糸による各種材料の摩耗について*

(第7報) ガラス磁器類における物質移動

(昭和36年4月4日受理) 会 員 藤 野 清 久**

中 島 糸 男

→ 摘 要 ←

目 的

第3～6報において銅製円筒の綿糸による摩耗の機構を論じた。銅を用いたのは実験に便利なためで、主として糸による金属の摩耗の議論をするためであった。ところがこれらの実験の結果、摩擦熱による綿ワックスの軟化溶解が摩耗現象に大きな影響を与えることがわかった。

実際の繊維機械においては、熱伝導の良い金属の他に、熱伝導の悪いガラス、磁器などの非金属材料が摩擦部分に用いられて、すぐれた対摩耗性を示している。これら非金属材料の熱伝導の悪いことは、摩擦熱による綿ワックスの軟化溶解に大きな影響を与えるはずである。したがってこれらの材質においてどんな挙動が示されるかをしらべることが必要となる。

成 果

実験条件の下では、銅製円筒におけるようなきれいな摩耗量曲線は得られず、重量は増加したり減少したり複雑な挙動を示した。糸と円筒との接触部には、入口側では銅製円筒におけると同様な機械的なこすりきずがあらわれたが、出口側には綿ワックスの凝着移動の現象があらわれた。この現象はガラス、磁器類の熱の不良導性に起因する摩擦熱の効果を考慮することにより、一貫した立場から説明することができる。

またこの考え方をより確実にするため、工業的に精練した綿糸を用いた実験をも行なった。その結果によると、重量はやはり若干増加したが、ワックスの巨視的な凝着を示さなかった。しかしその矛盾の理由を精練によるワックスの除去の不完全なことに求めることにより、この矛盾を解き、一般的な考え方をつらぬくことができる。ただしこれらの議論は定性的なもので、定量的な問題にまではふれることができなかった。

1. ま え が き

^{1,2,3,4)}

第3報ないし第6報において、銅製円筒の綿糸による摩耗現象について論じ、その摩耗率におよぼす各種因子の影響をしらべた。実際問題として繊維機械の糸ないしは布でこすられる部分に銅をそのまま用いることはほとんどない。それにもかかわらず銅を用いたのは、糸による金属の摩耗の機構を明らかにするという目的に対しては、実験結果の比較的急速に得られる材質を用いることがのぞましいという理由によるだけで、特に深い意味はない。しかし糸または布でこすられる部分には、金属のほかにガラス磁器類のような金属酸化物が多く用いられ、非常に高い対摩耗性を示している。それゆえこれら

の非金属材料において、どのような現象があらわれるかを知ることは、重大な意義を有する。しかしこれらの材料は摩耗しにくいので、その対摩耗性を直接実験的に取り扱うには、多大の時間と労力とを必要とする。それゆえ本報では摩耗機構の第1段階と考えられている物質移動の現象を取り上げて論ずることとする。

2. 実験方法と実験結果

⁵⁾

第1報に説明した実験装置を用い、第1表の諸条件のもとで、ガラス、磁器（うわぐすりをかけたものと素焼のままのもの）の計3種類の試験片 29.75×2 tex (20/2)の綿糸でこすって実験した。糸の速度を 565～570 m/min, 出口側張力を 350～360 g に定めた。試験片の

* Wear of Various Textile Guide Materials. Part 7: Transfer of Cotton Wax onto Glass and Porcelain Guides. (第1報10巻10号, 第2報12巻8号, 第3報14巻2号, 第4報14巻4号, 第5, 6報14巻7号所載)

** K. Fujino, Member. 京都大学, K. Nakajima, Member. 大阪府立大学

(第1表) 実験条件(その1)

試験片	番 号	#1	#2	#3
	材 質	ガラス	磁器(うわぐすり付き)	磁器(素焼)
	外 径 (mm)	30.5	31.0	30.8
	内 径 (mm)	28.0	24.0	24.0
糸	幅 (mm)	10	10	10
	材 質	綿	"	"
	番 手 (tex)	29.75×2	"	"
	双糸より数 (t/m)	677	"	"
実験条件	単糸より数 (t/m)	688	"	"
	温 度 (°C)	13.1	13.7	13.4
	湿 度 (%)	81	81	81
	糸の速度 (m/min)	565	566	568
その他 (平均値)	糸の伸び (%)	1.90	1.91	1.91
	入口側張力 (g)	234	227	252
	出口側張力 (g)	352	352	370
	みかけの摩擦係数	0.265	0.29	0.215

形状は金属の場合とことなり、円筒形のものを用了。そのおよその寸法は、ガラスで外径 30 mm、内径 28 mm、磁器で外径 31 mm、内径 24 mm いずれも幅は 10 mm である。実験方法の詳細もこれまでと同じである。

3種の材質(試験片 #1~#3)の摩耗量曲線を第1図に示した。これらの摩耗量曲線から明らかなように、試験片は摩耗せず、かえって重量増加を示している。一方これに対応して試験片の円筒面には黒いすじが附着していた。これらのすじの様子を顕微鏡撮影した結果を第2~4図に示す。糸道の発生がハッキリとはみとめられないので、断面の光切断法による顕微鏡撮影は省略した。なお第1表には結果の一部をも併せ示した。

以上の実験結果にかんがみ、今度は糸の張力をやや小さくして、精練した綿糸と精練してない綿糸とを用いて比較実験を行なった。ただし最初の実験と2回目の実験とは時期的にずれていて温湿度条件は同じではなく、使用した糸のロットもちがっている。それゆえこれら2系列の実験結果は、厳密に言えば、定性的には比較できても定量的には比較できないかもしれない。今回の実験では素焼磁器は除外し、糸の速度を 545~550 m/min、出口側張力をおよそ 240 g に定めた。このときの実験条件を第2表に示す。なお糸の精練は第6報におけると同様実験室的には行なわず、操業中の精練工場に依頼して行なった。すなわち 2t オープン キャを用い、苛性ソーダ 6 g/l、ゾルゲ KEX (明成化学) 0.92 g/l の液中で、かせにした糸を 3 hr 煮沸した。ソックスレ法でアルコ

(第2表) 実験条件(その2)

試験片	番 号	#4	#5	#6	#7
	材 質	ガラス	ガラス	磁器(うわぐすり付き)	磁器(うわぐすり付き)
	外 径 (mm)	30.5	30.5	30.9	30.5
	内 径 (mm)	28.0	28.0	24.0	24.0
糸	幅 (mm)	10	10	10	10
	材 質	綿	綿(精練)	綿	綿(精練)
	番 手 (tex)	29.75×2	"	"	"
	双糸より数 (t/m)	677	"	"	"
実験条件	単糸より数 (t/m)	688	"	"	"
	温 度 (°C)	20.2	17.6	19.4	18.8
	湿 度 (%)	78	79	79	78
	糸の速度 (m/min)	547	547	546	546
その他 (平均値)	糸の伸び (%)	1.72	1.88	1.68	1.81
	入口側張力 (g)	143	152	142	149
	出口側張力 (g)	241	241	242	241
	みかけの摩擦係数	0.33	0.295	0.34	0.305

ールベンゾール混合液による 6 hr 抽出の結果、もとの綿糸の油脂分は 0.80~0.85%，精練綿糸の油脂分はおよそ 0.65% であった。

今回の実験に用いた試験片 #4~#7 の摩耗量曲線を第5図に、試験片表面の顕微鏡写真を第6~9図に示した。なお第2表には結果の一部をも併せ記入した。

3. 考 察

まずガラス、うわぐすり付き磁器、素焼磁器の3種の試験片 #1~#3 の実験結果をみると、第1図の摩耗量

(第1図) ガラス磁器の摩耗量曲線

曲線はすべて摩耗量の負の側にあらわれている。摩耗量を重量の減少量で定義したから、摩耗量が負ということは重量の増加を意味している。いいかえれば糸でこすることにより、試験片の重量は増加し、その様子は不規則ではあるが、飽和曲線に似ている。またその絶対値はこれまでの銅の試験片の摩耗量に比べて1桁小さい。このような結果が得られたので、摩耗率のような定量的な考え方を導入することは困難である。

そこでこれらの試験片の表面がどんな状態になっているかをしらべてみた。実験中に肉眼で試験片の表面をみると、主として出口側に黒いすじが1本ないし数本付着しているのがみとめられ、ベンゾールを含ませたガーゼでかなり強く拭いても、いくらか色が薄くなる程度で、除去することはできなかった。その他に黒い細かな粉がついたが、これは吹けば飛ぶし、軽く拭いても除去できた。摩耗量のてんびんによる測定はこのような状態（ベンゾールを含んだガーゼで強く拭いた状態）のもとで、定められた他の新しい試験片との重量差の測定として行ない、水分その他の試験片表面への吸着の影響を極力避けるように努めた。なお素焼磁器では、この黒色のすじは他の2者に比べて色がずっと薄かった。すじが何本かつくということは、試験片の形状が円筒形で、金属の試験片におけるようにみぞが切っていないため、糸との接触状態が安定せず、特定の数カ所あるいは特定の範囲内で接触が起ったためと思われる。

以上は肉眼による観察であるが、これを顕微鏡でしらべてみると、上記の事情が詳しくわかる。第2～4図はそれぞれガラス、うわぐすり付き磁器、素焼磁器の実験

終了後（摩擦距離約2000 km）の表面の顕微鏡写真（倍率×20）で、いずれも左側の上から順次、糸、接触位置0°（入口側）、15°、30°の表面、右側の上から順次接触位置45°、60°、75°、90°（出口側）の表面を示している。糸の進行方向は上から下へ方向である。以下顕微鏡写真はすべてこのような配列で示すことにする。第2図のガラスの写真を見ると、入口側から中央近くまでは金属試験片におけると同様なこすりきずがついており、それが糸の直径の3～4倍の幅にわたっている。これは前に述べたように、糸と円筒との接触位置が安定しなかったためである。一方中央から出口側にわたっては、入口側におけるようなこすりきずは、黒い付着物でおおわれて、全くみえないかたとみえてもごく一部分にみえるだけである。第3図のうわぐすり付き磁器では、ガラス

(第3図) うわぐすり付き磁器の摩擦面の顕微鏡写真(倍率×20) 摩擦距離約2000 km 高張力

(第2図) ガラスの摩擦面の顕微鏡写真(倍率×20) 摩擦距離約2000 km, 高張力

の場合とちがって糸と円筒との接触は比較的安定しており、2本のすじがみとめられるだけである。その左側のすじは、ガラスのときほど出口側とのちがいがハッキリしてはいないが、とにかく金属におけると同様なこすりきずと、黒い層でおおわれた部分とがあり、黒い層はどちらかといえば出口側でやや著しい。これに反して右側のすじはほとんど全部がこすりきずである。これら2者は本質的にはほぼ同様な外観を示していると考えられるが、これらと著しい対比を示しているのは素焼磁器の第4図である。黒い層もこすりきずも全くみとめられず不規則不連続な白い模様が1すじだけ全接触位置にわたってほぼ同じ程度にあらわれている。なおガラスとうわぐすり付き磁器とにおける黒い層は摩擦距離の増すにし

たがって消長する。糸を新しいチーズのものと取りかえると、その直後には黒い層の激しい凝着があらわれ、同じ糸を繰り返し使用すると次第に消えようとする傾向を示す。素焼磁器においては白い模様入りの不連続のすじはほとんど消長せず、やや発達するだけである。

(第4図) 素焼磁器の摩擦面の顕微鏡写真(倍率×20) 摩擦距離 約 2 000 km

以上のような挙動を説明するためには、第3報以下に論じた摩擦熱による綿繊維表面のワックスの作用に注目せねばならない。ガラス、磁器のような熱の不良導体では、摩擦熱により接触面の表面温度が著しく上昇することが考えられる。しかも熱伝導のよくないことのため、接触圧力の高い出口側の方がより高い温度に達する。室温の空气中を走って来た糸はまずかなりの高温に達している入口側と接触し、次第に温度のより高い出口側へ進むにしたがって、自分自身の摩擦熱と高温円筒面との接触とにより、その表面温度もまた次第に上昇する。この糸の表面温度がワックスの軟化点に達し、溶融点に達すると、ワックスの軟化、溶融が起る。その結果真実接触面積におけるせん断は主としてワックス側において室温におけるよりも激しく起り、ワックスの相手円筒への物質移動を生ずる。それゆえ糸自身がまだ高温に達していない入口側の付近ではワックスの移動はあまり生ぜず円筒表面にはこすりきずがあらわれるが、出口側に近づくほど、物質移動が激しくなる。しかも相手円筒の融点にはワックスや綿繊維の融点よりもっと高いから、円筒表面はそれ以上の高温に達し、そのため第2、3図にみられる黒く焦げたようなワックス移動層が形成される。すなわちワックスの移動および酸化が起り、出口側では

糸とこの移動酸化層とがまず接触し、糸との凝着はこの層との間に起り、次第に糸のワックスは摩耗して行くが円筒の材質自身の摩耗は防止される。このワックスの移動、酸化、脱落の過程は Kerridge, Kerridge, Lancaster⁶⁾ の原子炉内で中性子を照射して放射性を与えた試験片を用いた金属の摩耗の実験から確められた摩耗の機構の多段階説の考え方と同じである。一方入口側では糸自身の温度はまだ上っておらず、熱伝導のよい金属円筒の場合と同様な現象が起る。このようにして入口側では糸と金属との組み合わせにおける場合と同様なこすりきずを出口側では上記のワックスの移動を生じ、全体として試験片の重量は増加し、不規則な変化を示す。なおこれらの実験では摩擦距離 600 km ごとに糸を新しいチーズと取り換えた。この効果がたとえばうぐすり付き磁器ではかなり著しくあらわれており、糸の取り換え直後に特に重量の増す傾向となってあらわれ、新しい糸からのワックスの移動が起りやすいことと対応する結果を示している。入口側の摩耗量は微少で、断面を光切断法でしらべてみても、糸道の発生はみとめられない。出口側では不規則な盛り上がりがわずかながらみとめられる。

素焼磁器では第4図の示すように、様子がややちがっている。ガラスとうぐすり付き磁器の表面はいずれもガラス質のもので、構造的には大差ないが、素焼磁器では多孔質の磁器本体が表面にあらわれており、前2者とは構造がちがっている。ともかく黒い移動層があらわれず、白い移動層があらわれていることは、円筒表面が凝着により移動したワックスの酸化、焼け付きを起すほど高い温度にはならなかったことを意味している。その理由は上記の多孔質構造にあると思われるが、入口側にまではば一様に付着しているのは、これだけの理由によるものかどうかあまり明確な説明はできない。また実験のはじめから終りまで、白い模様の不連続なすじの付き方にあまり消長がなかったのは、第1図の摩耗量曲線において重量が初期に急に増加し以後ほぼ一定していることからして、初期にワックスの移動が大規模に起り、以後移動と脱落との釣り合った安定な状態が続いたためと思われる。

さてこれらの現象を定性的にもう少し詳しくしらべるために試験片 #4～#7 の実験結果を検討してみよう。まず精練していない線糸とガラスとの組み合わせについて第1図と第5図とを比較すると、張力の低い#4の試験片の摩耗量は正で摩耗を示しているが、張力の高い#1の方は逆に重量の増加を示している。また磁器（これ以下には素焼の磁器を用いることはないので、うぐすり

(第5図) ガラス、磁器の未精練および精練綿糸による摩耗量曲線

付きの磁器を単に磁器と呼ぶ)について同様な比較を行なうと、いずれも摩耗量は負で、張力の低い試験片#6の方が重量増加がやや少ない程度である。これらの試験片の表面の顕微鏡写真第6, 7図を見ると、ガラスの摩擦距離約400 kmの第6図においては、張力の高いときの摩擦距離約2000 kmにおける第2, 3図とよく似た状態を示し、出口側においてワックスの凝着による移動がみとめられる。ただし低張力の場合の移動の程度は高張力の場合ほど著しくはなく、このことは低張力のために摩擦熱による温度上昇の低いことを物語っている。ガラスの摩擦距離約1500 kmにおける第7図においては、ワックスの凝着はほとんどみとめられない。これはいったん付着したワックスが、その後新しい綿糸によってこすり取られ、一方糸は同一チーズの糸を繰り返し使用したため、その表面のワックスが次第に減少して、チーズ取り換えの直前とか実験の終り方にはワックスの凝着をほとんど生じなかったものと考えられる。なお磁器についても全く同様な結果が得られた。

以上の議論のように、綿繊維の表面に含まれているワックスが摩擦摩

耗現象に対して重要な役割を果しているから、精練してワックス分を除去した糸ではどんな結果があらわれるかをしらべてみることは大きな意義を有する。それゆえ第5図の摩耗量曲線において、試験片#4と#5、#6と#7とを比較してみると、あまりハッキリした対比は得られていない。ガラスにおいては精練した糸の場合(#5)後半に至って重量の減少を示しているが、精練していない糸の場合(#4)より程度は少なく、磁器においては精練した糸の場合(#7)は精練した糸の場合(#6)より程度はやや少ないがやはり重量の増加を示している。したがってこれらの結果を総合すれば、精練した綿糸と精練していない綿糸とでは、摩耗量曲線には予期したほど

(第6図) ガラスの摩擦面の顕微鏡写真(倍率×20)
摩擦距離 約400 km, 低張力

(第7図) ガラスの摩擦面の顕微鏡写真(倍率×20)
摩擦距離 約1500 km, 低張力

の大きなちがいはあらわれなかったという結論が得られるだけである。

一方表面の顕微鏡写真の結果を見ると、精練した綿糸と精練してない綿糸とでは明らかなちがいがみとめられる。摩擦距離約 50 km におけるガラスの表面には、第 8 図に示されているように、全接触位置にわたりこすりきずがみとめられるだけで、ワックスの黒い凝着層は全然みとめられない。精練してない綿糸では最初に出口側に激しい凝着層がみとめられるのが普通である。(第 2, 3, 6 図のよう) 実験の終り方の状態を示す

第 9 図(ガラス, 摩擦距離 約 1500 km)においても、こすりきずの範囲が広がっているだけで、ワックスの凝着層はあらわれていない。その他の摩擦距離における表面の状態も、これらの写真とほぼ同様である。また磁器についてもこれと全く同じ結果が得られた。これらの結

(第 8 図) ガラスの摩擦面の顕微鏡写真(倍率 $\times 20$) 精練糸, 摩擦距離 約 50 km

果は、ガラスや磁器の試験片の出口側にあらわれる黒い層は綿糸の表面に含まれているワックスの凝着、移動、酸化、焼け付きによって生じた層であるという考え方を支持するものである。

ガラス製試験片 5 の摩耗量曲線は、第 5 図の示すように前半においてわずかに負にあらわれているが、これ

(第 9 図) ガラスの摩擦面の顕微鏡写真(倍率 $\times 20$) 精練糸, 摩擦距離 約 1500 km

はてんびんの精度からしてほとんど 0 と考えてよく、後半において摩耗を示しているから、顕微鏡写真の結果と矛盾してもいいが、磁器製試験片 7 の摩耗量曲線はわずかながら負にあらわれており、これはてんびんの精度からして 0 とは考えられないから、顕微鏡写真の結果(ここでは省略)と矛盾しているようにみえる。いまこれらの点について考えてみなければならない。

すでに第 6 報⁴⁾において論じたように、完全に精練した糸を用いると、精練してない糸の場合に比べて摩擦係数は著しく増大することが知られている^{8~10)}。また完全に精練した糸に潤滑剤を添加する場合、少量の添加で摩擦係数は急激に低下し、添加量が増大するとあまり添加量の影響を受けなくなることも判明している^{9,10)}。いま上記の実験結果より摩擦係数の平均値を抜き出すと第 3 表を得る。

(第 3 表) 摩擦係数の比較

糸の種類		未精練綿糸		精練綿糸
出口側張力 (g)		352	241	241
円筒の材質	ガラス	0.265	0.33	0.295
	磁器	0.29	0.34	0.305

糸の張力が増すと、摩擦係数が低下するのは当然であるが、同一張力に対する摩擦係数は、むしろ精練糸において低下している。このことは上記の事実と矛盾しているが、第 6 報におけると同様、糸の精練を工業的に行なったことがこの矛盾の原因となっている。すなわち精練後もなお綿糸表面には相当量のワックスが残っており、このワックスが精練してない糸におけるワックスと同様な

作用を営むことが可能である。このように考えれば、精練綿糸とガラス、磁器の組み合わせにおいて、巨視的なワックスの凝着がみとめられないのに、摩耗量曲線が負の側にあらわれていることの可能性を定性的には説明することができる。すなわちここでいう精練綿糸は完全にワックス分を除去した糸でないため、顕微鏡下にみられる機械的なこすりぎずの内外に微視的なワックスの移動が起り、その両者の作用を差引して重量の増加を招いたと考えればよい。

4. む す び

本報ではガラス、磁器類の円筒を綿糸でこすった場合を論じた。実験を行なった条件の下では、銅の円筒におけるようなきれいな摩耗量曲線は得られず、重量は増加したり減少したり、複雑な挙動を示した。糸と円筒との接触部には、入口側では銅の円筒におけると同様な機械的なこすりぎずがあらわれたが、出口側には綿ワックスの凝着移動の現象があらわれた。この現象はガラス、磁器類の熱の不良導性に起因する摩擦熱の効果を考慮することにより、一貫した立場からこの現象を説明することができる。またこの考え方をより確実にするため、工業的に精練した綿糸を用いた実験も行なった。その結果によると、部分的には予想が適中したが、部分的には矛盾を生じた。しかしその理由を精練によるワックスの除去の不完全なことに求めることにより、この矛盾を解き

一般的な考え方をつらぬくことができる。ただしこれらの議論は単に定性的なもので、定量的な問題には全くふれていない。また実際に使用されているガラス、磁器製のガイドは摩耗しているのであるが、ここでは単にワックスの演ずる役割にふれただけで、摩耗機構にまでは立ち入れなかった。

なおガラスおよび磁器製試験片の製作はそれぞれ大阪市立工業研究所の池田専一技師、日本化学陶業の梅田夏雄氏の御好意によった。記して謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 藤野清久, 中島栄男, 井上卓; 本誌, **14**, 110 (1961)
- 2) " ; 本誌, **14**, 268 (1961)
- 3) " ; 本誌, **14**, 481 (1961)
- 4) " ; 本誌, **14**, 485 (1961)
- 5) 中島栄男外 3 名; 本誌, **10**, 756 (1957)
- 6) M. Kerridge; Proc. Phys. Soc. B, **68**, 400 (1955)
- 7) M. Kerridge, J. K. Lancaster; Proc. Roy. Soc. A, **236**, 250 (1956)
- 8) C. Rubenstein; J. Text. Inst., **49**, P 13 (1958)
- 9) M. F. Baird, K. W. Mieszkis; J. Text. Inst., **46**, P 101 (1955)
- 10) E. Moss; Brit. J. Appl. Phys., suppl. 1, 19 (1951)