

鉄鋼のアブレシブ摩耗に対する
Crめっき層の効果（第一報）
— 予備的実験 —

中 野 行 夫

Effects of Chromium Plated Layer on Abrasive
Wear of Various Steels (1st Report)
———— A Preliminary Experiment ————

Yukio NAKANO

Abrasive wear tests were made on S15CK, S45C and Fe-18Cr-2Mo Steel to clarify the effects on chromium plated layer (1 and 10 μ thick) on their wear characteristics.

These steels above mentioned of ring-shape were set as upper test specimens, lower ones being always of S45C. A constant compressing load of 25 kg was applied to the specimens and silica particles were discontinuously fed to the contact surface. Sliding velocity of the specimens were varied in the range of (—5.0~7.5m/sec) by changing their diameters.

The results obtained are summarized as follows: although the chromium plated layer is found to be effective on anti-abrasive wear characteristics of S45C and Fe-18Cr-2Mo steel to some extent, the layer is not sufficient to resist the abrasive wear, but spalling of the layer easily occurs with severe wearing conditions. Wear loss in weight is minimum at a sliding rate of zero %, but increases with its increase.

The experimental results show it is desirable to make the plated layer harder and more adhesive to substrates by proper diffusion treatment in an atmosphere containing nitrogen and hydrogen to improve anti-wear characteristics of these steels.

1. ま え が き

鉄鋼の摩耗特性におよぼす主要因子としては、^{1),2),3)}(1)機械的因子、(2)材料的因子と(3)環境的因子などが挙げられる。(1)については接触荷重、すべり速度、表面の粗さ、(2)については炭素量、組織と硬さ、(3)については雰囲気、湿度、潤滑の程度などが重要になる。また、摩耗形態によって、^{4),5),6)}すべり摩耗、ころがり摩耗などがあり、すべり摩耗の中でも、アブレシブ摩耗は、高硬度の金属や非金属粒子と金属との接触によって起こる金属表面の微視的破壊によるもので、他の形態の摩

耗に比べて、摩耗量が著しく大きい。しかしCr鋼のすべり摩耗に関する報告は比較的少ない⁷⁾。また最近では、高圧下圧延のような過酷な圧延条件に耐え得るロール用鉄鋼材料の開発が要請されており、この分野の研究の重要性が増大している⁸⁾。

本研究では、本来強靱な炭素鋼、あるいはCr鋼表面に硬質Crめっきを行い、さらに、これを H_2-N_2 雰囲気中で拡散処理を行うことによって形成される硬化表面層や合金層の組織と耐アブレシブ摩耗性との関係を検討することを計画したが、本研究はその計画の予備的段階として、まず単純な硬質Crめっき層のみの極めて初期の耐アブレシブ摩耗性を検討した結果について報告する。

2. 実験方法と試料

2-1 摩耗試験機

本研究では、写真-1に見るとおり、東京衡機(株)製のアムスラー型摩耗試験機を使用した⁹⁾が、これによれば上下2個の試験片に対して相対的なころがり接触とすべり接触が可能である。また任意の接触荷重で接触させながら試験片を摩耗させることができる。

この試験機は電源200V、60Hzの場合には、下部試験片は208 r.p.mで回転するが、上部試験片は、これよりも10%回転が遅くて189 r.p.mになるので、同じ直径の試験片の場合には、常に約10%のすべりを含んだころがり摩耗を行うことになる。したがって上部、下部試験片相互の直径を種々変化させることによって、すべりを含んだころがりの接触条件を得ることができる。また相互の試験片は軸方向に多少の揺動運動をしている。

2-2 試料

本研究に用いた試料は、つぎに示すA、BおよびC系統の3種類である。

A系統；素地S15CKに厚さ約 1μ と約 10μ のCrめっきを施したものを、それぞれA-1、A-2系統として区別する。

B系統；素地S45CKに厚さ約 1μ と約 10μ のCrめっきを施したものを、それぞれB-1、B-2系統として区別する。

C系統；素地Fe-18Cr-2Moに厚さ約 1μ と約 10μ のCrめっきを施したものを、それぞれC-1、C-2系統として区別する。

なおCrめっき厚さは、めっき量から換算して求めた。

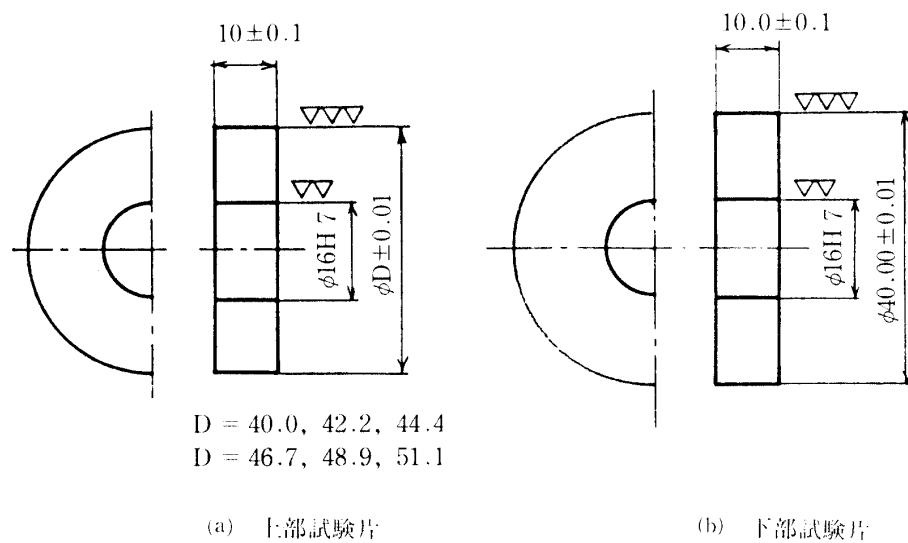
下部試験片は常にS45CKで上下試験片ともに、あらかじめ表面を6S程度まで研削加工し、上部試験片だけはCrめっきを行った。なお各試験片ともに同種のものを2個作って試験に供した。

試料の化学成分を表-1、上下試験片の寸法と形状を図-1に示した。

表－1 試験片の化学成分（％）^{注1)}

試料 \ 成分	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
S 15 C K	0.130 ~ 0.180	0.150 ~ 0.350	0.300 ~ 0.600	≤0.025	≤0.025	—	—
S 45 C	0.420 ~ 0.480	0.150 ~ 0.350	0.600 ~ 0.900	≤0.030	≤0.035	—	—
Fe-18Cr-2Mo	≤0.120	≤1.000	≤1.000	≤0.040	≤0.030	16.000~ 18.000	1.750 ~ 2.500

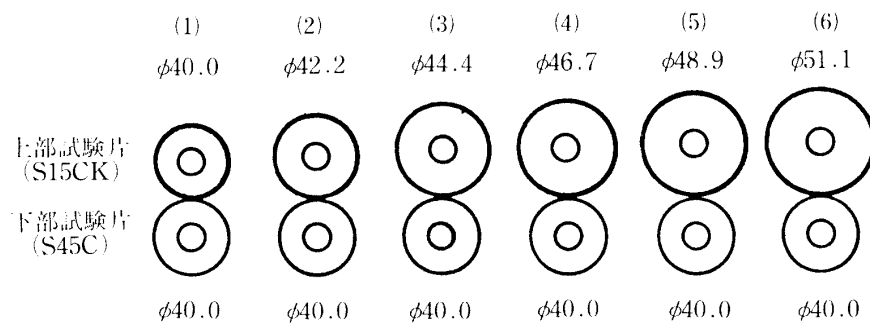
注1) 化学成分の正確な分析値がないので、JIS規格を掲げた



図－1 試験片の形状と寸法（単位mm）

2－3 実験方法

摩耗試験における試験片の組み合わせをA系統について図－2に示した。すなわち下部試験片は常にS45C、直径40mmであるが、上部試験片については、A系統では素地S15CKに硬質Crめっき(厚さ約1 μ と約10 μ)を施して、直径を40.0mmから51.1mmまで6段階に変化させた。さらに、



図－2 A系統の試験片の組み合わせ（単位mm）

さきに述べたとおりCrめっき厚さによってA-1系統（厚さ約 1μ ）とA-2系統（厚さ約 10μ ）に区別する。B系統（B-1, B-2）とC系統（C-1, C-2）については、それぞれ上部試験片がS45Cに硬質めっきしたもの、Fe-18Cr-2Moに硬質めっきしたものという点がA系統と異なるだけで、その他の諸条件はA系統と全く同様である。なおCrめっき条件を表-2に示した。

表-2 Crめっき条件

めっき液組成 (g/l)	浴 温 (°C)	電流密度 (A/dm ²)	電流効率 (%)	有 孔 度
CrO ₃ :250, H ₂ SO ₄ :2.5	20~30	6.3	約30	少

さきに述べたとおり，上下試験片の回転数をそれぞれ189 r.p.m, 208 r.p.mとしてあるので，上部試験片の直径が大きくなるにつれて，その周速が増大する。したがって直径40.0 mmの場合は，すべり率は-10%，42.2 mmの場合には5%，44.4 mmでは0%（すなわち，ころがり摩耗だけになる），46.7 mmでは+5%，48.9 mmでは+10%，51.1 mmでは+15%のすべりを伴うことになる。ここで+，-の符号については，上部試験片が下部試験片に対して，相対的に回転方向にすべっている場合を+，その逆の場合を-とする。

写真-1の①の位置に上下試験片を置き，接触荷重を常に25 kgf一定になるように設定した。②はアブレイブ摩耗を起こしやすいようにフラタリーシリカサンド粒子を落下させるためのホッパーである。ホッパーに貯えられたフラタリーシリカサンド粒子（主成分SiO₂，原産オーストラリア，規格AFS指数60，平均粒度65.1 mesh）を約2.5 mm×5.0 mmのノズルを通して①の両試験片の接触部分へ自然落下するようにした。粒子は試験開始時と1時間後に5 g/30secの落下速度で5 gだけ落下させて，30分ごとに直示天秤を用いて，試験片の重量変化を 10^{-4} gまで正確に秤量した。

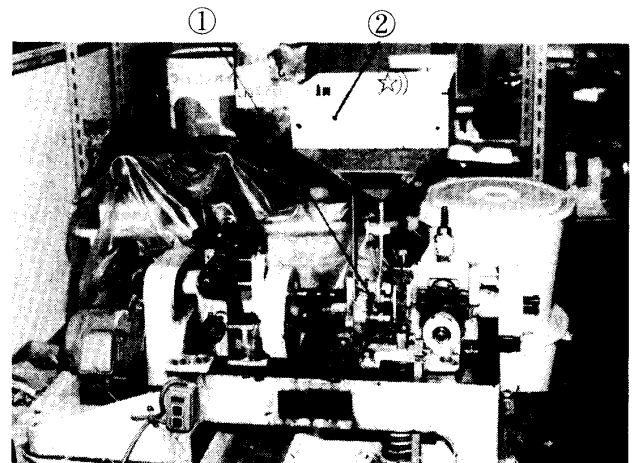


写真-1 摩耗試験機

- ① 上部および下部試験片
- ② ホッパー

3. 実験結果とその考察

3-1 摩耗量とすべり距離との関係

上部，下部試験片の摩耗量とすべり距離との関係の数例を，A，B，C系統について，それぞれ図-3，4，5に示した。^{注2)}これによれば，A系統，すなわち下部試験片S45C，上部試験片S15CKに硬質Crめっきを 1μ と 10μ を施した場合には，上部試験片の平均摩耗量が常に下部試験片より

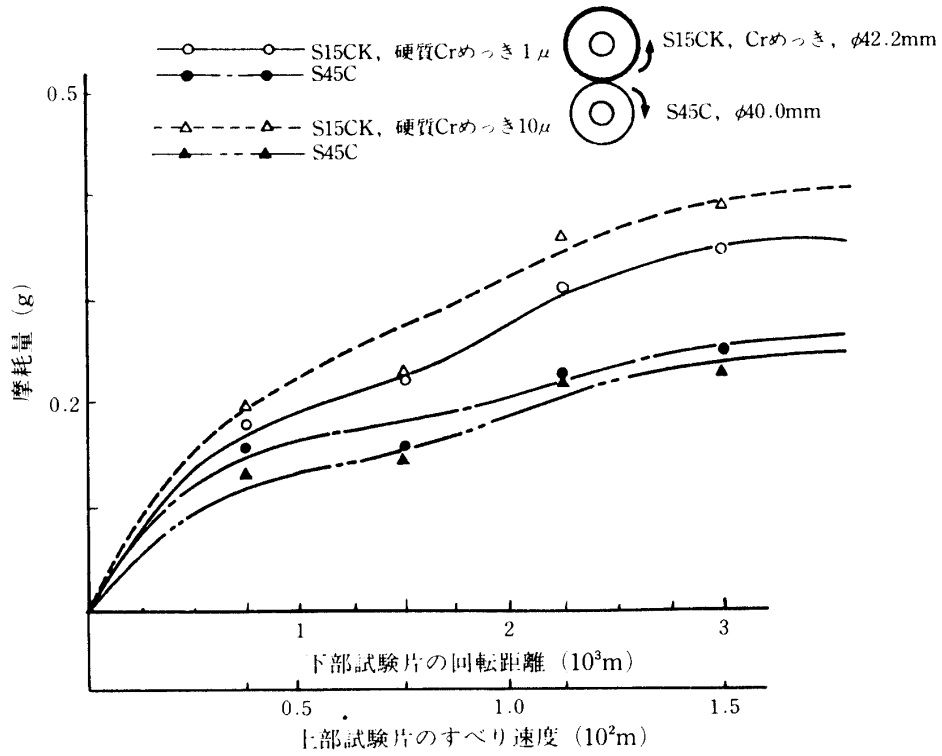


図-3 A-1, A-2 系統の摩耗量とすべり距離との関係

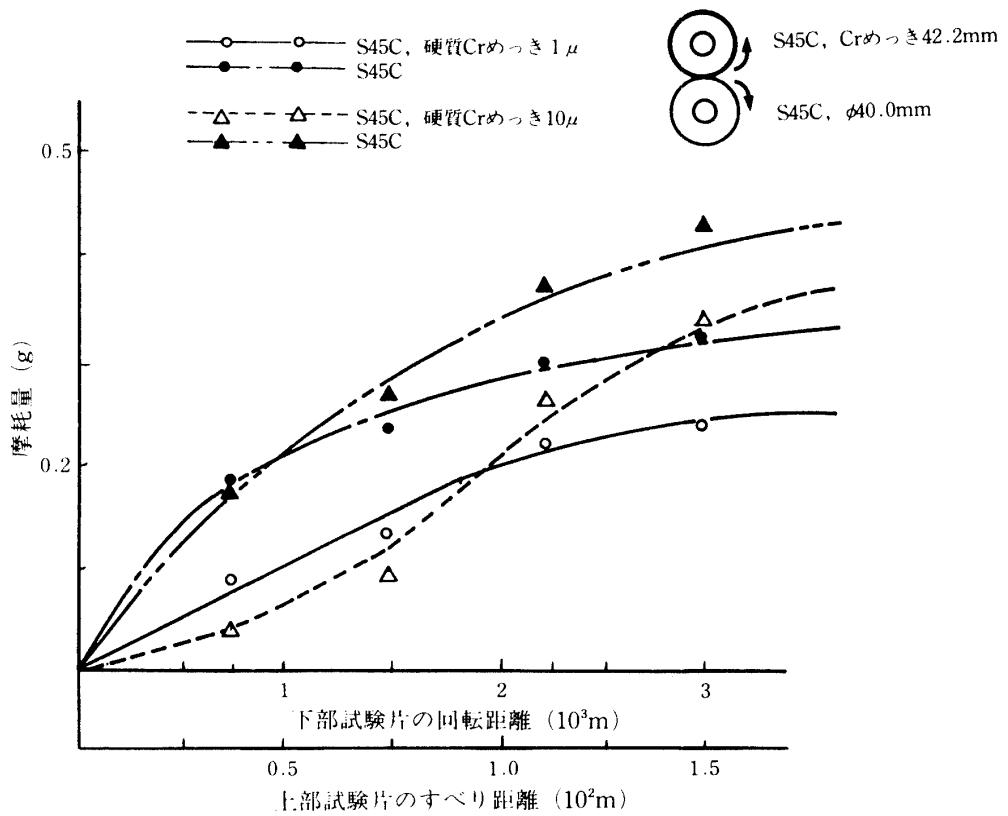


図-4 B-1, B-2 系統の摩耗量とすべり距離の関係

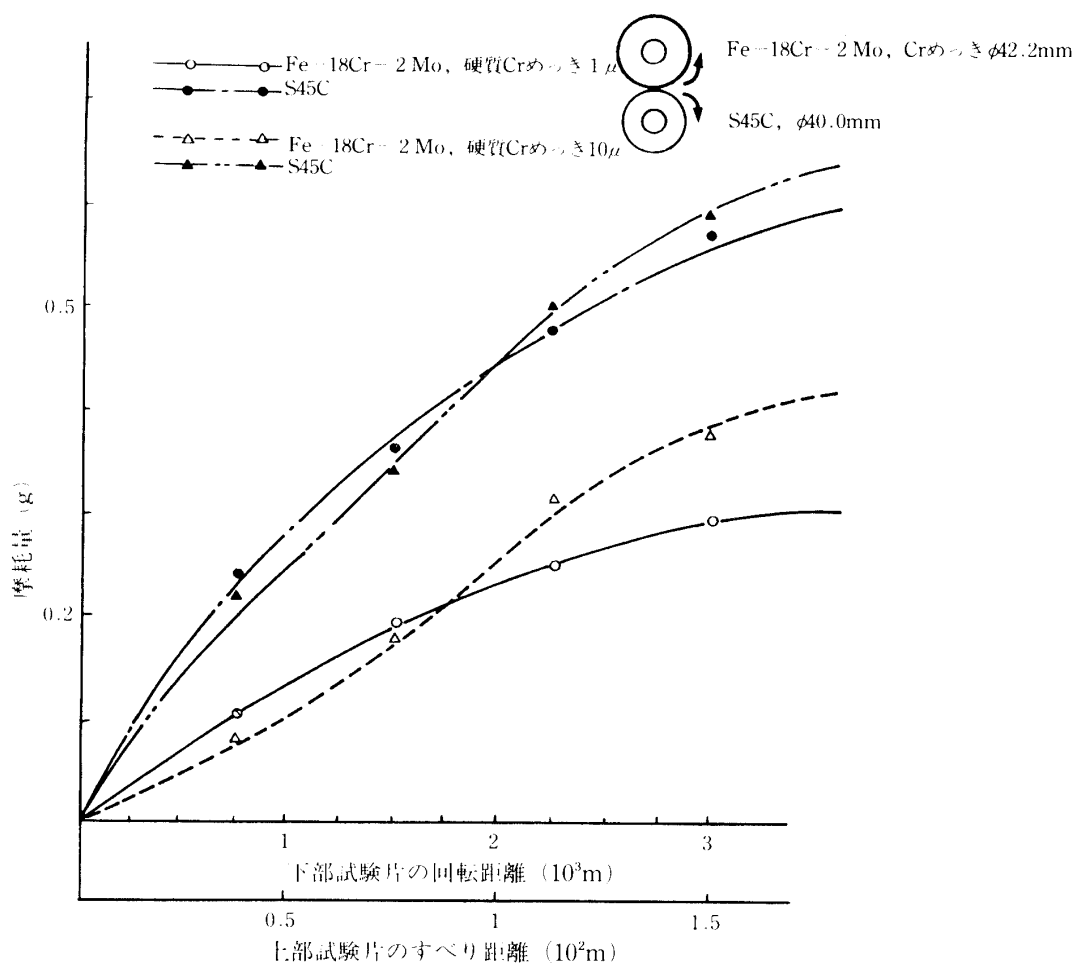


図-5 C-1, C-2 系統の摩耗量とすべり距離との関係

注2) 図中の“上部試験片すべり距離”は下部試験片との間の相対的なすべり速度を表わす。

大きい。これは、主として試験片素地の硬さの影響が大きいことを示しており、厚さ $1\mu \sim 10\mu$ 程度の硬質クロムめっき層の効果は小さい。ところが、B系統、すなわち下部試験片S45C、上部試験片S45Cに硬質クロムめっきを 1μ と 10μ を施した場合には、

- (1) 平均摩耗量は、A系統よりやや大きい。これは上部、下部試験片の材質がS45Cで同質であることと関係があると思われる。
- (2) しかし、上部、下部試験片では、常に上部側の摩耗量が小さい。つまり硬質クロムめっき層の効果認められるが、厚さ 1μ と 10μ ではあまり相違しないことから、この程度のめっき厚さでは、顕著な効果は期待できないようである。

さらにC系統、すなわち下部試験片S45C、上部試験片Fe-18Cr-2Moに硬質クロムめっきを 1μ と 10μ 施した場合には、

- (1) 特に下部試験片の平均摩耗量がB系統よりやや大きい。
- (2) 上、下試験片では、常に上部側の摩耗量が小さい。この結果は素地の18Cr鋼の耐摩耗性を示すものであって、硬質クロムめっき層の効果は、この程度の厚さではやはり疑問である。な

ぜならば、めっき厚さ 1μ と 10μ の場合の上部試験片の平均摩耗量は、必ずしも 10μ の場合が小さくなっていないからである。

3-2 摩耗量とすべり率の関係

A, B, C系統の上部試験片の平均摩耗量と、すべり率との関係を、図-6, 7に示した。図-6はクロムめっき 1μ 、図-7は 10μ の場合である。この結果で極めて顕著なことは、(1)すべり率が0のとき、すなわちころがり摩耗だけでは平均摩耗量が極めて小さい。(2)すべり率が(+), (-)いずれの場合にも、すべり率の絶対値に対応して平均摩耗量が増大する傾向がある。(3)A, B, C

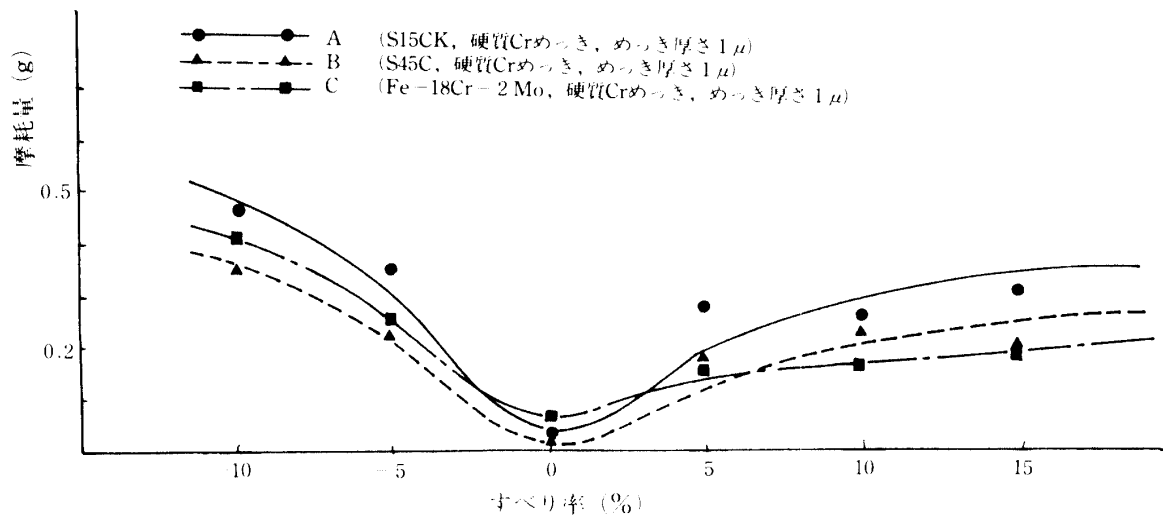


図-6 摩耗量とすべり率の関係

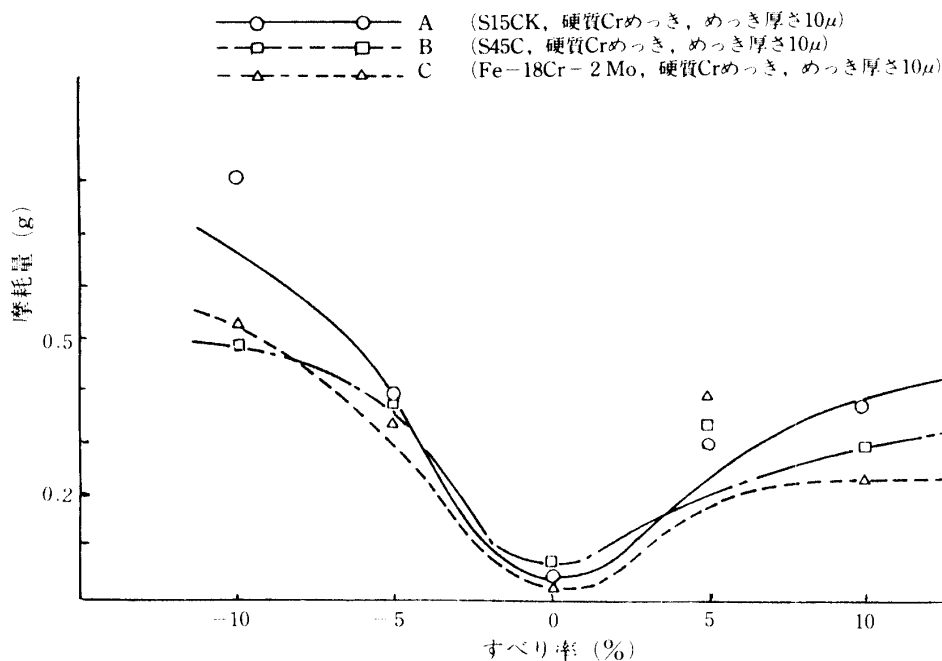


図-7 摩耗量とすべり率の関係

系統，すなわち材質素地の相違による影響としては，軟質のA系統（S15CK）の平均摩耗量がB，C系統より大きい，B，C両系統については顕著な相違は認められない。

3-3 摩耗表面の電子線像と元素分析結果

C系統の上部試験片，すなわちFe-18Cr-2MoにCrめっき1 μ を施した ϕ 40.0mmの試験片の摩耗試験後の表面の反射電子線像と元素の分布状態を写真-2，3に示した。また，この相手試験片であるS45Cの摩耗試験後の表面の反射電子線像を写真-4に示した。上，下試験片の表面を示す写真-2と4(a)を比較すると，上部試験片の表面には，下部試験片の表面に見られる著しく大きな凹凸や亀裂状の欠陥があまり認められない。これは図-5に示されるように上部試験片の耐摩耗性が良好であることと一致している。写真-3(a)，(b)はそれぞれFe，Crの分布状態を示すものであるが，Cr検出量が比較的少なくて，Feが多量に検出されていることから，本実験のような苛酷な摩耗条件では，1 μ のCrめっき層は開始後，極めて短時間にほとんど脱落することが判る。これが本実験において，Crめっきの効果が大きくない理由であろう。写真-3(c)，(d)はそれぞれ上部試験片表面のC，Siの分布状態を示しているが，いずれもその量が少ないことから，特にフラタリーシリカサンド粉末は上部試験片表面には，ほとんど付着していないように思われる。

なお写真-4(b)は下部試験片（S45C）の試験後のCrの分布状態を示すもので，CrはS45C素地中には含まれない元素であるから，上部試験片のCrめっき層が摩耗によって剥離して，酸化物となって付着したものと思われる。これはCrの分布状態が若干広がりをもっていることから推察される。

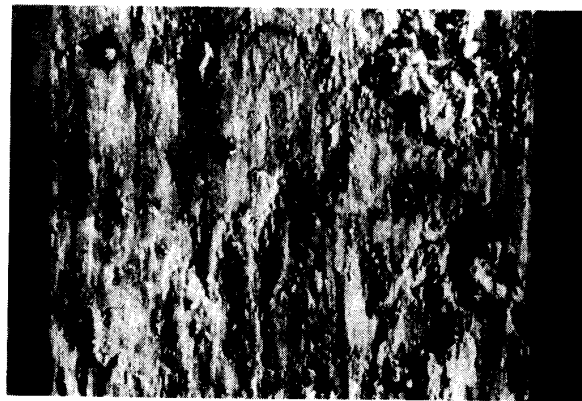
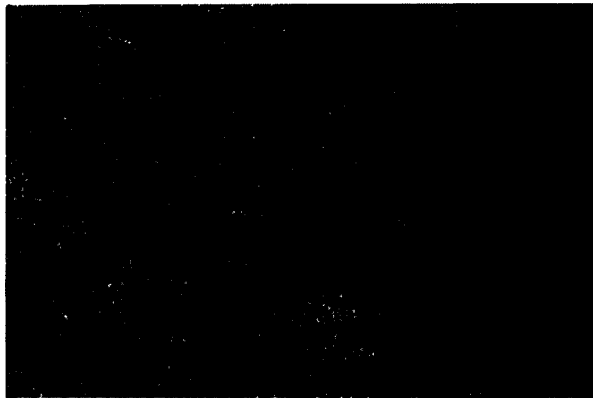
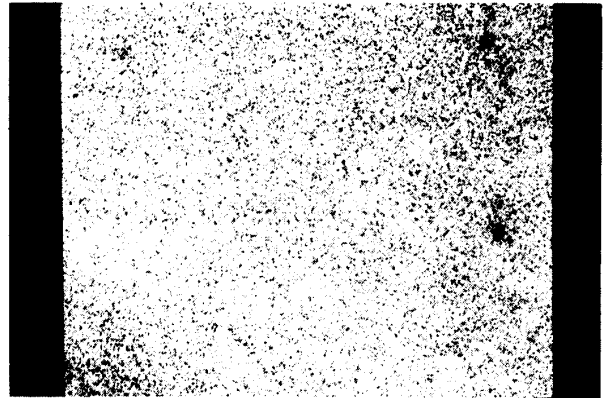


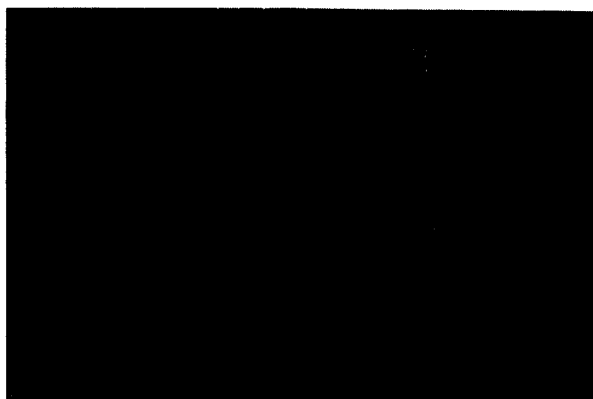
写真-2 C系統の上部試験片（Fe-18Cr-2Mo，
Crめっき1 μ ， ϕ 40.0mm）の摩耗試験後の
表面の反射電子線像（ $\times 500$ ）



(a) Feの分布状態



(b) Crの分布状態

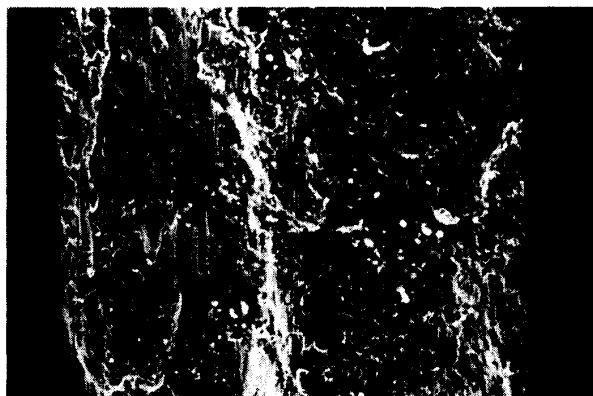


(c) Cの分布状態

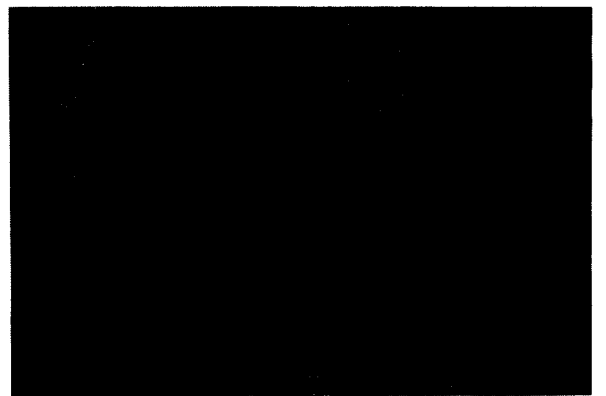


(d) Siの分布状態

写真-3 各化学成分の分布状態



(a)



(b) Crの分布状態

写真-4 C系統の下部試験片（S45C， $\phi 40.0\text{mm}$ ）の摩耗試験後の
反射電子線像(a)（ $\times 500$ ）とCrの分布状態

4. 結 言

比較的軟質のFe-0.15C炭素鋼をはじめ、Fe-0.45C炭素鋼、比較的硬質のFe-18Cr-2Moステンレス鋼表面に硬質クロムめっきを施した場合の耐アブレシブ摩耗性を検討したが、予想外に短時間の摩耗試験の段階で、Crめっき層が剥離して、摩耗しやすいことがわかった。このため長時間の摩耗試験をやめて極めて短時間の、むしろ初期摩耗状態を検討するに止めた。その結果、つぎのことが明らかになった。

- (1) 軟質のS15CKの耐アブレシブ摩耗性に対するCrめっき層の効果は小さい。これに対して硬質のS45Cに対するCrめっき層の効果は若干認められるが、平均摩耗量としてはS15CKの場合よりもやや大きい傾向にある。これは相手側金属が同質のS45Cであるためと思われる。Fe-18Cr-2Moステンレス鋼の場合には、Crめっき層の効果は若干認められるが、めっき層が1~10 μ 程度では、その効果に顕著な相違はない。このように1~10 μ 程度のCrめっき層のアブレシブ摩耗に対する効果はあまり大きいものとは思われないが、これは素地表面上への単なるめっき層の形成だけでは、十分な硬さと定着性がなくて苛酷な摩耗条件には耐えられず、容易に剥離するためと思われる。
- (2) 平均摩耗量とすべり率の関係では、A、B、C系統ともに、すべり率0%のとき摩耗量が最小で、すべり率が(+)、(-)いずれの側においても、すべり率の絶対値が増加するにしたがって摩耗量が増加する傾向がある。
- (3) 摩耗表面の反射電子線像や元素分析結果からも、Crめっき層は予想外に剥離しやすく、耐摩耗性を向上させるためには、単に1~10 μ 程度のめっき層を作るだけでは、不十分であることが推察される。

以上の実験結果から判断して、硬質Crめっきの耐アブレシブ摩耗性を向上させるためには、最初の方針どおり、H₂-N₂雰囲気中での拡散処理を施すことによって、めっき層の硬化と、素地とめっき層の境界に合金層を形成させることによって密着性を増して、めっき層の剥離を防止することが望ましいと思われる。

終わりに本研究を行うに当たって、いろいろご指導を頂いた本学大谷南海男教授、電子線像の撮影にご協力下さった本学、北山誠二講師および実験を援助願った機械工学科学生、山本博明、柳澤年彦、福原大海君に対して深く感謝する。

なお、試料と種々の便宜を提供された日新製鋼株式会社周南研究所、研究室長吉井紹泰氏と大橋秀次氏、日本冶金工業株式会社中央技術研究所次長根本力男氏および大同特殊鋼株式会社中央研究所次長藤倉正國博士に対しても厚くお礼申し上げる。

参 考 文 献

- 1) 佐藤健児：表面工学概論（1965）p.10，養賢堂
- 2) 遠藤吉郎：表面工学（1980）p.64，養賢堂
- 3) 小川喜代一：金属の潤滑摩耗とその対策（1977）養賢堂
- 4) 日本学術振興会，鑄物第24委員会鑄鉄分科会：鑄鉄の摩耗と材料特性（昭59）p.84
- 5) 沢本章ほか：九大工学部集報 56 No. 5（1983）p.679
- 6) 川本信，山田俊宏，岡林邦夫：日本金属学会誌，37（1973）p.633
- 7) 砂田久吉，泉久司，田村今男：鉄と鋼，70（1984）p.580
- 8) 鉄鋼基礎共同研究会：鉄鋼材料の摩耗部会シンポジウム（昭和59年6月4日）