$$\log[\text{Cl}^-] = 1.62 \log[\text{OH}^-] + 1.84$$

このときの pH は 12.68 である。

アルミニウムについても、これと類似の pH で孔食の発生がなくなるようであるが目下検討中である。

4. 結 論

アルミニウムの 0.5N NaCl 溶液中における孔食電位と保護電位をポテンシオスタットを使用して測定した。

得られた結果はつぎのとおりである。

(1) pH 4 の 0.5N NaCl 中のアルミニウムの孔食電位は 2 つあって、第 1 の孔食電位は -1.15V 、第 2 の孔食電位は -0.73V で、保護電位は -1.20V である。

(2) pH 6 の 0.5N NaCl 中のアルミニウムの孔食電位は 2 つあって、第 1 の孔食電位は -1.16V 、第 2 の孔食電位は -0.72V で、保護電位は -1.20V である。

(3) pH 8 の 0.5N NaCl 中のアルミニウムの孔食電位は 2 つあって、第 1 の孔食電位は -1.16V 、第 2 の孔食電位は -0.70V で、保護電位は -1.16V である。

(4) pH 10 の 0.5N NaCl 中のアルミニウムの孔食電位は -0.7V 、保護電位は -1.16V である。

(5) pH 12 の 0.5N NaCl 中のアルミニウムの孔食電位は -0.52V 、保護電位は -1.89V である。

終わりに実験を担当してくださった小沼博君に厚く感謝いたします。(1972—10—19 受理)

文 献

- 1) 加藤正義, “アルミニウムの腐食, 溶解機構とその電池への応用”, (学位論文)
- 2) 杉本克久, 沢田可信, 森岡進, 金属学会誌, **30**, 971 (1966)
- 3) M. Pourbaix, “Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions” (1966), Pergamon Press
- 4) E. Rajola, A. Davidson, J. Am. Chem. Soc., **78**, 556 (1956)
- 5) M. Garreau, Métaux Corrosion, Industrie, **541**, 291 (1970)
- 6) H. P. Leckie, H. H. Uhlig, J. Electrochem. Soc., **113**, 1262 (1966)

高圧-低速条件下における高合金鋼のスベリ

摩耗特性について

竹 内 栄 一*

Sliding Wear Properties of High Alloy Steels under Conditions of High Pressure and Low Velocity

Eiichi TAKEUCHI

In this paper, the dry-sliding wear properties of SKD 11 and SKH 9 under conditions of high pressure and low velocity are discussed; these samples are industrially utilized as mold forming materials in cold forming. Particularly, these alloy steels were used as stators, while sulfurized or phosphated low carbon steels were used as rotors cooperating with the side stators.

The results showed that in the range of contact pressure of $500 \sim 1500 \text{ kg/cm}^2$ and sliding velocity of $0.05 \sim 1.00 \text{ m/sec.}$, the surface layers of phosphated rotors broke away at their earlier stage of wear, which resulted in metal transfer due to adhesion.

Whereas, little adhesion was observed on the sulfurized rotors. A part of porous sulfurized layers spalled away as wear powder, which adhered to the sliding surface of counter experimental piece. Then, the wear loss between the two sulfurized layers grew remarkably less.

It was also observed that when the wear ratio varied in the velocity-wear property curve, the wearing mechanisms were nearly identical with those mentioned above.

It was further observed that the wear of underhardened material was slightly larger than that of ordinarily quenched and tempered one, because the hardness of the former was much lower than that of the latter.

* 東京都立工業技術センター (東京都北区西ヶ丘 3—13—10) The Tokyo Metropolitan Industrial Technology Center

図1 実験に用いた摩耗試験片

1. 緒 言

最近における金属加工の技術的な進歩、図 2 表
生
発展は著しく、ことに冷間成形については
これがきわめて生産性の高いことから、その応用範囲の
漸次拡大される傾向がみられる。したがって被加工材の
加工性に関してはすでに多くの研究が報告されてい
る¹⁾。しかし金型材料の合理的な選択とこれにともなう
熱処理、ならびに高圧低速条件下における摩耗特性を解
明した研究はきわめて少ない²⁾。

本研究は比較的多量生産に適する金型材料としては用いられている高炭素高クロムダイス鋼あるいはモリブデン系高速度鋼について通常の条件で焼入れ、焼モディ処理したもの、および耐磨耗性を可及的そこなわない範囲で、しかも耐衝撃性を向上させる目的から Under hardening を施したものを、それぞれ潤滑皮膜処理した低炭素系構造用鋼と組み合わせて 高圧-低速条件のもとで乾燥-スベリ 摩耗を行ない、上述の各金型材料ならびにその熱処理が摩耗特性におよぼす影響を吟味したものである。

2. 実験に用いた試験片および方法

表1 固定試験片の熱処理条件とスベリ面付近のカタサ

固定試験片		焼 入 レ		焼 モ ド シ			スベリ面付近 の平均カタサ (HrC)	摘 要
鋼 種	記号	温度(℃)	冷却方法	温度(℃)	時間(h)	回 数		
SKD11	A	980	油 冷	180	1	1	63	普通焼入レ, 焼モドシ
	B	880	〃	180	1	1	53	Under Hardening
SKH 9	C	1200	油 冷	560	0.5	3	64	普通焼入レ, 焼モドシ
	D	1050	〃	250	2	1	57	Under Hardening

注1. 予熱条件: SKC 11, 600~700°C

SKH 9. 600°C~700°C および 900~950°C

注2. 予熱および焼入温度に加熱中はふん囲気ガスとして乾燥窒素を使用

(X線回折条件; (a) Target, Cu, Filter, Ni, Voltage, 30kVp, Current, 10mA
(b) " , Co, " , Fe, " , 30kVp, " , 7mA)

図2 表面処理を施したS15C(回転試験片)の表面層における反応生成物の解析

2-1 実験に用いた試験片

摩耗実験において、金型に相当する固定試験片にはSKD11およびSKH9を用い、これを図1に示すごとく寸法、形状に機械加工したのち、表1の熱処理条件にしたがって焼入れ、焼もどしあるいはUnder hardeningを施した。またこれと組み合わせる回転試験片には冷間成形に適する低炭素系構造用鋼のうちからS15CならびにSCM21の2種類を選び、900℃で焼なましを行なったのち図1に示す円板状に仕上げ、さらにリン酸塩皮膜処理または570℃で2h浸炭処理(NaCN 25%、NaCNO 26%、NaCl21%、Na₂CO₃ 28%の混合塩浴にNa₂S₂O₅を5%添加、融点は480℃)を施した。

なお摩耗実験前における固定試験片のスベリ面の表面アラサは $R_{\max} 1.0\mu$ 、回転試験片のそれは $R_{\max} 3.0\mu$ である。

つぎにリン酸塩皮膜ならびに浸硫処理した回転試験片のスベリ面付近における反応生成物をX線回折により同定し、その結果の一例を図2に示した。これによると、

リン酸塩皮膜処理したS15Cの場合、表面から数 μ の表面層には $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{Zn}(\text{C}_{18}\text{H}_{35}\text{O}_2)_2$, $\alpha \cdot \text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2$, $\beta \cdot \text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2$ などが検出され、また浸硫処理した鋼では表面から25 μ 前後の表面層に FeS , Fe_{1-x}S , Fe_3S_4 などの硫化物, Fe_3C , Fe_3N , Fe_4N などの炭, 窒化物が $\alpha\text{-Fe}$ と共存するいわゆる正常な反応生成物⁹⁾を同定することができた。

2-2 実験方法

摩耗実験は乾燥状態のもとで100%スベリ摩耗方式により行なったり。この場合、単位面積当たりの接触圧力を500~1500 kg/cm^2 の高負荷状態とするため固定試験片のスベリ面を前掲図1に示すごとく0.8mm幅に仕上げ、見かけ上の接触面積を2.0 mm^2 とした。

つぎに各試験片の摩耗率は、定常摩耗状態のもとで単位スベリ距離100mにおける単位面積当たりの重量減少量をマイクロテンピンによりヒョウ量した結果から求めた。

また摩耗機構については固定ならびに回転試験片のスベリ面を光学顕微鏡あるいはX線マイクロアナライザー(以下X.M.Aと略記する)による2次電子線像、特性X線像などで観察するとともに、摩耗粉末をX線回折によって吟味した結果から総合的に判断した。

3. リン酸塩皮膜処理した鋼と組み合わせた高合金鋼の摩耗特性

前掲表1に示す普通焼入れ、焼モディ処理を施したSKD11の固定試験片と焼ナマン後リン酸塩皮膜処理したS15Cの回転試験片を組み合わせ、乾燥-スベリ摩耗実験を行なった。すなわち摩耗条件には接触圧力500および1000 kg/cm^2 を選び、スベリ速度を0.05~1.00m/sの範囲に変化させて各圧力のもとにおける定常摩耗域での速度-摩耗特性曲線を求めた。

(a) Stator

(b) Rotor

写真1 リン酸塩皮膜処理したS15C(Rotor)と焼入れ、焼モディ処理したSKD11(Stator)を組み合わせ、接触圧力500 kg/cm^2 、スベリ速度0.20m/sのもとで、距離100mで摩耗を行なったときのスベリ面

(試験片; Stator, SKD11 (980°C, OilQ, 180°C, Temper) Rotor, S15C (900°C, anneal, リン酸塩皮膜処理)

図3 リン酸塩皮膜処理したS15Cと組み合わせたSKD11の速度-摩耗特性曲線

図3は上述の実験結果を示したもので、これによると接触圧力あるいはスベリ速度のいかんにかかわらず、初期摩耗の段階で回転試験片のスベリ面に存在するリン酸塩皮膜は容易に除去され、全般的に激しい摩耗現象を呈することが認められた。

たとえば固定試験片に用いたSKD11の摩耗現象についてみた場合、接触圧力500 kg/cm^2 、スベリ速度0.20m/sにおいて実験開始直後からスベリ面には写真1aにみられるごとく凝着などに起因する激しい金属転移現象

が観察され、さらにスベリ距離が増すにともなってヒッカキ状摩耗コンが多く現われ摩耗率は最大値を表わすことが認められた。またより低速側の速度0.10m/s以下でもリン酸塩皮膜が除去された後の回転試験片からの金属転移が激しく起こり、摩耗後試験片の重量はスベリ距離に比例して増加の傾向を示す。しかるに高速側の領域ではスベリ速度0.40m/s付近で摩耗率のいったん減少する傾向がみられるが、速度0.60m/s以上では摩擦熱の影響を受けやすくなり、これによる激しい凝着とヒッカキ現象のため摩耗率はふたたび増加がみられるようになる。

これに対して、上述の固定試験片と組み合わせた回転試験片の摩耗接触性は、傾向的には固定試験片のそれと類似しているが、さきにも述べたごとく初期摩耗の段階で容易にリン酸塩皮膜が除去され

(試験片; Stator, SKD11 (980°C OilQ, 180°C, Temper)
Rotor, SCM21 (900°C, anneal, 570°C~2h 浸硫処理))

図4 浸硫処理した SCM21 と組み合わせた SKD11 の速度-摩耗特性曲線

(試験片; Stator, SKH 9 (1200°C, OilQ, 560°C, 3回, Temper)
Rotor, S15C (900°C, anneal, 570°C~2h 浸硫処理))

図5 浸硫処理した S15C と組み合わせた SKH 9 の速度-摩耗特性曲線

る関係上凝着が起こりやすく、しかも固定試験片に比較して機械的性質が低位であることから凝着コンヤスベリ面間に介在する摩耗粉末により写真1bにみられるごときヒッカキ、掘起こし現象が激しく起こり、これにともなって顕著な摩耗損失が認められる。

つぎに接触圧力を 1000kg/cm² として同様な実験を行ない、その結果を図3に併記した。これによると、両試験片とも速度-摩耗特性曲線は上述の圧力 500kg/cm² のときと類似した傾向がみられる。しかし、回転試験片の S15C から固定試験片の SKD11 への金属転移、あるいはこれがさらに回転試験片へ再転移する現象がいつそう顕著に現われ、このため固定試験片の摩耗損失は多くの条件下で重量増加を起し、回転試験片のそれは前述の圧力 500kg/cm² のときよりも軽減される傾向にあることを認めた。

他方、上述の各実験において採取した摩耗粉末をX線回折により検討し、摩耗機構の解明を行なった。これによると接触圧力ならびにスベリ速度のいかにかわらず α -Fe のみが同定され、これからも摩耗がリン酸塩皮膜の除去された後の鋼同志の接触にともなって生ずる凝着によって生じていることは明らかである。

以上の結果から、S15C の回転試験片のスベリ面に施したリン酸皮膜は摩耗の初期段階で容易に除去され、鋼同志が直接接触を起こすことが原因となって激しい摩耗を生ずるものと判断される。したがって冷間成形時に金型と被加工材との間にかかる現象が生ずるときは、被加工材によって被加工材を成形することとなり、ますます金属転移が起こりやすく、その結果として被加工品の精度ならびに金型の寿命を著しく阻害するものと考えられる。

4. 浸硫処理した鋼と組み合わせた高合金鋼の摩耗特性

回転試験片に 570°C ~ 2 h 浸硫処理した SCM21 および S15C を用い、これらを通常の条件で焼入れ、焼モディン処理した SKD11 または SKH 9 の固定試験片と組み合わせて、高負荷、低速条件のもとで乾燥-スベリ摩耗を行ない、その結果から速度-摩耗特性曲線を求めた。

図4はSKD11とSCM21を組み合わせて接触圧力 500, 1000 および 1500kg/cm² のもとで、それぞれスベリ速度を 0.05 ~ 1.00 m/s に変化させたときの速度-摩耗特性曲線を示したものである。

これによると、固定試験片の摩耗率が最大となる摩耗条件は、接触圧力 500kg/cm² の場合スベリ速度 0.20 m/s、圧力 1000kg/cm² では速度 0.10 m/s、1500kg/cm² において 0.05 m/s またはそれ以下となり、接触圧力が高くなるほど低速側へ移行する傾向にある。したがって上述の諸条件よりも低速あるいは高速領域において摩耗率の減少がみられる。しかし圧力 500kg/cm² の場合、速度 0.80 m/s、1000kg/cm² では 0.60 m/s、1500kg/cm² において 0.40 m/s 付近から高速側でふたたび摩耗率の増加傾向が認められた。しかしながらいずれの場合も回転試験片のスベリ面には浸硫層が存在するため、リン酸塩皮膜処理したときのような著しい凝着現象とこれにともなう金属転移がみられず、摩耗後重量増加を表わすことはない。また他方において浸硫層は多孔質であることから⁵⁾、後述のごとく摩耗の過程で摩耗粉末として脱落しやすく、その一部が固定試験片のスベリ面に付着して摩耗は硫化物同志の接触状態のもとで起こるようになり、これに起因して摩擦抵抗が低下する⁶⁾ 関係上比較的低い摩耗率を表わすものと推考される。

このような現象は回転試験片の摩耗においても表われ、摩耗特性曲線は傾向的に固定試験片のそれと類似し

ているが、激しい凝着が起こらないためリン酸塩皮膜処理したものに比べて著しく摩耗損失が少ない。

つぎに浸硫処理したS15Cと普通焼入レ、焼モドシのSKH9を組み合わせて、上述と同様な条件のもとで摩耗実験を行なった。図5はその結果を示したものである。

すなわち接触圧力500kg/cm²の場合は固定および回転試験片ともスベリ速度0.30m/sにおいて最大摩耗率を現わすが、本実験の範囲では全般的に速度の増加にともなう摩耗率の変化の少ないことが特徴である。しかるに接触圧力が1000または1500kg/cm²のときはともにスベリ速度0.10m/sにおいて明らかに摩耗率は最大となり、速度0.50m/sの前後で一旦減少を示した後、より高速側でふたたび摩耗損失の急激な増加が現われるようになる。

換言すると、各接触圧力のもとにおける速度-摩耗特性曲線はいずれも傾向的に類似したものが得られる。しかし摩耗率については圧力500kg/cm²と1000kg/cm²以上との間に顕著な差異のあることが認められた。

そこでこれらの摩耗機構を解明するため、スベリ面ならびに摩耗粉末の解析を行なった。まずスベリ面については接触圧力1000kg/cm²における速度-摩耗特性曲線に例をとり、摩耗率が著しく異なるときのスベリ速度

0.10, 0.50および1.00m/sのもとで摩耗を行なったときの固定試験片のスベリ面をX.M.Aにより吟味した。写真2a~2fはその結果を示したもので、2次電子線像ならびにS・Kα線像から観察し得たスベリ面の状態は、摩耗率が最大となる条件のもとで摩耗粉末となった回転試験片のスベリ面に存在する浸硫層の一部が固定試験片のそれに付着しているのを認めた。しかしより高速側ではヒッカキ状の摩耗コンが多くみられるようになるにもかかわらず、スベリ面全体にわたってイオウ化合物を確認することができた。

他方上述の諸条件で摩耗を行なったときに採取した摩耗粉末についてX線回折によりその構成要素を検討した。図6はその一例として相対的に摩耗率の低い接触圧力500kg/cm²のもとで摩耗率が最大値を表わすスベリ速度0.30m/s、最大摩耗率が明りょうに認められる圧力1500kg/cm²、速度0.10m/sおよび高速側で摩耗率がいったん減少したのちふたたび増加の傾向を呈する圧力1000kg/cm²、速度1.00m/sの3条件で得られた摩耗粉末のX線回折結果を示したものである。

これによると、いずれの場合も回転試験片のスベリ面を構成する浸硫物質がそのほとんどを占め、ほかにα・Fe₂O₃、Fe₃O₄などの酸化鉄を同定することができた。

またこのほかに摩耗率が多いものほどα-Feの存在が明りょうに認められるようになる。

このような結果から、本実験の範囲内においては摩耗条件のいかんにかかわらず摩耗機構に本質的変化がみられず、固定試験片のスベリ面に存在する多孔質な浸硫層が摩耗の過程で脱落し、その一部が固定試験片のスベリ面に付着して硫化物同志の摩擦、摩耗状態を呈するものと判断された。

5. Under hardening を施した高合金鋼の摩耗特性

冷間成形加工などの金型にみられる衝撃破壊を防ぐ目的で行なう熱処理法の一つであるUnder hardeningを本実験の固定試験片であるSKD11およびSKH9に適用し、これらを浸硫処理したS15Cと組み合わせて乾燥-スベリ摩耗を行なった。

すなわち摩耗条件には前項と同様、接触圧力を500, 1000および1500kg/cm²の3種類とし、スベリ速度を0.05~1.00m/sの範囲に変化させて各圧力のもとにおける速度-摩耗特性曲線を求めた。

図7はその結果を示したもので、図中(a)はSKD11を固定試験片とした場合、また(b)はSKH9を固定試験片としたときの摩耗特性曲線である。これらを比較すると、いずれもきわめて類似した摩耗率の増減傾向を現わすことが認められる。すなわち上述の圧力範囲

(a), (b) p 1000'kg/cm², v 0.10m/s, l 1000m, 2次電子線像およびSKα線像
(c), (d) p 1000'kg/cm², v 0.50m/s, l 1000m, "
(e), (f) p 1000'kg/cm², v 1.00m/s, l 1000m, "

写真2 焼入レ、焼モドシ処理した固定試験片(SKH9)のスベリ面とイオウの観察

ではスベリ速度0.10m/s付近において固定ならびに回転試験片とも摩耗率は最大となり、より高速側でいったん減少したのちふたたび増加の傾向がみられる。また固定試験片として用いたSKD11とSKH9の最大摩耗率と比較すると、ややカタサにすぐれたSKH9のほうがSKD11よりもわずかに低い値を示している。しかしながらこれらの結果を前掲図4または図5の普通焼入レ、焼モディン処理したものとは比べた場合いずれも摩耗率が大きく、ことに上述と同様な摩耗条件においてこの傾向が顕著に認められた。

そこでこの摩耗機構を解明するため、前項で述べたと同様な方法によりスベリ面ならびに摩耗粉末の検討を行なった。写真3 a～fは一例として接触圧力を1000kg/cm²とし、スベリ速度0.10、0.50および1.00m/sのもとで距離1000m摩耗を行なったときのSKH9の固定試験片におけるスベリ面の状態ならびにS・Kαを線像を示したものである。これによるとスベリ面の摩耗状態ならびにイオウ化合物の付着状況は前掲写真2 a～fときわめて類似している。すなわちスベリ速度0.10m/sの摩耗率が最大となる条件ではイオウ化合物を含む摩耗粉末の付着が明りょうに観察され、速度0.50または1.00m/sの比較的高速条件下ではヒッカキ状摩耗コンが

多いにもかかわらずイオウ化合物の付着を認めることができた。

またそれぞれの摩耗実験で採取された摩耗粉末をX線回折した結果からは、いずれの場合も図6と同様FeS, Fe₃Nなどの浸硫層を構成する要素とα-Fe₂O₃, Fe₃O₄などの酸化物がα-Feと混在して同定された。

したがって機構的観点からは普通焼入レ、焼モディンを施した高合金鋼も、Under hardeningを行なったものも類似しているとみることができる。

6. 結 言

本研究は冷間成形加工などの金型材料としてはん用されている高炭素高クロム

試験片; Stator, SKH 9 (1200°C, OilQ, 560°C, 3回, Temper)
Rotor, S15C (900°C, anneal, 570°C~2h, 浸硫処理)

X線回折条件; Target, Co, Filter, Fe, Valtage, 30kVp, Current, 10mA

図6 採取した摩耗粉末のX線回折結果の一例

試験片; Stator (a) SKD11 (880°C, OilQ, 180°C, Temper)

(b) SKH9 (1050°C, OilQ, 250°C, Temper)

Rotor (a) (b) 共通 S15C (900°C, anneal, 570°C~2h, 浸硫処理)

図7 浸硫処理したS15Cと組み合わせた高合金鋼 (Under hardening) の速度-摩耗特性曲線

ダイス鋼 (SKD 11) ならびにモリブデン系高速度鋼 (SKH 9) とリン酸塩皮膜または浸硫処理した低炭素構造用鋼 (S 15 C, SCM 21) を組み合わせ、接触圧力 500 ~ 1500 kg/cm²、スベリ速度 0.05 ~ 1.00 m/s の高圧-低速条件下における乾燥-スベリ 摩耗特性について検討したものである。つぎにその結果を要約すると、

i) 焼入れ、焼モドシ処理を施した SKD 11 の固定試験片とリン酸塩皮膜処理した S 15 C の回転試験片を組み合わせた場合、摩耗条件のいかんにかかわらず初期摩耗の段階で容易にリン酸塩皮膜がハク離し、鋼同志の摩耗となるため激しい凝着が起り、これにともなう金属転移現象が固定試験片のスベリ面に観察された。

ii) 焼入れ、焼モドシを施した SKD 11 または SKH 9 と浸硫処理した低炭素鋼を組み合わせた場合、各試験片ともスベリ速度 0.10 m/s 前後の比較的低速領域において摩耗率は最大値を示し、漸次速度が増すにともなって減少するがより高速側ではふたたび増加の現象がみられる。また最大摩耗率は接触圧力が高くなるほど低速側へ移行する傾向がある。

iii) 耐衝撃性を向上させる 目的から SKD 11 および SKH 9 に Under hardening を施し、これと浸硫処理した S 15 C を組み合わせたときの摩耗特性は前項のそれとほぼ類似した結果が得られた。しかしややカタサが低い ため普通焼入れ、焼モドシのものに比べて摩耗率はわずかに大きくなることを認めた。

iv) 浸硫処理した鋼を組み合わせた 高合金鋼の速度-摩耗特性曲線には接触圧力のいかんにかかわらず、スベリ速度の増加にともなって摩耗率の増減傾向がみられるが、スベリ面あるいは摩耗粉末を観察した結果からは機構的に顕著な差異が認められなかった。すなわちいずれの場合も高負荷条件のもとで多孔質な浸硫層が摩耗粉末として脱落し、その一部が相手側スベリ面に付着して凝着を起しにくい⁷⁾ スベリ面同志の摩耗となるため摩耗率の減少がみられるようになる。

なお本研究は昭和 45 年度中小企業庁技術開発研究補助金を受けて行なったものであり、研究の遂行に当たっては終始実験に協力してくださった芝浦工業大学学生安藤直茂君に深く感謝の意を表します。

(1972-10-27 受理)

文 献

- 1) たとえば、裏川, R & D, **19**, No. 2 147 (1969)
- 2) A. Kannappan, Metal Forming, **37**, 6 (1970)
- 3) 竹内, 日本金属学会誌, **35**, 671 (1971)
- 4) 竹内, 鋳鉄の摩耗, P. 20 (1968, 誠文堂新光社版)
- 5) R. B. Waterhouse, Wear, **8**, 421 (1966)
- 6) F. P. Bowden and D. Tabor, The Friction and Lubrication of Solids (I) P. 237 (1950 Oxford Press)
- 7) 竹内, 3) と同じ

(a), (b) p 1000 kg/cm², v 0.10 m/s, t 1000m 2 次電子線像およびSKα線像
(c), (d) p 1000 kg/cm², v 0.50 m/s, t 1000m "
(e), (f) p 1000 kg/cm², v 1.00 m/s, t 1000m "

写真 3 Under hardening した固定試験片 (SKH 9) の
スベリ面とイオウの観察