit)		MI	Cr	MICr-I	(chan)	(char	n太)	MICr	-P(pit)
周	更	ļ	彰 耗	盾	差 耗	周	≝ 耗	周	医 耗	ガ		でふく	ガーゼ	でふく	ガーゼ	でふく	ガーセ	でふく
*	ĩ	大きき	部分と周囲	大きさ	部分と周囲	大 き _さ	部分と周囲	k j	部分と周囲	É	肻	後	前	後	前	後	前	後
Cu	Α	小	美しい,堆	小	美しい,堆		-	小	美しい,堆	着	色	とれる	着色	かたり どれる	-	-	着 色	かたり どれる
Zn	в	小	美しい,堆	小	美しい,堆	-	-	小	美しい,堆	着	色	とれる	目づまり	かたり とれる		· -	目づまり	とれない
Sn.	С	小	美しい,堆	小	美しい,堆		_	小	美しい,堆	着	色	とれない	目づまり	とれない	-	-	目づまり	とれない
Pb	D	中	美しい, 堆	中	美しい, 堆	-	-	中	美しい,堆	着	色	とれる	目づまり	かたり	_	-	目づまり	とれない
Sb	Е	小	美しい	小	荒れる,堆	-	-	大	美しい ·	着	色	かなり	着色	かたり	-	· –	目づまり	かたり どれる
	F	小	荒れる	小	荒れる			小	美しい	割	13	とれない	移着	とれない	_		目づまり	とれない
Pb	G	中	美しい,堆	大	条とん,堆	-	-	大	美しい,堆	着	色	とれる	目づまり	とれる	_	-	移着	かたり
+	н	小	美しい	大	美しい,堆	-	-	大	荒れる	移	着	とれない	移着	とれない	-	-	目づまり	とれる
Sb	I	小	美しい	中	荒れる	大	荒れる,堆	小	美しい	着	色	とれる	着色	かなり	目づまり	とれない	着色	とれる
Pb	J	小	美しい	中	美しい,堆	大	荒れる,堆	中	美しい,堆	着	色	とれる	目づまり	とれない	目づまり	とれる	着色	とれる
+	К	小	美しい	中	荒れる, 堆	大	荒れる,堆	大	美しい,堆	移	着	とれる	目づまり	とれる	目づまり	薄く	目づまり	とれる
Sb	L	小	美しい	中	美しい,堆	大	荒れる, 堆	中	美しい,堆	着	色	とれる	目づまり	とれる	移着	とれない	着色	Entro
+	М	小	美しい	中	美しい	大	条とん,堆	中	美しい	移	着	とれる	目づまり	とれない	目づまり	とれる	着色	かかり
Sn	Ν	中	美しい,堆	中	条とん	小	美しい	大	美しい, 堆	着	色	とれる	目づまり	とれる	目づまり	とれる	着色	とれない
	о	小	美しい	小	条こん,堆	大	条とん,堆	中	美しい,堆	移	着	とれる	目づまり	とれる	着色	とれない	着色	とれない
	Р	小	美しい	中	条とん,堆	大	条とん,堆	小	美しい	着	色	とれる	目づまり	とれる	移着	とれない	着色	かたり
	Q	小	荒れる, 堆	大	条とん,堆	大	荒れる,堆	大	美しい,堆	移	着	とれる	移着	かたり	移着	とれない	着色	とれる
	(注) 堆:摩耗部分の前方に試験片材料が堆積することを意味する。																	

表6-2 試験片と軸の表面観察結果

この表からめっき軸に凝着の起こしやすい試験片材料あるいは目づまりの起こ しやすい軸とその表面のポーラスクロムのタイプがわかる。

図6-7~6-11 に純金属とめっき軸の摩擦後の表面を顕微鏡写真で示した。

-79-

銅試験片(A)の場合を図6-7 に示した。

MICr 軸表面には薄緑色に色がつく。こ れをガーゼでふくと,わずかに色は薄くな るがふきとれない。これは銅の微細な摩耗 粉が酸化し,(a)の黒色部分のように凝着 しているためである。試験片の表面には削 り取られた摩耗粉が凝着している。

MICr-P(chan)軸表面には茶かっ色の 銅が凝着しており、ガーゼでふいてもとれ ない。これは摩擦により削り取られた銅が (b)のようにチャンネルみぞの中に埋め込 まれているためである。試験片表面にはほ ぼ等間隔に傷がつき、そのとつの部分(テ スト前の表面に相当する)に対状の銅が超る



図 6-7 銅試験片と軸の摩擦後の表面

スト前の表面に相当する)に粒状の銅が凝着している。

MICr-P(pit)軸表面は薄い緑色になり、(c)のようにピット中に銅が埋め込まれる。試験片のほうはわずかに摩耗したが、その表面は美しい。

以上のごとく銅試験片とめっき軸の組合せでは,一般に軸は薄緑色から茶かっ 色となり,銅試験片の摩耗した部分の回転方向前方にわずかに摩耗粉がついてい る。

亜鉛試験片(B)の場合を図6-8に示した。

MICr 軸表面は薄く緑色になる。しかしガーゼでふきとると摩擦前の光沢が得 られるような凝着である。試験片は(a)のように局部的に黒い部分ができている が、摩耗部分は比較的美しい。

MICr-P(chan)軸は(b)のようにチャンネルみぞの部分に亜鉛の目づまりを 起こすが、みぞ以外の軸表面への凝着は MICr 軸と同様にふきとれる。試験片は 黒くすじがついた状態で摩耗している。 MICr-P(pit)軸表面は(c)のようにわ ずかに目づまりをしている。試験片のほう の摩耗部分は美しい。

亜鉛試験片の摩耗部分の前方には波状に 材料が盛りあがり,摩耗粉とならないため 脱落しにくい。

すず試験片(c)の場合を図6-9に示した。 MICr 軸表面は(a)のように,すぐに光 沢がなくなり,緑色,茶かっ色あるいは薄 黒く色がつくことが多い。ガーゼで表面を ふいてもとれず,また光沢も得られない。 試験片は試験後すぐこげ茶色になった。

MICr-P(chan)軸のチャンネルみぞは(b) のように目づまりを起こし、みぞがすずで埋 め込まれている部分もある。試験片は摩耗部 分に傷がつき、その横が非常に黒くなった。

MICr-P(pit)軸の表面は,(c)のよう に,チャンネル軸表面よりも目づまりは少 なく,この目づまりはわずかに緑色がかっ ている。試験片の摩耗部分の前方には波状 に材料が盛りあがり,摩耗粉とならないた め,落ちにくい。

鉛試験片(D)の場合を図6-10に示した。

MICr 軸表面は(a)のように薄い緑色ま

MICr end(a)firsk fr<math>MICr end(a)<math>firsk fr<math>MICr - P(chan) end<math>firsk fr<math>MICr - P(chan) end<math>firsk fr<math>MICr - P(pit) end<

MICr軸 (a)



MICr-P(chan)軸(b) 試験片



試験片

図 6 − 9 すず試験片と軸の摩擦後の表面

たは薄黒く色がつき,ガーゼでふくととれる場合と,とれない場合とがある。試 験片のほうはおうとつが多く,摩耗部分は非常に黒くなっている。 MICr-P(chan)軸の表面は(b)のよう にチャンネルみぞの中に鉛の摩耗粉が埋め 込まれ、わずか緑色になる。ガーゼでふく と、表面の凝着物はわずかにとれるがみぞ 中の目づまりはとれない。試験片のほうも 非常に黒くなり摩耗部分には引かきこんが みられた。

MICr-P (pit) 軸表面は (c) のように少 し目づまりを起こす。

鉛試験片は他のいずれの試験片よりも軟 かく,延性を有するため、摩耗粉とならな いで摩耗部の前方に波状に材料が堆積し, 表面はすぐに黒くなる。

アンチモン試験片(E)の場合を図6-11 に示した。

MICr 軸表面には(a)の黒色部分のよう に,アンチモンがわずかに凝着しているが, ガーゼでふくと完全にとれてもとの表面の 光沢が得られる。これはアンチモンが常温 大気中で酸化しにくいためと考えられる。 試験片は硬いため,摩耗は非常に少ない。

MICr-P(chan)軸表面には(b)のよう にアンチモンの凝着が多く,ガーゼでふき とればチャンネルみぞ中に埋め込まれた部



摩耗部分

分以外はふきとれる。試験片の摩耗は少ないが、摩耗部分は荒く削られている。 MICr-P(pit)軸表面は(c)のようにかなりの目づまりを起としているが、ア

-82-

ンチモンの凝着はない。また軸表面は研削したような光沢を生じ、輝面摩耗を起 こしたものと思われる。試験片は大きな摩耗を生じているが、変色あるいは着色 はみられない。

アンチモン試験片は硬いため、削りとられた摩耗粉は鉛試験片のように摩耗部 分の前方に堆積しないで、ポーラスのみぞあるいは穴に入り込む。

純金属とめっき軸の組合せでは、MICr 軸に対してすず試験片は凝着を起こし やすく、銅試験片は摩耗粉が酸化し、化学的なじみ性を作るように思われる。

MICr-P(chan)軸では、いずれの試験片においても目づまりを起こしやすく、 特にすずがチャンネルみぞに多く入り込む。これはチャンネルみぞの角が軟かい すず試験片を削り取るためである。試験片が鉛のように延性材料であれば摩耗粉 とならないで摩耗部分の前方に盛りあがって波状に堆積する。延性材料でなけれ ば、試験片材料は摩耗粉となって脱落する。

MICr-P (pit)軸では、いずれの試験片においても目づまりは多いが、チャン ネルタイプのようにみぞを埋めてしまうようなひどい目づまりは起こさないで、 部分的に目づまりをする。

めっき軸に対して軸受材料を過度に硬くすることはなじみ性を悪くし,耐摩耗 性をとぼしくする。なじみ性をよくするために表面に酸化膜,硫化膜あるいは塩 化膜などの被膜を作ることが考えられるが^{2~4)},軸受を適当な硬さにするほうがよ いと考えられる。次に種々の硬さの合金試験片とクロムめっき軸の凝着状態につ いて示す。

3.3 合金試験片の軸への凝着現象

りん青銅試験片(F)と軸の摩擦後の表面を図6-12 に示した。

MICr 軸表面にはりん青銅は凝着を起こしやすい。また軸表面のめっきの一部 がはく離し、試験片に凝着した。そして(a)のように軸表面には顕微鏡でしか観 察できないような割れが生じた。

MICr-P軸では、軸表面に割れあるいははく離は生じないが、凝着や目づまり

-83-

が起こりやすく,チャンネルタイプのほう がピンポイントタイプよりもその傾向は大 きい。図の(b)と(c)に MICr-P(chan) 軸と MICr-P(pit)軸の目づまり状態をそ れぞれ示した。

一般にりん青銅試験片の摩耗粉は微粉末 となり,試験片には堆積しないで脱落する が,チャンネルタイプではみぞ中に摩耗粉 がたまり,目づまりの原因になることがわ かった。りん青銅と MICr 軸を組合せた場 合は,めっき面にはく離が生じた。これは 試験片の研摩時に用いた酸化クロムが試験 片に付着し,そのため MICr 軸と凝着しや すくなったと考えられる。

この原因を調べるためりん青銅試験片の 研摩方法を変えて凝着までの時間を測定し た。その結果を図6-13に示した。りん青 銅試験片のバフ仕上げに酸化クロムと水を 1:100 で混ぜた研摩剤を用いると,水のみ でバフ仕上げするよりも速く凝着を起こす。

しかし、水のみのバフ仕上げでは、仕上 回転速度 940 rpm げるまでに時間がかかり、しかもバフの損 図6-13 研摩剤と凝着までの時間 傷はひどい。したがって、ある段階までは酸化クロムを用いて仕上げ、その後は 水だけで仕上げる方法がよいと思う。

鉛とアンチモン合金試験片(G~I)は MICr 軸に対して凝着を起こしたように 見えることが多いが、軸表面をガーゼでふくとH試験片以外は美しくなる。



図 6 - 12 りん青銅試験片と軸の 摩擦後の表面





図 6-14 に H 試験片と各軸の摩擦後の表面 を示した。 MICr 軸表面には(a)のように H 試験片の材料が凝着を起こしている。 MICr-P(chan)軸では鉛の含有量が少な くなると,試験片の摩耗は少なくなった。 摩耗部分の条こんはあらく,H試験片では, (b)のように摩耗部分の前方に削り取られ た材料が堆積する。チャンネルみぞ幅が太 くなると目づまりが多くなり,ガーゼでふ いても美しくならない。

MICr-P(pit)軸では試験片材料が凝着 あるいは目づまりをしても表面をガーゼで ふけば目づまり以外は取り除かれ美しくなる。



図 6 - 14 H試験片と軸の摩擦後の表面 (Pb 70%, Sb 30%)

GあるいはH試験片に生じた摩耗によるくぼみはI試験片よりも大きい。また GあるいはI試験片の摩擦面はH試験片よりも美しい。

鉛-アンチモンーすず合金試験片 (J~Q)の摩擦では,MICr軸にいずれの試 験片材料が凝着しても,ガーゼでふきとれるがもとの光沢は得られない。

図 6-15 にLおよびP試験片と軸の摩擦後の表面顕微鏡写真を代表的に示した。

MICr 軸に対する試験片の摩耗はわずかであり、しかもその摩耗部分はNある いはQ試験片を除けば、非常に美しかった。

MICr-P(chan)軸の目づまり状態は試験片材料によって異なるが、いずれの 試験片と組合せてもチャンネルみぞは試験片の摩耗粉で埋められる。軸表面をガ ーゼでふけばMおよびQ試験片以外は取り除ける。チャンネルみぞの太い軸では 目づまりも多く、表面をガーゼでふいても簡単にとれないぐらい強く凝着を起こ す。

試験片の摩耗は大きく,くぼみの底の部分にはチャンネルによる引かきのため,

-85-



非常に荒く削り取られたような傷がつき,摩耗部分の前方には削り取られた試験 片材料が波状に堆積する。

MICr-P(pit)軸はもとの軸表面が黒いため、わずかな試験片材料が凝着して も非常に目だつ。その凝着物はガーゼでふきとれば、J、KあるいはQ試験片で は、取り除くことができた。試験片の摩耗部分のくぼみは非常に美しく、MとP 試験片では、摩耗部分の前方に波状に摩耗粉が堆積する。

以上のごとく,軟かい金属を多く含む試験片は MICr-P軸に対して目づまりの 原因となり,また摩耗部分の前方には摩耗粉が堆積する。硬い試験片では摩耗粉 が脱落し,チャンネルみぞのみぞ幅が大きいと目づまりを起こしやすい。

めっき軸に対する軸受はあまり軟かい金属(Sn, Pb)よりも少し硬い金属

(Sb, Cu)のほうがよく, さらにその硬い中に軟かい金属が含まれているほうが なじみをよくし,よい結果が得られる。第2章において,ケルメット軸受がクロ ムめっき軸に対してよい結果を示したのは,上記のような化学成分を有している

-86-

ためと考えられる。

これらの材料を結晶構造から検討すると、クロムめっき軸が体心立方格子構造 であるため、体心正方格子であるすずよりも面心立方格子である銅あるいは鉛の ほうが凝着しにくいと考えられる。このことは、Sikorskiの報告で、結晶構造が 二面の凝着力を支配すると述べている⁵⁾のと一致している。

3.4 軟質金属を軸へ押付けた場合の圧こん形状の観察

ポーラスクロムめっき軸のチャンネルみぞあるいはピンポイント穴に目づまり が多く生じたため、軸を回転させないで、鉛試験片を10kg で押しつけ、その後 試験片表面を観察した。その結果、図6-16 に示したごとく、それぞれの軸のポ

ーラスクロムのタイ
 プが鉛試験片表面に
 転写(とつの部分が
 みぞあるいは穴に相
 当する)されている。
 このように軸に軟か
 い試験片が押し込ま

れ、その状態で軸が



回転すると,みぞあるいは穴に入り込んだ部分は試験片表面から機械的に除去さ れ,軸表面はすぐに目づまりを起こす。目づまりした材料は試験片と同種金属で あるから,これらの接触部では凝着,移着,再移着などをくり返す。その結果試 験片温度は上昇し,焼付きの過程をたどると考えられる。

3.5 温度によるめっき面の割れの現象

めっき厚さ 0.1 mm のクロムめっき軸表面は,温度 50 ℃ では割れは生じなかったが,100 ℃ では幅 1.6 μm,また 150 ℃ では 0.8 μm の割れみぞが観察された。 この割れみぞ幅が 100 ℃ に比べて 150 ℃ において小さくなっているのは,150 ℃ では 割れみぞ数が増加しており,応力が一個所に集中しないで分散したためと思われる。

-87-

めっき厚さ0.065 mm のクロムめっき軸を炉から取りだし、常温で60日放置後、その表面を顕微鏡で観察した。その結果を図6-17 および表6-3 に示した。

表6-3 加熱温度と割れ

図6-17 の番号	加熱温度 (℃)	割れみぞ幅 (µm)
(a)	50	0.2
(b)	100	0.3
(c)	150	0.3
(d)	200	0.2
(e)	300	0.3

軸表面には幅 0.2 ~ 0.3 µm の割れを生じ, 300 ℃ では割れ数が増加した。また放置時間 と割れの生じる関係を調べた結果,めっき軸 を炉から取りだした後,室温に近く(約1時間放 置)になれば割れが生じることが観察できた。

つぎに,ポーラスクロムめっき軸のチャン ネルタイプのみぞ幅が加熱温度に対して変化 すると考えられるため,その状態についても 観察した。

炉に入れる前の温度(30℃)における表面 顕微鏡写真を図6-18(a)に、みぞ幅測定位 置を(b)にそれぞれ示した。

100℃および200℃加熱後のみぞ幅の測定 結果を表 6-4 に示した。





図6-18 MICr-P(chan)軸の割れ

表6-4 温度とチャンネルみぞ

幅の変化 (µm									
測定位置	30 ℃	100 ℃	200 °C						
1	11.6	15.0	14.2						
2	2.5	3.3	2.5						
3	15.0	25.0	15.0						

みぞ幅は 30℃より 100℃ あるいは 200℃ に加熱するほうが広くなるが, 100 ℃と 200℃ では 100℃ において広い。これはクロムめっき軸の割れみぞ数が増加 した場合のように, 200℃ では軸表面に別の割れが生じたか,あるいは測定点以 外に存在するみぞ幅が変化したためと考えられる。 MICr-P (pit) 軸についても MICr-P (chan) 軸と同様の測定を行ったが,加熱による穴の広がりあるいは 1 mm² 当りのピット数の変化を観察することができなかった。

以上の結果、クロムめっき軸の割れみぞ幅はめっき厚さが厚いほどあるいは温 度が高いほど大である。しかし温度がある程度高くなると割れみぞ数が増加し、 みぞ幅は小さくなる。またチャンネルみぞ幅も温度とともに変化する。このよう な表面のミクロ的な割れ目に、くり返し応力がかかると軸が疲労破壊する恐れが ある。しかも母材からの疲労の割れ目とめっき層の割れ目とが一致すると報告さ れているので⁶⁾ めっき表面の割れには注意する必要がある。

この割れによる軸表面のおうとつ部が軸受材料を引かく恐れがあるため、その とつ部を取り除かねばならない。その一手段として、使用時の温度とほとんど同 じ温度までめっき軸を加熱し、冷却後研削して使用するのがよい。めっき後の加 熱において、600℃までは密着力にほとんど影響しないがそれ以上加熱すると密 着力は弱くなるため^{7,8)} これ以下の温度で扱うのがよい。

まためっき時に吸蔵された水素が母材の疲労強度を低下させると報告されてい るので⁹⁾,上記の加熱はこの水素を放出するのにも効果があると考えられる。

4. 結 論

- (1) ポーラスクロムめっき軸は、チャンネルみぞあるいはピット中に油を保持していないと目づまりを起こしやすく、特にチャンネルタイプでは、みぞ幅の大きいものほどその傾向は大きい。ピンポイントタイプでは局部的な目づまりをするのに対して、チャンネルタイプではみぞを埋めているような目づまりをする。
- (2) クロムめっき軸に対して、すずあるいはりん青銅は凝着を起こしやすい。銅 あるいは鉛は試験片温度が高くなる傾向があるが、凝着力は小さい。特に鉛は なじみ性をよくする作用をしているように思われる。

-89-

- (3) ポーラスクロムめっき軸に対する軸受材料は、あまり軟かい金属よりも硬い 金属のほうが軸により堀り起こされることが少なくてよい。しかも硬い金属の 中に軟かい金属が含まれているものはなじみ性をよくする作用がある。
- (4) 結晶構造から軸受材料を検討すると、クロムめっき軸が体心立方格子構造で あるため、体心正方格子であるすずよりも面心立方格子の銅あるいは鉛のほう が結合しにくいことが実験からも明らかである。
- (5) クロムめっき軸を相手とする軟かい試験片のバフ仕上時には、酸化クロムを 研摩剤として用いないはうがよいが、しかし用いた場合には、さらに水のみで バフ仕上げするほうがよい。
- (6) めっき面の割れはめっき厚さに関係し、薄いと割れやすく、温度がある程度 高くなると割れみぞ数は増加するが、割れみぞ幅は小さくなる。
- (7) き裂によるとがった部分は軸受面を引かくと考えられる。したがって、使用時と同じ温度に軸を加熱し、冷却後研削する方法あるいは加熱は省略するが、研削時の冷却を少なくして高温で研削する方法で、使用時に割れかどが存在しないようにすることが望ましい。めっき後加熱することはめっき時に吸蔵された水素を放出するのにも役立つ。

文 献

- 1. 肥田 昭, 市村雄弘: 潤滑, 14, 2(1969)70.
- 2. W. H. Spencer : Steel, 103(1938)60.
- 3. B. Joust : Metal Progr., 65 (1954) 76.
- 4. J. E. Jackson : J. SAE, 48 (1941) 28.
- 5. M. E. Sikorski : Wear, 7, 2(1964) 144.
- 6. F. D. Rowe, J. B. Dance : Metal Progr., 53 (1948) 537.
- 7. 岸 松平:機械工業(1962-8)91.
- 8. 石田武男:金属,別冊(1965-3)7.
- 9. S. Kocanda : Metalloberf., 15, 4 (1964) 101.

第7章 軸受材料の摩耗

1. 緒 言

第6章では、無潤滑下でクロムめっき軸あるいはポーラスクロムめっき軸と各種の純金属や合金試験片の凝着現象について述べた。その結果、クロムめっき軸 に凝着の起こしやすい金属材料の種類が明らかとなった。

しかし無潤滑状態の摩擦では軟かい試験片がポーラスクロムめっき軸のチャン ネルみぞあるいはピット中に入り、目づまりを起こすことが多い¹⁾。この現象は潤 滑下においても生じるか調べる必要がある。

本章ではアムスラ式摩耗試験機を用いて,めっき軸と試験片を滴下潤滑あるい は油浴潤滑下で摩擦させ²,試験片の温度上昇,摩擦係数あるいは摩耗量を測定し た。試験片としては第6章と同じ材料の試験片あるいは黄銅,アルミニウム試験 片を用いた。そのうち数種類の試験片については油浴潤滑下で垂直荷重一定の場 合だけでなく,階段的に増加させた場合,さらに両場合とも試験片を軸方向に往 復動させた³⁾場合についても測定を行い,めっき軸に適した軸受材料を調べた。

2. 実験装置および測定方法

2.1 実験装置

試験機としてはアムスラ式摩耗試験機を用いた。試験機の概略を 図 7-1 に, 仕様を 表 7-1 にそれぞれ示した。

供試軸は下側の回転軸に取付け,250 rpm で回転する。試験片は上側に取付け て固定する。荷重はばね方式により,上側試験片を下側の供試軸に押しつけてか ける。本実験での荷重は50 kg(19.2 kg/cm²)あるいは100 kg(38.5 kg/cm²)とし た。

潤滑方法として, 滴下潤滑法と油浴潤滑法を用いた。潤滑には SAE30番 モー

-92-





(b) 往復動装置

表7-1 試験機の仕様

タオイルを用い, 滴下潤滑では歯車ポンプとサイ トフィードにより, 送油量を 0.01 cc/min に, ま た油浴潤滑では供試軸が油に 10 mm 浸るような 油槽 (35×100×100 mm)を用いた。

図7-1 摩耗試験機

2.2 供試軸と試験片の形状寸法

(a)

供試軸は 図 7-2 の形状に S 45 C (Hv 278) で 作成し,第1章表1-1 の条件でめっきを施し, 軸の仕上り寸法が 40 $^{+0}_{-0.028}$ めっき厚さ 130 μ m,表面あらさ 1.2~1.5 μ m R_{max} になるよう研 削加工を行った。

試験片の化学成分,硬さおよび実験時の荷重を 表7-2 に示した。

試験片の形状寸法を図7-3 に示した。試験片 A, F, RおよびSは板材から加工し, その他の試 験片は砂型に溶融金属を流し込み, その後, 機械 加工をした。

出力(W) 750 回転速度(rpm) 250 油槽容量(cc) 350 負荷(kg) 25~300 最大トルク(kg·m) 150 仕事量 測定可能



図7-2 供

話

軸



図7-3 試験片

試験片には温度測定のた め供試軸と接触面下 1.5mm の位置に 1mm ¢, 深さ 13 mm の穴を※面からあけた。

試験片の接触面の仕上げ には、図7-4 に示した治 具を用いる。治具の研摩紙 用リングに耐水研摩紙

(1000番)を巻きつけ,治 具を回転させ,その上に試 験片を乗せて研摩紙仕上げ をする。次にバフ用リング にバフを巻きつけ,第6章 3.3節で研摩剤が凝着に影 響を及ぼすことが明らかと なったため,研摩剤を用い ないで,バフ仕上げをした。

研摩紙仕上げとバフ仕上げの両場合 とも試験片の温度上昇を防ぐために, 水溶性切削油剤と水を1:100の割合 で混ぜた乳化油を用いた。

2.3 温度測定方法

試験片の温度測定は図7-3の試験 片に設けた温度測定用穴に,長さ1000

表7-2 試験片の化学成分,硬さ及び実験時の荷重

試論	化学成分			硬さ	비오티무	荷重	(kg)	
肸	· ((wt %)		Hv	Hv JIS 記 与		油浴	
A	Cu 99	9.90以	F	175.0	CuP1-1/2H	100	100	
В	Zn 99	7.85 以	F	63.0		50	50	
C	Sn 99	9.95以	F	13.0		50	50	
D	Pb 99	9.95以	F	6.3		50	50	
Ε	Sb 99	9.95以	上	103.8		100	×	
F	Cu93.04	, S n6.7	6, P0.20	230.4	PBP 2-1/2H	×	100	
	Pb	Sb	Sn					
G	90	10	0	20.8		100	100	
Н	70	30	0	28.9		10 0	100	
Ι	50	50 50 0		68.6		100	100	
J	70	70 10 20		17.7		100	100	
K	60	60 20 20		22.6		100	100	
L	65	20	15	62.6		100	100	
Μ	60	30	10	35.2		100	100	
N	55	40	5	74.2		100	100	
0	50	0	50	13.4		100	100	
P	40	20	40	20.2		100	100	
Q	78	16	6	27.6		100	100	
R	Cu 0. Cr 0. Mn 0.	10, Mg 25, Zn 1, Al	,2.5, 10.1, 残	99.7	A2 P1	×	100	
s	Cu 60. Fe 0.00	20, Zn 16, Pb	39.79, 0.005	113.8	BsP3-1/2H	×	100	

(注)荷重欄の×印は実験を行っていない。



図7-4 試験片仕上用治具

mmの鉄-コンスタンタン標準熱電対(素線径0.2mm, SUS保護管外径1mm) をそう入し,変換機を介して打点式多点自動温度記録装置で行った。記録装置の

-94-

打点間隔は 60 秒で,紙送り速度は 300 mm/h とした。

潤滑油の温度測定は上記と同様の熱電対を用い,油タンク中に浸し,変換器を 介して上記の自動温度記録装置で行った。

2.4 摩擦係数の測定方法

回転する供試軸(下側)と固定試験片(上側)の間に生じたトルクはトルク計 の指針の移動距離となって表われ,記録筒に巻きつけた用紙にペンで記録される そしてトルク装置と直結している仕事量測定装置で仕事量を読みとる。

仕事量測定装置は 図7-1(a) に示したように回転する円板上に乗っているイ ンテグレーティングローラ(副尺使用で 1/100 回転まで測定可能)と積算回転計 からなっている。この積算回転計の読みから次式で摩擦係数を算出し,求める。

μ:摩擦係数

- W:仕事量測定装置の読み(kg-m)
- r:供試軸の半径 (m)

N:供試軸の総摩擦回数 (回)

P:試験片に加えた接触垂直荷重(kg)

荷重を段階的に増加させた場合は、増加後1万回転時の仕事量を読みとり、そ の負荷時における摩擦係数を求めた。

2.5 摩耗量の測定方法

 $\mu = \frac{W}{2\pi r N P}$

供試軸と試験片の摩耗量は実験前後の重量を直示天秤(秤量160g,読取限度 0.05mg) で測定し算出した。

合金試験片の摩耗量(mg)は各合金の混合割合と純金属の密度から mm³ に換 算した。

2.6 負荷の方法

負荷は、図7-1(a)に示した締付ボルトおよびナットを締付け、負荷用ばね を圧縮し、その荷重をヨーク端にかけ、試験片を供試軸に押しつけてかける。そ の値はスケールで読みとる。滴下潤滑あるいは油浴潤滑における試験片(B~D) に対しては荷重を50kgとし、その他の試験片に対しては100kgとした。したが って見かけの接触圧力では19.2kg/cm²、あるいは38.5kg/cm²となる。油浴潤

-95-

滑で荷重を階段的に変化させる場合 は 図 7-5 および 図 7-6 (a) に示 したごとく、1万回転ごとに 25 kg (9.6 kg/cm²)ずつ増加させ 100 kg (38.5 kg/cm²)で4万回転まで連続 回転させる。垂直荷重一定の場合は 図 7-6 (b)のごとく、荷重 50 kg で5万回転まで連続回転させる。さ らに往復動を加える場合は 図 7-1 (b)のカム軸に偏心用キーを用いて 2 mm 偏心させ、この軸の回転によ って試験片を軸方向に 4 mm、 300 回/分 往復動させる。図 7-6 (c) あるいは (d)のごとく、試験片に往 復動を加えると常に新しい相手面を



図7-5 階段的に負荷する場合の荷重と摩 擦回数,摩擦距離,摩擦時間の関係





摩擦することになり、初期の摩耗がいつまでも続く^{4,5)}。

2.7 摩耗面の観察

実験後の供試軸と試験片の摩耗面は主として金属顕微鏡で観察した。また負荷 を階段的に増加させた場合あるいは試験片を軸方向に往復動させた場合に MICr -P軸の目づまりが多く生じたので、その目づまりした試験片材料の成分を調べ るため、XMA 観察も行った。

実験結果および考察

3.1 温度上昇に及ぼす潤滑方法の影響

図 7-7 に軸別に純金属試験片の温度を,また 図 7-8 に合金試験片の温度を それぞれ示した。

-96-



図7-7 純金属試験片の温度

滴下潤滑の場合は、摩耗量測定のために摩擦回数3万回(120分経過)で試験 機を停止させたので一時温度は低くなるが、測定再開後約20分でなじみ性のよい試験片では停止前の温度にもどる。しかしなじみ性の悪い試験片では、停止前 と同じような温度上昇過程をたどるが、その温度は低い。

経過時間に対する試験片温度が低く、しかも速く定常状態になればなじみ性が 最もよく、高くても速く定常状態になればよい。図7-7(d)の滴下潤滑におけ るすず試験片のように、急に温度が上昇する場合が最もなじみ性が悪く、(a)の 滴下潤滑における亜鉛試験片のように温度が上昇、下降をくりかえす場合が次に

-97-



図7-8 合金試験片の温度

悪い。

滴下潤滑と油浴潤滑とでは,油浴潤滑のほうが試験片温度は低く,しかも速く 定常状態になる。特に,油浴潤滑下における合金試験片は試験片の温度範囲で示 したように,一部の試験片以外はいずれの試験片においても温度に大差はない。

試験片材料としては,鉛がいずれの潤滑方法においても,またいずれの軸に対 してもなじみ性がよい。

3.2 温度上昇に及ぼす負荷方法の影響

荷重を階段的に 増加させた場合と さらに往復動を加 えた場合の各試験 片温度を図7-9 に示した。

MICr 軸では, いずれの試験片に 対しても荷重を増 加させるごとに温 度はごくわずか高 くなるが,急激な 温度上昇はしない。

MICr-P軸では, MICr-P(chan) 軸に対してりん青 銅が,MICr-P (pit)軸に対して

銅試験片が,温度

180 180 160 160 140 140 မှ 120 9 120 100 100 100 100 100 4í 4٢ 20 20 С 0 20 40 60 80 100 120 140 160 20 40 60 80 100 120 140 160 経過時間, min 経過時間, min (a) S (黄銅)試験片 (b) F (bん青銅)試験片 100 100 ç ပ္ 80 80 試験片温度、 60 試験片温度, 60 40 40 20 20 0 C 20 40 60 80 100 120 140 160 20 40 60 80 100 120 140 160 経過時間, min 経過時間, min c) A (銅)試験片 (\mathbf{d}) R (アルミニウム) 試験片 往復動 <u> </u>
ት あり S45C軸 MICr 軸 (Chan) 軸 油公潤滑 (pit) 軸

荷重9.6kg/cmfを40分ごとに**階段的**に増加

```
図7-9 試験片の温度
```

は低くてよい。さらに往復動を加えた場合でも、MICr 軸ではほとんど試験片の 温度は変らないが、MICr-P軸ではいずれの試験片においても試験片温度は上昇 する。黄銅試験片では 50 kg(19.2 kg/cm²)、その他の試験片では 75 kg(28.8 kg/cm²)の荷重を加えると、温度は急に上昇する。

垂直荷重 50kg 一定の場合とさらに往復動を加えた場合の摩擦回数 5 万回時の 試験片温度を 図 7-10 に示した。

-99-


めっき軸に対して銅試験片は、往復動を加えても試験片の温度がほとんど変らない。黄銅試験片と MICr-P 軸との組合せでは、試験片温度は非常に高くなり、 焼付の生じることがある。

3.3 摩擦係数に及ぼす潤滑方法の影響

図 7-11 に供試軸と各試験片を組合せた場合の滴下潤滑あるいは油浴潤滑にお ける始動時より5万回転までの平均摩擦係数を示した。



図7-11 摩 擦 係 数(滴下あるいは油浴潤滑の場合)

一般に油浴潤滑のほうが滴下潤滑よりも摩擦係数はわずかに大きい。 油浴潤滑では供試軸が油中に浸っているので,本実験の測定方法によるときは 油の粘性が回転軸に影響を与えるため摩擦係数が大きいと考えられる。

-100 -

材料別では鉛を多く含んでいる試験片(G~I)のほうがすずを含んでいる合金 試験片(J~Q)よりも摩擦係数は低い。油浴潤滑における銅合金試験片の摩擦係 数は,銅以外の合金試験片よりも大きく,特に黄銅あるいはりん青銅試験片が大 きい。

3.4 摩擦係数に及ぼす負荷方法の影響

図7-12 に荷重を階段的に増加させた場合の各試験片の摩擦係数を示した。

一般的に摩擦係数は始動時のほうが大きく徐々に小さくなる。いずれの試験片 に対しても MICr 軸との組合せは、荷重に関係なく摩擦係数が低くてよい。

S45C軸あるいは MICr-P軸の組合せでは,荷重による影響が大きい。荷重 を階段的に増加する場合は,供試軸と試験片とのなじみができかけた時に荷重を 増加させるため,常に初期摩耗の状態をくり返し,軸の種類によって摩擦係数が 大きくなると思われる。

MICr軸では往復動を与えても摩擦係数に大きな影響を及ぼさないが、MICr-P軸ではポーラスのみぞあるいは穴に軟かい試験片が入り込んだり、摩耗粉で目づ まりが生じたりして、摩擦係数が増加したと思われる。しかし銅試験片とMICr-P(pit)軸との組合せのように往復動を加えても、摩耗初期に速くなじみができ た場合には荷重の増加に対しても摩擦係数は大きくならないでよい結果を示すこ ともある。したがって、MICr-P軸では摩耗初期において、摩耗粉の除去あるい は温度上昇に注意をする必要がある。

図7-13に荷重50kg(19.2kg/cm²)の場合の摩擦係数を示した。

いずれの試験片においても摩擦係数の高低が図7-10の温度の高低と同じ傾向 を示し、摩擦係数と温度が直接関係していることがわかる。

MICr 軸に対してはいずれの試験片もよい。

図の摩擦係数が 0.01 ~ 0.10 の範囲にあることから潤滑状態は境界潤滑あるい は混合潤滑の領域⁶⁾にあると推定できる。



3.5 摩耗量に及ぼす潤滑方法の影響

図7-14 に摩擦回数5万回までの各試験片の摩耗量を示した。

ほとんどの試験片材料において,試験片の摩耗量は MICr 軸との組合せでは最 も少なく, MICr-P軸とでは多い。本研究の摩耗量は 0.1~10の範囲に多く,比 摩耗量で示せば 1.6×10⁻¹⁰~10⁻⁸ mm³/kg·mm に相当する。この値は各種の材料の 摩耗について調べた報告と⁷⁾一致している。

MICr-P軸と試験片の組合せで、摩耗量が多くなったのは、第6章3節あるいは4節で述べたごとく、MICr-P軸が軟かい試験片で埋め込まれ、軸の回転によって軟かい試験片が機械的破壊を起こし、摩耗量を増加させたと考えられる。

滴下潤滑では,潤滑後の油が油受けに落ちる時に,摩耗粉は油に混って除去されるが,油浴潤滑方法では摩耗粉が油タンクの中に残る。そして摩耗粉の混じっ

-102-



図7-14 試験片の摩耗量



荷重 19.2 kg/cm²(B,C,D試験片) 38.5 kg/cm²(B~D以外の試験片)



記号の石上へ印ね温度の急な上升 のため実験を途中で打切ったこと を意味する。

図7-15 供試軸の摩耗量

た油で潤滑するためか、試験片の摩耗あるいは MICr-P軸の目づまりが生じやすい。

図 7-15 に供試軸の摩耗量を示した。

MICr-P軸は実験後の軸の重量が増加することが多い。この重量増加の原因は, 油がチャンネルみぞあるいはピット穴へ浸入,摩耗粉による目づまりあるいは試 験片材料の凝着などが考えられる。しかし実際にはこれらの現象が重なっている と思われる。したがって,重量測定あるいは顕微鏡観察だけでこの現象を区別す るのは困難である。ほとんどの軸の摩耗量は0.02~1.0 mm³の範囲にあり,図 7-14の試験片の摩耗量に比べれば少ない。

軸の目づまりは, 滴下潤滑では MICr-P (chan)軸に, 油浴潤滑では MICr-P (pit) 軸に多い。

軸の重量増加の少ない相手材料は,単体金属では銅(A),鉛(D)あるいはアン チモン(E)で, Pb+Sb+Sn 合金ではN(Pb:55%, Sb:40%, Sn:5%)で ある。

このN試験片で軸の重量増加が少なかったのは Pb+Sb+Sn 合金試験 片の中 で最も Sn の含有率が少なく、しかも硬さが大であるためと思われる。

以上のごとく, MICr-P軸の潤滑下における摩耗量は正確に測定することが困 難であり,相手材料を調べるための参考程度としかならなかった。

3.6 摩耗に及ぼす負荷方法の影響

図7-16 に荷重を階段的に増加させた場合の各試験片の摩耗量を示した。

MICr-P軸との組合せで、試験片に往復動を加えた場合、銅試験片とMICr-P(pit)軸の組合せ以外はいずれの組合せも摩耗量は多い。すなわち、荷重を増加させて往復動を加える場合には銅がMICr-P(pit)軸に適している。

図7-17 に荷重 50 kg(19.2 kg/cm²)の場合の各試験片の摩耗量を示した。試験 片に往復動を加えた場合にアルミニウム試験片以外はいずれの試験片も MICr 軸 と組合せれば,他の軸と組合せるよりも摩耗量は少ない。特に銅あるいはりん青

-104 -

銅試験片の摩耗量は少ない。

一方 MICr-P 軸の摩耗量の測定では、 チャンネルみぞあるいはピット穴へ潤滑油 や摩耗粉が入るため、実験後の軸の重量が 増加することが多い。MICr-P軸のみぞあ るいは穴に保持する油量を求めることがで きれば摩耗量は比較的正確に測定できる。 そこで、この油量測定が可能かどうか調べ るため、次の実験を行った。まず MICr-P(pit)軸を超音波洗浄後,油中に10分 間浸し油を含ませる。その後再び超音波洗 浄を行い含ませた油が完全に除去されるか どうか個々の重量測定で調べる。その結果, 油は完全には除去されていないことが判明 した。したがって軸に含まれる油量測定は 不可能であるため、真の軸の摩耗量を測定 することは困難であることが明らかとなっ



することは困難であることが明らかとなっ 図7-16 摩耗量 図7-17 摩耗量 た。

MICr-P軸の摩耗量測定では、軸の重量増減から凝着か摩耗かを大別し、重量 が増加した軸に対しては顕微鏡あるいは XMA で観察し、その増加が相手試験片 の移着か油によるものかを検討するのがよい。

3·7 摩耗面の観察

本実験に使用した供試軸あるいは試験片の数が多く、しかもそれらの組合せも 多いため、特にめっき軸に凝着の起こしやすい黄銅試験片と組合せた場合の MICr-P(chan)軸の XMA 写真を図7-18に示した。

図の (a)は MICr-P (chan)軸の二次電子像 (SEI) で, (b)は Cr-Ka 線

-105-

像で,(c)はCu-Kα線像である。(c)の写真 から,軸のみぞ中に銅が入り込んでいること がよくわかる。このようにポーラスのみぞあ るいは穴に相手材料が入り込むと,移着,再 移着をくり返し,試験片の摩耗が増加する。

軸の目づまり深さを調べるため,供試軸を レジノイドブレードを用いて切断し,研摩紙 で切断面を仕上げ,超音波洗浄した。その切 断面を XMA で観察し図7-19に示した。 その結果,目づまりしたものが試料作成時あ るいは洗浄時に取り除かれていることが判明 し,目づまり深さを測定することはできなか







(a) 二次電子像 <u>50 μm</u>
 (b) Cr-Kα 線像
 荷重 9.6kg/cm² を40分ごとに階段的に増加,往復動なし
 図7-19 MICr-P (chan)軸の切断面



(c) Cu-Kα線像
 荷重9.6kg/cm²を40分ごとに
 階段的に増加,往復動なし
 図7-18 黄銅/MICr-P(chan)
 軸の摩擦後の軸の XMA 写真

めっき軸へ凝着しやすい材料は種々の材料の凝 着の難易についての報告と⁸⁾一致している。しかし、ポーラスクロムめっき軸に 対しては、凝着の問題だけでなく硬さと延性が目づまりに関係してくる。

4. 結 論

(1) 本実験の滴下潤滑法あるいは油浴潤滑法では、供試軸と試験片の間に潤滑油

-106 -

が介在しにくく、摩擦係数の測定から、境界潤滑あるいは混合潤滑とみなせる。

- (2) 経過時間に対する試験片の温度が低く、しかも速く定常状態になる試験片材料が最もなじみ性がよく、少し温度が高くても速く定常状態になればよい。したがって、クロムめっき軸に対する軸受材料としては銅あるいは鉛がよく、ポーラスクロムめっき軸に対しては試験片材料の硬さが目づまりに関係するので、硬い銅となじみのよい鉛の合金(ケルメット)がよいと思われる。
- (3)回転軸上の試験片に負荷をかけ、さらに往復動が加えられる場合は、負荷を 階段的に増加するよりも一定に保つほうが、温度、摩擦係数あるいは摩耗量が 小さくてよい。
- (4) 摩擦回数 5 万回における摩耗量はいずれの試験片においても約 0.10 ~ 10 mm³
 (1.6×10⁻¹⁰~10⁻⁸ mm²/kg·mm) であり、クロムめっき軸に対しては銅がよい。
- (5) クロムめっき軸は試験片に往復動が加わっても、ほとんど摩擦係数あるいは 摩耗量に影響を及ぼさないが、ポーラスクロムめっき軸では影響があり、複雑 な摩耗現象により、ポーラスクロムめっき軸の重量はかえってわずか増加する。 この重量増加の原因はポーラスのみぞあるいは穴に油や摩耗粉が入るためであ る。したがって、ポーラスクロムめっき軸の潤滑下における摩耗量は正確に測 定することは非常に困難である。
- (6) 滴下潤滑法において、試験片の摩耗粉は潤滑後の油と共に落下し排出される が、油浴潤滑では摩耗粉が油中に残り、軸の目づまりが多くなる。滴下潤滑で はチャンネルタイプポーラスめっき軸のチャンネルみぞに、油浴潤滑ではピン ポイントタイプポーラスクロムめっき軸のピット穴に試験片材料が入り込み、 目づまりを起こす。
- (7) クロムめっき軸あるいはポーラスクロムめっき軸に対する軸受材料としては、
 銅と鉛が適し、すず、黄銅あるいはりん青銅などは不適当である。

文 献

1. 肥田 昭, 市村雄弘: 潤滑, 14, 2(1969)70.

2. 肥田 昭,市村雄弘:日本機械学会関西支部講演論文集(1971)127.

3. 肥田。昭,築添 正:日本機械学会北陸信越支部講演論文集(1977)118.

4. T. Sasada : Proc. 15th Jap. Congr. Mat. Res., 1971 (1972-3) 1.

5. 佐田登志夫:機械学会論文集,24(1958)407.

6. 築添 正:日本機械学会関西支部第 69 回講習会(1976)1.

7. 佐藤準一:日本潤滑学会シンポジウム,1~9 (1970~1977).

8. E. Rabinowicz : Proc. Int. Solid Lub. Symposium (1975) 84.

第8章 他のめっき軸との比較

1. 緒 言

第7章では、滴下あるいは油浴潤滑下におけるクロムめっき軸やポーラスクロムめっき軸と各種の材料とを組合せた場合の摩耗について述べた。その結果、クロムめっき軸に対する軸受材料としては、銅あるいは鉛がよいことが明らかとなった。

本章では、クロムめっき軸と組合せのよい銅を用いて、摩耗現象をさらに詳細 に調べると共に、クロムめっきの代わりとして用いられようとしている西独で開 発されたナトリウムボラナート (NaBH₄)を還元剤とする無電解化学ニッケルめ っき (ニボジュールめっき) についても摩耗試験を行った。

試験機としては,アムスラ式摩耗試験機とこの試験機の4倍の回転速度をもつ 試作摩耗試験機とを用いて,試験片の温度上昇,摩擦係数あるいは摩耗量の測定 や,摩耗面の顕微鏡あるいはX線マイクロアナライザによる観察などから両めっ き軸と銅試験片の摩耗現象の相違について比較検討した。

2. 実験装置および測定方法

2.1 実験装置

試験機としては第7章2.1節で述べたアムスラ式摩耗試験機と試作摩耗試験機 を用いた。

図8-1 に試作摩耗試験機の概略図を,また表8-1 にアムスラ式摩耗試験機 (A)と試作摩耗試験機(B)の概要を比較した。

アムスラ式摩耗試験機は第7章2.1節と同じであるため説明を省略し,試作摩 耗試験機について説明する。

A試験機では、回転速度が250 rpm であるため、数多くの実験を行うには時間

-109 -



(b)

(a)

図8-1 B 試 験 機

がかかること,また上下部試験片間の潤滑 が下に取付けられた供試軸の回転により行 なわれているため,十分でないことなどが 主な欠点である。

これらを改良するために,B試験機では, 回転速度を1000 rpm に,また試験片は油 中に浸るよう供試軸の下側に取付けるよう にした。 表8-1 試験機の概要

項目		験機	A	В
出	力((W)	750	200
回車	云速度(rp)	m)	250	1000
油林	曹容量((c)	350	110
供	試	軸	下	上
試	験	片	上	下
仕	事量測	定	可	否
温	度測	定	自動記録	デジタル
熱	電	対	I-C	I-C

駆動方法は 図8-1 に示したごとく 200 W, 1800 rpm のモータを駆動源とし て使用し、モータ軸にバリダイアプーリを取付けVベルトを介して供試軸を1000 rpm で回転させた。回転速度は光電式回転計を用いて測定した。

負荷はばね方式で、図8-1(b)のごとくレバー上に乗せた油槽中の試験片が ばね秤を介して負荷用ハンドルで上方に引きあげられ、供試軸を下側から押し付 けて負荷する。MICr軸に対しては50kg(19.2kg/cm²)、ニッケルめっき軸に対 しては25kg(9.6kg/cm²)とした。

摩擦回数は1,2,3,5,7.5,10,15,20万回とした。

A試験機における負荷は 100 kg(38.5 kg/cm²)で、摩擦回数は 1, 3, 5, 10,

-110-

15万回とした。

摩擦回数と摩擦距離の関係を図8-2 に示した。

	-1		1				l		1	ł		
摩擦回数 回	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	×104
				1	1			1			1	
摩擦距離 km	0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	22. 5	25.0	
					l	1	l	l		l		
摩擦時間	0	80	160	240	320	400	480	560	640	720	800	A試験機
min	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	B試験機

図8-2 摩擦回数,摩擦距離,摩擦時間の関係

潤滑方法は、両試験機とも油槽に SAE 30番モータオイルを所定量(表 8 – 1) 入れて用い、油浴潤滑とした。B試験機で長時間測定する場合に限り、油槽温度 と同温度に加熱した油を油槽に補充して常に油面を一定に保った。

2.2 供試軸のめっき方法と試験片の形状寸法

供試軸の形状寸法は第7章2.2節と同じである。

MICr めっきは 第1章表 1-1 の条件で、無電解化学ニッケルめっきは表 8-2の条件でそれぞれ行った。

この無電解化学ニッケルめ っきは, 西独バイエル社が開 発し、ニボジュールめっきと 呼ばれ、我が国においても数 社がこのめっきを行っている¹⁾。

表 8-2 に示したごとく, 従来のニッケルめっきと異な

表 8 - 2 無電解化学ニッケルめっきの条件

項目条件	単 位	標準	範囲
ニポジュール A-5X	cc / <i>l</i>	200	
ニッケル	g/l	7.5	1.5~8.0
カセイソーダ	g/l	40	30 ~ 60
安定剤SA	mg/l	40	20 ~ 60
還元剤A-1098	g/l	0.45	0.65~0.25
pH 值			≥ 14
めっき温度	· °C	90	85 ~ 95
表面積 / めっき液量	dnf/1	1~3	≥0.3
析出速度	µm/h	25 ~ 30	10 ~ 60

る点はボロンを添加させた還元剤を用いていること、まためっき後の熱処理によ ってめっき膜の硬さが自由に得られることである。

ニボジュール皮膜組成は Ni: 90 ~ 95%, B: 5 ~ 7% であると報告されてい z^{2}

供試軸のめっき厚さは仕上り寸法で 0.1mm とした。 供試軸はめっき加工後 600 番と石で、削り代 12 μ m として研削仕上げを行い、表面あらさ 1.3 ~ 1.5 μ m R_{max} とした。

ニボジュールめっき軸の表示方法についての規格はないため、本章の文中では 下記のとおり表示する。

NiB 軸 熱処理を行わないニボジュールめっき軸

NiB-H軸 熱処理を行ったニボジュールめっき軸 本研究に用いた NiB-H軸の熱処理は次の 2.3 節で得 た結果から、温度を 370℃、時間を 60 分と定め、 熱処 理後大気中で徐冷した。その表面顕微鏡写真を 図 8-3 に示した。

試験片材料は MICr 軸, NiB 軸 あるいは NiB-H 軸 のいずれの軸に対しても銅(タフトピッチ銅板 TCuP)

を用い,その形状寸法および加 工方法などは第7章2.2節と同 じである。

本研究に用いた供試軸と試験 片の硬さ,表面あらさおよびめ っき厚さを表 8-3 に示した。

表 8-3 供 試 軸 と 試 験 片 (硬さ,表面あらさ,めっき厚さ)

項目 軸·試片	MICr	NiB	NiB-H	TCuP
硬 さ(Hv)	977	746	973	94
めっき厚さ(mm)	0.12	0.14	0.12	
表面あらさ R _{max} (µm)	1.5	1.5	1.3	1.0

(注) 硬さ測定時の荷重供試軸は 300 g, 試験片は 100 g

2.3 熱処理の方法

ボロンはごく微少量の添加で鋼の焼入硬化能をいちじるしく増大させることは 周知のとおりであり,また他の金属に添加しても同様の効果がある。

したがって NiB めっき軸では皮膜組成から,めっき析出後熱処理温度と時間 を変化させ,使用に適した硬さを得ることができる。そこで熱処理温度と時間の 硬さに及ぼす影響を調べるためマツフル炉を用いて実験を行った。

熱処理温度は150℃と300~600℃の範囲を50℃ずつ変化させる計8種類とし、

NiB 軸



ニボジュールめっき軸

時間は 20~80 分の範囲を 20 分 ずつ変化させる計 4 種類とした。試験片はそれ ぞれの温度と時間で加熱し、大気中で徐冷後、硬さ測定を行った。

2.4 温度測定方法

試験片にあけた直径1mmの穴に第7章と同じ,鉄-コンスタンタン熱電対を そう入し,A試験機の場合は変換器を介して打点式自動温度記録計で記録させ, B試験機の場合はディジタルマルチ温度計を用いて測定した。B試験機での測定 間隔は10秒とし,試験片温度が安定すれば1分とした。

2.5 摩擦係数の測定方法

A試験機の場合は第7章2.4節と同じ方法で測定する。

B試験機の場合は測定できない。

2.6 摩耗量の測定方法

両試験機に用いた供試軸あるいは試験片の摩耗量は第7章2.5節と同様に実験 前後の重量を直示天秤で測定して求めた。

両試験機とも,各摩擦回数に対して,供試軸と試験片をそれぞれ3~5個使用 し,実験時におけるばらつきについても調べた。

2.7 摩耗面の観察

実験前後の供試軸あるいは試験片の摩耗表面を金属顕微鏡で観察し,傷の有無 を調べる。特に実験後,片当り,傷,凝着,焼付あるいはめっき層のはく離など の変化が生じた場合には,写真撮影を行った。また凝着あるいはめっき層がはく 離した場合には XMA で凝着金属を調べた。

実験結果および考察

3.1 硬さに及ぼす熱処理温度と時間の影響

図8-4 に NiB軸のめっき析出後の熱処理温度と時間によるめっき面の硬さの 変化を示した。析出後の硬さは平均 Hv 746 である。熱処理温度 150℃ では処理 時間を長くしても急に硬さは変化しないで Hv 800 になる。

-113-

しかし熱処理温度が 300℃ から 500℃ では、 40分までは時間とともに硬さは増し、その 後あまり変化はない。温度 500℃ では 400℃ の場合よりも硬さは低くなり, 550℃ あるい は 600℃ では熱処理時間とともに硬さは析出 時よりも低くなり、純ニッケルの硬さに近づ く。硬さが増すのは、面心立方格子の Ni と 斜方格子の Ni₃ B とからなる混合物を生成しているため



図 8-5 に熱処理後の NiB 軸表面を顕微鏡写真で示し た。温度が高くなると表面は非常に微細な組織となる。

NiB軸を長時間高温に保つと皮膜中のボロンが素地に 拡散して Fe₂Bを形成すると考えられている⁴⁾。

一般の使用に適した熱処理温度と時間は 360 ~ 380 ℃, 40~60分の範囲にある。

3.2 試験片温度に及ぼすめっき軸の影響

A試験機あるいはB試験機において, MICr軸, NiB 100 µm 軸あるいは NiB-H軸と銅の各組合せにおける試験片の 図8-5 熱処理後の表面 温度上昇は摩擦回数に関係なく同様な傾向を示すため 図8-6 に最も摩擦回数の 多い試験片の経過時間に対する温度上昇の一例を示した。

A試験機において、NiB-H軸では始動時から40~80分までは急激な温度上 昇を示すが,その後徐々に低くなり,4時間以後はほとんど定常状態になる。こ の急激な温度上昇中に、凝着を起こすことが多い。

MICr 軸では始動時から温度上昇は低く、しかも速く定常状態になる。その値 は NiB-H軸よりもはるかに低い。

B試験機において、NiB-H軸での試験片温度上昇はA試験機とほとんど同じ

1200 1000 ≥ 800 - 600 麼 400 200 0 20 80 60 min







600℃, 60分



図8-6 経過時間と試験片温度上昇

で、MICr軸では約2倍になっている。これを pV値(荷重: p kg/cm²,速度: V m/s)で比べると、NiB-H軸では両試験機とも pV 値は同じで、MICr軸で は、B試験機での pV 値がA試験機の2倍である。

図8-7 に各所定摩擦回数時における試験片の温度を示した。



図8-7 各摩擦回数時における試験片温度

各摩擦回数ごとに供試軸と試験片を取換えているため,試験片温度にばらつき がある。したがって,そのばらつき範囲も図中に示した。

所定摩擦回数までの温度上昇の傾向は 図8-6 と同じ傾向を示す。

A試験機において、NiB-H軸での試験片温度は、摩擦回数の少ない場合の温

-115-

度上昇が比較的低いため、摩擦回数が増加しても速く定常状態になる。

B試験機において、NiB軸あるいはNiB-H軸での試験片温度は、摩擦回数6 万回ぐらいまでは高くなり、その後低くなる傾向がある。

NiB軸とNiB-H軸とではNiB-H軸での試験片温度が低い。しかし両軸とも試験片温度が140~160℃の高温になることは局部的に焼付く危険性がある。

MICr 軸での試験片温度は, A, Bいずれの試験機を使用しても, NiB 軸ある いは NiB-H軸 での場合よりも低い。またB試験機での pV 値は A 試験機の 2 倍 で,試験片温度も 2 倍になっている。しかし最高温度は 90℃以下であるため 焼 付を起こさない。

3.3 摩擦係数に及ぼすめっき軸の影響

A試験機で測定した摩擦係数の値を図8-8 に示した。

MICr 軸での摩擦係数は 0.025 で 摩擦回数が増加してもほとんど変ら ず,境界潤滑あるいは混合潤滑の領 域にある⁵⁾。

NiB-H軸での摩擦係数は摩擦初 期において大きく、摩擦回数8万回 ぐらいからは一定となる。しかしそ の値は0.12ぐらいで無潤滑あるい



図8-8 摩擦回数と摩擦係数(A試験機)

は境界潤滑の領域にある。このように MICr 軸の摩擦係数は, NiB-H 軸の約 1/5 で両者の潤滑状態の相違が明らかである。

3.4 摩耗量に及ぼすめっき軸の影響

本研究では試験機あるいは供試軸の種類で負荷が異なるため摩耗量を比摩耗量 (mm³/kg·mm)で示し、比較する。この比摩耗量の値は、始動時から所定摩擦回 数までの摩耗量を荷重と距離で徐した値である。

図8-9~図8-13 に摩擦回数と比摩耗量について示した。

-116-

各摩擦回数ごとに供試軸と試験片を交換し,しかも各摩擦回数に対して数個の 実験結果を得ているため,摩耗量にばらつきがある。したがってそのばらつき範 囲も図中に示した。

図 8-9 に A 試験機における MICr
 軸と銅試験片の比摩耗量を示した。

銅の比摩耗量は 10⁻¹⁰ mm³/kg·mm の オーダにあり, 摩擦回数の増加に対して もほとんど変らない。MICr 軸の比摩耗 量は摩耗初期において 10⁻⁹ mm³/kg·mm のオーダであるが, その後は徐々に小さ くなり 10⁻¹⁰ mm³/kg·mmのオーダとなり 非常にすぐれた耐摩耗性を示す。

このようになじみ性ができるまでの 摩耗量は大きいが, 凝着は起こさない。

図 8-10 に A 試験機における NiB-H 軸と銅試験片の比摩耗量を示した。銅 の比摩耗量は摩耗初期において大きい がその後徐々に低くなり 10⁻⁹ mm²/kg·mm のオーダになる。

一方,NiB-H軸は軸が摩耗するよ りも,銅が軸に凝着を起こす。このた めに銅の比摩耗量も大きくなったと考 えられる。

図8-11にB試験機におけるMICr 軸と銅試験片の比摩耗量を示した。

銅の比摩耗量は10⁻⁹から10⁻¹⁰mm³/kg・



図8-10 Cu/NiB-H軸の比摩耗量 (A試験機)

-117-



mmのオーダへと摩擦回数の増加にと

MICr 軸も銅の場合と同様な傾向を 示し、しかも比摩耗量の値もほとんど 同じである。

図8-12にB試験機におけるNiB-H 軸と銅試験片の比摩耗量を示した。

銅試験片の比摩耗量は摩擦回数が増加すると低い値となるが、初期摩耗において、ばらつきが多く、10⁻⁷mm²/kg・mmのオーダとなり、この値から無潤滑あるいは境界潤滑領域にあるとみなせる。





NiB-H軸は摩耗するよりも銅が凝着を起こし、軸の重量は増加する。

-118-

図8-13 にB試験機における NiB軸と銅試験片の比摩耗量を示した。

銅試験片の比摩耗量は 10⁻⁷ から 10⁻⁸ mm³/kg・mm のオーダへと摩擦回数の増 加にともなって減少する。

NiB軸は図8-12のNiB-H軸と同様に摩耗するよりも銅が凝着を起こす。 しかし、熱処理をしないNiB軸のほうは摩擦回数5万回までは凝着を起こすが、 その後移着-再移着-脱落という現象をくり返し、凝着から摩耗へと変ることに 注目すべきである。

以上のごとく NiB軸と NiB-H軸の比摩耗量は銅の凝着のため明らかでない。 MICr軸, NiB軸および NiB-H軸と銅の凝着に関しては, MICr軸と銅が凝 着を起こしにくく⁶⁾, ニッケルと銅は相互溶解度が高く, 凝着を起こしやすい⁷⁾, また一般金属を組合せた場合の親和性の良否についての報告⁸⁾ などとよく一致す る。したがって, めっき軸であっても, その表面材料を一般金属とみなし, 上記 の研究結果を参考にすることができる。

結晶構造から検討すると、ニボジュールめっき軸が面心立方格子構造であり、 銅試験片が面心立方格子であるため、凝着を起こしやすいと考えられる。

3.5 摩耗面の観察

図 8-14 にA試験機における摩擦 回数 15 万回時の供試軸および試験 片の摩耗面を顕微鏡写真で示した。

MICr 軸表面には銅の凝着はなく、 摩擦方向に条こんが残っているだけ である。

NiB-H軸表面には銅の凝着が摩 擦方向に多く起きている。

図 8 – 15 に B 試験機における 2 0



図8-14 軸と試験片の摩耗面(A試験機)

万回転時の供試軸および試験片の表面顕微鏡写真を示した。

MICr 軸表面は使用前とほとんど変化がなく、銅試験片の摩耗部分も摩擦方向 に条こんだけが残っている。

NiB-H軸表面には茶かっ色とな った銅が凝着している。銅試験片の 摩耗部分はあらい条こんあるいはむ しりが生じた。

NiB 軸 の表面は NiB-H 軸と同様 に銅の凝着が起こるが, NiB-H 軸 よりも凝着は少ない。

以上のごとく表面顕微鏡写真でも MICr軸とNiB軸あるいはNiB-H 軸を比べることができるが,さらに 凝着あるいは移着を確認するため, B試験機で行った摩擦回数1万回の 供試軸と試験片を再び使用して19 万回(計20万回)摩擦させた。その



結果 NiB 軸のめっき層がはく離を起こした。めっき軸におけるはく離は最も悪い現象であるため、この面を XMA で観察し、図 8-16 に示した。

(a) は NiB 面とめっきがはく離した素地面(S 45C) を二次電子像で示した。 (b) は Ni – K α 線像で、素地にも Ni の摩耗粉が存在している。(C) は Fe – K α 線像で、完全に Ni がはく離している。(d)は B – K α 線像で、NiB 面にB が存在していることを確認した。(e)は Cu – K α 線像で、銅がめっき面に多く 分布している。これからも、凝着の多かったことが明らかである。

図 8-17 は銅試験片への Ni の凝着を調べたものである。(a) は二次電子像で ある。(b) は Ni-K α 線像で、銅の表面には Ni が存在していないことを確認 した。

-120 -



図 8-17 銅試験片の XMA 写真

図 8-18 に MICr 軸の摩擦回数 20 万回時の表面を XMA で観察し、示した。 (a) は MICr 軸の二次電子像で、(b) は Cr - K α 線像である。 この表面を



相手材料 銅 摩擦回数 20万回 荷 重 19.2 kg/cm² 速 度 2.0 m/s B試験機

図 8 - 18 MICr 軸の XMA 写真
 Cu-K α 線像で銅の凝着を調べたが, 銅は
 存在していなかった。

図 8-19 に銅試験片の二次電子像を示した。この表面を $Cr-K\alpha$ 線像で銅への凝着について調べたが、全く Cr が凝着していないことを確認した⁹。



相手材料 MICr 軸 荷 重 19.2 kg/cm² 摩擦回数 20万回 速度 2.0 m/s B試験機 ^{00 µm} 図8-19 銅試験片の XMA 写真

4. 結 論

- (1) ニボジュールめっき軸の熱処理時間と温度は 370 ~ 380 ℃, 40 ~ 60 分がよく,熱処理後は大気中で徐冷すればよい。
- (2) クロムめっき軸と銅の組合せは、ニボジュールめっき軸と銅の組合せよりも
 温度上昇で 20 ~ 50 ℃、摩擦係数で 1/10、比摩擦量で 1/100 低く、すぐれている。
- (3) ニボジュールめっき軸と銅の組合せは常に凝着あるいは焼付を起こしやすく、 クロムめっき軸の代わりとして同じ軸受に用いることはできない。
- (4) 結晶構造から検討すると、ニボジュールめっき軸が面心立方格子であり、銅試験片が同じ面心立方格子であるため凝着を起こしやすいと考えられる。

- 1997年1月1日 - 「女」「日本」「献」「「」」「「」」「「」」 - 1997年1月1日 - 「女」「日本」「献」「」」「「」」「」」

- 1. 小島隆司:ウエムラジャーナル, 12,1(1971) 32.
- 2,3. L. J. E. Hofer, J. F. Shultz, R. D. Panson, R. B. Anderson: Inorg, chem., 3, 12 (1964) 1783.
- 4. 金属学会編:金属便覧, 丸善(1964-3)447.
- 5. 築添 正:日本機械学会関西支部第 69 回講習会(1976-7)1.
- 6. 肥田 昭, 市村雄弘: 潤滑, 14, 2(1969)70.
- 7. 笹田 直, 野呂瀬進, 三科博司: 潤滑, 22, 3(1977)169.
- E. Rabinowicz, S. P. Loutrel: Proc. of Int. Solid. Lub. symp. Tokyo (1975)84.

an the second second second second second

9. 肥田 昭, 市村雄弘: 潤滑, 23, 6(1978) 414.

第9章 試験片の形状と摩耗

1. 緒 言

第7章および第8章では、くら形試験片を供試軸の上に乗せて摩耗試験を行い、 めっき軸に適した軸受材料を調べた。

しかし、くら形試験片では、潤滑油が供試軸と試験片間に介在しにくいため、 油浴潤滑であるにもかかわらず境界あるいは混合潤滑状態になっている。また、 実用の軸と軸受とは異なった接触状態で実験を行っていることになる。

したがって、実験室で得られた結果を実用に十分活用することができず、実用 時に再び実機テストを行うことが多い。

本章では、できるだけ実用機械に近い状態で、軸と軸受の摩耗試験が行えるように試験片の形状をリング形に変えて、軸受すきまのある状態で摩耗試験を行った。

試験機としては,第7章あるいは第8章で用いたアムスラ式金属摩耗試験機を 主として用い,さらに実機に近い摩耗試験機を試作して用い,試験片の温度上昇, 摩擦係数あるいは摩耗量の測定から,摩耗に及ぼす試験片形状の影響について主 として調べた。

実験装置および測定方法

2.1 実験装置

アムスラー式摩耗試験機(A)による測定方法については第7章2節と同じであ るため省略し,試作摩耗試験機(C試験機)について述べる。なお,第8章記載 のB試験機は用いない。

図 9-1 に示したごとく、1PS、3800 rpm のモータを駆動源として使用し、 Vベルトを介して主軸を1850 rpm で回転させる。主軸と供試軸取付軸の間にト

-124-



図 9-1 試作摩耗試験機(C試験機)

ルク検出器を取付ける。

供試軸は,供試軸取付軸の先端にキーと止めナットで固定し,この軸にリング 形試験片(軸受)を差し込み,軸受箱をかぶせる。

負荷はレバー方式で,軸受箱の上部に取付けたアームの一端を支点とし,他端 に重錘を吊し,試験片を軸に押し付けて荷重を加える。

潤滑にはSAE 30番モータオイルを用い,送油ポンプで試験片下部に設けた油 穴より送油する強制潤滑方法を用いた。

本研究では負荷を 80 kg(20 kg/cm²),送油量を 9 cc/min とした。摩擦回数 は 10 万回とし,累積摩耗試験で総摩擦回数 30 万回あるいは連続 30 万回とした。

アムスラ式摩耗試験機においては,負荷を100kgとし,潤滑方法を油浴潤滑 とした。この負荷の値は,試験片形状がリング形では軸受圧力計算式 p=W/d·/ (p:軸受圧力,W:荷重,d:軸受直径,/:軸受幅)により算出すると

25 kg/cm² となり、くら形では 38.5 kg/cm² となる。

摩擦回数は5万回あるいは10万回とし,累積摩耗試験で総摩擦回数を30万回 あるいは50万回とした。

各試験機における摩擦回数,摩擦距離,摩擦時間の関係を図9-2 に示した。

							1	1			ł	
摩擦回数	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	× 10 ⁴
回			1		ł	ł				ł		
摩擦距離	0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	22.5	25.0	
km	. 1						1	1	I	1	1	
摩擦時間	Q	80	160	240	320	400	480	560	640	720	800	アムスラ式試験機
min	0	10.8	21.6	32.4	43.2	54.0	64.9	75.7	86.5	97.3	108.1	(A試験機) 試作試験機 (C試験機)

図9-2 摩擦回数,摩擦距離,摩擦時間の関係

2.2 供試軸と試験片の形状寸法

供試軸の形状寸法は第7章2.2節と同じであるが、試験片との関係を理解しや すくするために 図 9-3 に示した。

表面の MICr めっきは第1章表1-1 の条 件で行った。

試験片の形状寸法を 図9-4 あるいは 図9 -5 それぞれ示した。

図 9-4 のくら形試験片は第 7 章あるいは 図 9-3 供 試 軸

第8章と全く同じ形状寸法で,材質および加工方法も同じである。

図 9-5 のリング形試験片は銅棒(T CuB 1-1/2 H)を旋削加工で仕上げ, 軸との接触面は耐水研摩紙 1000 番で仕上げた。



A試験機用

A試験機用

C試験機用

図9-4 くら形試験片。

図9-5 リング形試験片



試験片の表面あらさは、くら形で 5.5 ~ 10 μ m R_{max} 、リング形で 8 ~ 22 μ m R_{max} である。硬さは、両形とも Hv 94 ~ 95 である。

図 9 - 6 に軸と試験
 片の接触状態を示した。
 (a~c)はくら形試験
 片の場合で,(d~f)
 はリング形試験片の場
 合である。

くら形試験片をバフ 仕上げする場合に, (a)~(c)の中で,ほ

とんどの実験者は (b) のように軸と試験片が 完全に接触するように

加工すると思う。この





🗄 図 9 - 6 供試軸と試験片の接触状態

接触状態を(d~f)のリング形試験片に対応させると(e)の状態となり,軸と試 験片間にすきまがなく,軸は回転できなくなる。実用の軸と軸受では,必ず軸受 すきまがある状態(f)で,軸と試験片(軸受に相当する)は線接触をしている。 この状態で軸受が摩耗すると(d)の破線で示したようになる。

すなわち図の(b)はリング形試験片の摩耗後の状態(d)で,(c)はリング形試験片の実験前(f)の状態である。したがって従来のくら形では(b)と(c)とが入れ替った状態である。

実用機械では,始動時の潤滑の良否が軸受寿命に及ぼす影響は大きい。したが って,実用に準じた実験をするために,くら形試験片の他にリング形試験片を作 成した。

本研究での供試軸とリング形試験片の取付すきま(軸受すきま)は30 µmとした。

-127-

2.3 温度測定方法

試験片温度は、リング形あるいはくら形試験片に設けた温度測定用穴に、熱電 対(鉄-コンスタンタン、保護管外径1mm.)をそう入し、A試験機の場合は第 7章あるいは第8章と同じ方法で、試作機(C試験機)の場合はディジタルマル チ温度計を用いて測定した。C試験機での測定間隔は10秒とし、試験片温度が 安定すれば1分とした。

2.4 摩擦係数の測定方法

A試験機の場合は第7章あるいは第8章2.4節と同じ方法で測定する。

C試験機の場合は主軸と供試軸取付軸の間に取付けたトルク検出器とトルクメ ータにより測定する。

トルク検出器の構造は 図9-7 に示したように検出外,内歯車お よび検出コイルなどからなってい る。

中空胴に取付けられた検出内歯 車に,相対的回転が生じると,各 々の検出コイルに誘起電圧が発生 する。これを信号出力とし、左右



図 9-7 トルク検出器の構造

の信号間の位相差を検出することによってトルクをディジタルトルクメータによ り測定する。

この値から摩擦係数を次式で求める。

$\mu = T/Wr$	μ:摩擦係数	T:摩擦トルク(kg・mm)
	W:荷重(kg)	r:供試軸の半経(mm)

2.5 摩耗量の測定

両試験機に用いた供試軸あるいは試験片の摩耗量は,第7章2.5節と同様に実 験前後の試験片重量を直示天秤で測定して求めた。

-128-

両試験機とも,各摩擦回数に対して供試軸あるいは試験片をそれぞれ3~5個 使用し、測定値のばらつきについても調べた。

2.6 実接触面積の測定方法

リング形試験片を軸受と考えるならば、試験片の幅は軸受幅となる。

前出の式 p=W/d/ において, 軸受幅/は見かけの接触長さであり, これを補 正するために, 軸方向の表面あらさを測定する。この方法は表面あらさの測定か ら実接触面積を求めている¹⁾ 方法を軸方向にだけ用いたものであり, 円周方向の 表面あらさは無視した。すなわち, 軸方向の表面あらさを所定摩擦回数ごとに測 定し, とつ部(島)全体の長さ/'を求め, 実接触面積 A=d/'を求めた。

実験結果および考察

3.1 温度に及ぼす試験片形状の影響

図 9-8 に、A試験機における摩擦回数とリング形試験片温度を示した。

負荷 25 kg/cm² と 12.5 kg/cm² とでは、ほとんど変らない。

図 9-9 に摩擦回数 30 万回までのリング形試験片とくら形試験片の温度を比較した。

両試験片の接触状態が異なり,接触圧力も異なるが,試験片温度はほとんど同 じである。





図9-10 に試作機(C試験機)における摩 擦回数と試験片温度を示した。

負荷 10 kg/cm² と 20 kg/cm² とでは後者の 試験片温度が約 10 \mbox{C} 高い程度で、あまり大 差はない。摩擦回数 20 万回 ぐらいまでは試 験片温度は高くなるが、その後わずかに低く なる。しかし連続 30 万回転までの測定にお いて、軸受箱の温度が定常状態になれば、軸 受温度も安定し、負荷 20 kg/cm² で約 60 \mbox{C} ~ 70 \mbox{C} となる。この値は第 8 章図 8 - 6 の B試験機(回転速度 1000 rpm,油浴 潤滑、くら形試験片、荷重 19.2 kg /cm²、くら形試験片)の場合と同 じぐらいである。

3.2 摩擦係数に及ぼす試験片

形状の影響

図 9-11 にA試験機におけるリン グ形試験片の摩擦回数と摩擦係数を 示した。

摩擦係数の値は,負荷の小さいほうが大きくなっている。これは試験 片と軸の接触が荷重の加えた部分だ けでなく,他の部分でも生じている ものと思われる。

図9-12 に摩擦回数30万回までの リング形試験片とくら形試験片の摩



図 9 - 10 摩擦回数と試験片温度 (C試験機)



図 9 - 11 摩擦回数と摩擦係数 (A試験機)



-130-

擦係数を比較した。

リング形での摩擦係数はくら形の約1.5~ 3倍である。これは、軸とリング形試験片の 間(軸受すきま)に潤滑油が存在し、油の粘 性によるためと考えられる。

図 9-13 に C 試験機における摩擦回数と摩 擦係数を示した。

摩擦係数は摩擦回数が多くなるに従ってわずかに小さくなる。この値と前出の図9-11

を比べると、わずかにC試験機のほうが摩擦係数は小さい。

3.3 摩耗量に及ぼす試験片形状の影響

図 9-14 に A 試験機におけるリング形試験片の摩擦回数と比摩耗量を示した。 摩擦回数の少ない場合の比摩耗量の値は大で、しかもばらつき範囲も大きい。



図 9 - 14 摩擦回数と試験片の比摩耗量 (A試験機)



0.06 0.04 0.02 0 10 20 30 ×10⁴ 摩擦回数,回 回転速度 1800 rpm 送油量 9 cc/min 荷 重 20 kg/cm² リング形試験片

肁歁係数

図 9 - 13 摩擦回数と摩擦係数 (C試験機) しかし摩擦回数が多くなると徐々に比摩耗量は少なくなる。表面あらさの大きい 場合は初期摩耗が多く、図のばらつき範囲の高いほうの値になる。

図 9-15 に摩擦回数 30 万回までのリング形試験片とくら形試験片の比摩耗量を 比較した。

リング形試験片のほうがくら形試験片よりも比摩耗量は大で,これは接触面の 表面あらさがリング形のほうが大であるためと思われる。

図 9-16 に C 試験機における摩擦回数と比 摩耗量を示した。

摩擦回数の増加に従って比摩耗量は少なく なるが,ばらつき範囲はあまり変らない。こ の値を前出の図9-14と比べると,わずかに A試験機における値のほうが小さい。

図 9-17 に A 試験機における軸の摩擦回数 と比摩耗量を示した。

軸の比摩耗量が前出の 図9-14 の試験片の 比摩耗量よりも多く,めっき軸の初期摩耗の 大きいことが²⁾本実験でも明らかである。

図9-18 に摩擦回数30万回までのリング形 試験時とくら形試験日を用いた場合の軸の比



回転速度 1850 rpm 送油量 9 cc/min 荷 重 20 kg/cm² リング形試験片

図9-16 摩擦回数と試験片の 比摩耗量(C試験機)

試験片とくら形試験片を用いた場合の軸の比摩耗量を比較した。

リング形での軸の比摩耗量は摩擦回数 15 万回以上でも 10⁻¹⁰ のオーダであるが、 くら形では 10⁻¹¹ のオーダとなる。 これは軸の真の摩擦距離がくら形に比べて大 であるためと思われる。この真の摩擦距離とは、相手試験片と真に接触する距離 のことで、くら形のほうがリング形よりも接触長きが短いため、軸の摩擦距離は 短いことになる。すなわち、くら形での軸の摩擦距離はリング形での 1/4.5 が真 の摩擦距離になる。言い換えれば pin on cylinder 形式では、常に軸のほうが有 利に取扱われていることになる。



図 9 - 17 摩擦回数と軸の比摩耗量 (A試験機)



×10⁻¹⁰

10

20

×10

1(

8

軸の比摩耗量, mm³kg·mm

図 9-19 にC試験機における摩擦回数と軸 の比摩耗量を示した。

軸の比摩耗量は非常に少なく、A試験機に おける状態と異なり、試験片の比摩耗量より も軸の比摩耗量のほうが小さくなっている。 これは、A試験機では油浴潤滑のため摩耗粉 が除去されにくいが、C試験機では強制潤滑 により摩耗粉が洗い流されるためではないか と推察する。

軸の比摩耗量の値を前出の 図9-17 と比べると約 1/3 で,ばらつき範囲も少ない。



リング形試験片とくら形試験片とでは、前出の 図9-6 のごとく接触状態が異なる。リング形試験片あるいはくら形試験片の見かけの接触面圧力は、それぞれ

10 軸の比摩耗量, mm^Mkg[,]mm 8 2 0 10 20 30 ×10⁴ 摩擦回数、 回転速度 1850 rpm 送油量 9 cc/min 重 20 kg/cm² 荷 試験片:リング形 図 9-19

×10⁴

30



-133-

(1), (2) 式で求められる ³⁾	p ₁ :リング形試験片の見かけの接触 面圧力 (kg/cm ²)
$p_1 = W/dl \qquad (1)$	 □ 2: くら形試験片の見かけの接触面 □ E カ (kg/cm²)
$p_2 = W/bl \qquad (2)$	W:荷重(kg)
(1),(2) 式において, d>b である	d :リング形試験片の内径 (cm) / :試験片の幅 (cm)
から P1 < P2 となる。	b : くら形試験片の長さ (cm)
リング形試験片幅!の実接触面長さを表面	あらさの測定より求めると(1) 式
は	P':実接触面圧力(kg/cm ²)
$p'_{i} = W/d \sum_{i=1}^{n} li \qquad (3)$	W:荷重(kg) d:リング形試験片の内径(cm)
で表せる。	n:接触点の数 ル:接触点一個の長さ(cm)
この計算式で各摩擦回数ごとの実接	

触面圧力を求め、摩擦回数と実接触面圧力の変化を図9-20 および 図9-21 に示した。

図 9-20 は A 試験機の場合で,表面あらさの大なる試験片は,初期摩耗が大で







図 9 - 21 摩擦回数と接触面圧力 (C試験機)

-134-

あるが荷重に耐えられる表面あらさになると,実接触面圧力も一定となる。負荷 が小さいと実接触面積が小さくてよいから,図のように実接触面圧力が低い値を 示す。

図9-21はC試験機の場合で、(1)式で求めた見かけの接触面圧力と(3)式で 求めた値とが一致し、荷重に耐えるだけの接触面長さになったことがわかる。

摩擦による表面あらさの変化の一例を図9-22に示した。





荷重 12.5 kg/cm²,油浴潤滑,摩擦回数 15万,30万,表面あらさ 7.5µm R_{max} (b)リング形試験片(旋削仕上後耐水研摩紙仕上)

図 9-22 摩擦と表面あらさの変化(A試験機)

(a),(b)に摩擦前後の表面あらさ測定結果を重ねて示した。(a)のごとく旋削 時の表面あらさが大であると、初期摩耗は大きいが、深いみぞは残っている。こ のみぞは円周方向に続いているため、油浴潤滑では油みぞを軸受面に多く設けた ような状態になり、油膜形成をよくすると同時に軸受の冷却効果もある。

(b)のごとく旋削後,耐水研摩紙で仕上げると,図のごとく摩耗が少なく,表面が速く美しくなる。15万回~30万回までの摩耗はわずかで,(a)と同様に油

-135-
だまりとなる研削みぞは残っている。

以上の結果,リング形試験片の旋削時の表面あらさは大でもよいが,研摩紙仕 上げによる接触面の表面あらさは小さくすることが望ましい。

リング形試験片とくら形試験片の加工では、くら形試験片のほうが同じ表面あら さに仕上げやすく、リング形試験片では穴にテーパがつきやすい。したがって、 くら形試験片を用いてリング形と同様な接触状態で実験を行うためには、くら形 試験片の円弧の部分を軸の半径よりもわずかに大きく加工すればよい。

リング形試験片の利点は、実用機の軸受と同じような接触状態が得られること、 円周のどの位置からでも送油ができ。しかも送油量を変えて実験が行えることで ある。欠点は試験片の研摩紙仕上げが容易でなく、摩耗面の顕微鏡観察ができな いことである。

4. 結 論

- (1) リング形試験片とくら形試験片とでは、温度はそれほど顕著な相違がない。 しかし、くら形試験片のほうが接触面の仕上げが容易で、美しい表面が得られ るため、摩耗量では少なくなる。
- (2) 試験片を負荷に耐えられる最小の実接触面積が得られるような表面あらさに 仕上げると、初期摩耗は少なくなる。
- (3) アムスラ式摩耗試験機で、油穴位置あるいは送油量を変えて実験を行う場合 に、リング形試験片のほうが適している。
- (4) リング形試験片を用いた試作摩耗試験機は実機に似た軸受の摩耗試験を行うのに適している。なお、アムスラ式摩耗試験機においても同じことがいえる。
- (5) リング形試験片の欠点は接触面の研摩紙仕上げが容易でなく,実験後の摩耗

面の観察をする場合に試験片を切断しなければならないことである。

(6) くら形試験片をリング形試験片と同様な接触状態にするためには、くら形試
験片の半径を軸の半径よりもわずかに大きく加工すればよい。

-136-

文 献

- 1. 築添 正:潤滑, 13, 3(1968)101.
- 2. 岸 松平:クロムめっき,日刊工業(1967)197.
- 3. 益子正已:機械設計,養賢堂(1971)170.

総 括

過酷な条件下の軸受において、クロムめっき軸を使用することが多い。そこで 摩擦、摩耗特性の観点から、クロムめっき軸に適する軸受材料の種類、クロムめっ き軸と他のめっき軸との比較あるいは試験片形状の摩耗に及ぼす影響などについ て調べた。

これらの一連の研究成果の結論は各章の終りにおいて述べたとおりであるが, その所論を要約すれば次のとおりである。

第1章では、クロムめっきの方法あるいはめっき層の諸性質について調べた。 その結果、めっき浴の管理を十分行い、電流密度とめっき浴の温度を制御するこ とによって工業用クロムめっきあるいはポーラスクロムめっきが得られる。そし て、めっき後の洗浄方法は超音波洗浄あるいは水洗しながら表面をブラシでこす るのがよい。まためっきの密着性は表面あらさの小さいほどよく、ポーラスクロ ムめっきの多孔率は厳密に決定するのは困難であることなどが明らかとなった。

第2章では,めっき軸とケルメット軸受を用いた場合の軸受温度分布と油膜厚 さについて調べた。

その結果,始動後10~30分までは軸受温度上昇が急であることから,温度上昇 に注意すれば破損を未然に防ぐことが可能である。

クロムめっき軸とポーラスクロムめっき軸とでは、ポーラスクロムめっき軸の ほうが軸受温度も低く、油膜厚さも厚くすぐれている。

第3章では、ポーラスクロムめっきのタイプと各種の軸受材料の良否について調べた。

その結果, ピンポイントタイプがチャンネルタイプよりもすぐれており, 軸受材料としては銅系含油, アルミニウムおよびケルメットがクロムめっき軸に対して 焼付を起こしにくく, 黄銅, りん青銅およびテフロンは焼付を起こしやすいこと

-138-

が明らかとなった。またポーラスクロムめっき軸の多孔率が大きいと軟かい軸受 を引かくことがあるので、多孔率は40%ぐらいまでが適当である。

第4章では、往復動軸にクロムめっきを施した場合の潤滑について調べた。 その結果、油と空気の混合潤滑は軸受面に油を散布するため軸受温度を低く保つ ことができる。送油量は1.0 cc/min 以上にしても軸受両端面からの油の排出が 多くなるだけで、軸受の冷却にあまり効果がない。軸の種類では、油あるいは油 -空気潤滑に対してピンポイントタイプポーラスクロムめっき軸が、空気潤滑に 対してはクロムめっき軸が、それぞれよい。なお、空気潤滑での軸受すきまは小 さいほうが、軸受両端での軸の傾きが少なくてよい。

第5章では、ポーラスクロムめっきのタイプと油膜形成について調べた。 その結果、クロムめっきよりもポーラスクロムめっきのほうが油滴の広がりはよ く、さらにチャンネルタイプのほうがピンポイントタイプよりもよい。しかし、 油膜厚さは薄くなる。透明な軸受を用いると、軸受全体の油膜形成状態が観察で き、しかも第3章の電位差法による油膜厚さ測定結果とよく一致した。

第6章では、クロムめっき軸と軸受材料の凝着について調べた。

その結果,第3章と同様にクロムめっき軸に対して,りん青銅あるいはすずが凝 着を起こしやすく,銅あるいは鉛が凝着を起こしにくい。さらに,ポーラスクロ ムめっき軸のみぞあるいは穴に油が存在していなければ,目づまりを起こすこと が明らかとなった。さらに結晶構造から検討すると,クロムめっき層が体心立方 格子であるため,軸受材料は体心正方格子のすずよりも面心立方格子の銅あるい は鉛が凝着を起こさなくてよい。すなわち,第2章でのケルメットがクロムめっ き軸に適していることと一致する。

第7章では、潤滑下でのクロムめっき軸と軸受材料の摩耗について調べた。 その結果、油浴潤滑であっても、境界あるいは混合潤滑で実験を行っていること が明らかとなり、第3章あるいは第6章と同様、クロムめっき軸に対して、銅あ るいは鉛がすぐれている。 第8章では、クロムめっき軸の代用として用いられようとしているニボジュー ルめっき軸とクロムめっき軸とを比較して調べた。

その結果,クロムめっき軸を用いると,銅は凝着あるいは焼付を起こさないが, ニボジュールめっき軸を用いると負荷が少なくても凝着あるいは焼付を起こし, しかも温度上昇,摩擦係数あるいは摩耗量ともにクロムめっき軸の場合よりも大 である。結晶構造から検討すると,ニボジュールめっき層が面心立方格子であり, 軸受材料の銅が同じ面心立方格子であるため凝着を起こしやすいと考えられる。 したがって,銅軸受に対しては,クロムめっき軸の代用としてニボジュールめっ き軸の使用は不適当であることが明らかとなった。

第9章では、試験片の形状と摩耗について調べた。

その結果,リング形試験片はくら形試験片よりも実用に近い状態で摩耗試験がで き,しかも送油量あるいは油穴位置を変化させて試験を行う場合に適している。 なお,試作摩耗試験機は今後十分活用できることが確認できた。

謝 辞

本研究を遂行するにあたって,終始御懇篤な御指導と御鞭撻を賜わりました 大阪大学 築添正教授に衷心から感謝を申し上げます。

また論文を校閲していただきました大阪大学山田朝治教授,井川直哉教授な らびに大阪大学精密工学科の諸先生方に厚く感謝の意を表します。

また種々御教示を賜わりました神戸大学 鳴瀧良之助教授に,日頃から有益な 御助言,御協力をいただきました大阪大学 久門輝正助教授,坂本亨,大前伸夫 諸先生方に厚く御礼申し上げます。

本研究は近畿大学において行ったもので,研究期間中御指導御便宜をはかって いただきました近畿大学 木島茂教授を始め,XMA写真に対し御協力いただい た荻野邦彦助手ならびに機械工学科の諸先生方に厚く御礼申し上げます。

さらに本研究に使用しました工業用クロムめっきに対して永年に互り御援助と 御協力を賜わりました特殊機化工業株式会社 古市修次会長,高浜禎工場長, 市村雄弘課長に深く感謝の意を表します。