

純アルミニウムの転がり摩擦条件がすべり摩耗に及ぼす影響

Influence of Rolling Friction Conditions on Sliding Wear of Pure Aluminum

千葉工大・院（学）*佐藤 想 千葉工大（正）平塚 健一

So Sato*, Ken'ichi Hiratsuka

*Chiba Institute of Technology

1. 結論

アルミニウム系材料はその軽さから構造材料に使われているが、反応性の高さから摩擦材として使うためには条件を選ぶ必要がある。一般にはアルミニウムに不純物を加えたり、熱処理を施すことで耐摩耗性を上げる工夫がなされている。一方、アルミニウムは酸化活性が高いため、酸化物を厚く作ることで耐摩耗性が上がる可能性もある。しかしながら、アルミニウム表面は自然酸化膜に覆われているにもかかわらず耐摩耗性は高くない。その理由は酸化物層が薄いため内部の金属部分から破断が生じるためである。鋼においては、転がり接触によって表面の塑性変形が生じ、それによって加工硬化や酸化が促進されることが明らかになっている¹⁾。これは、転がり摩擦の二つの効果、すなわち 1) 材料内部に圧縮応力を与えることによる機械的強度の上昇、2) 表面原子を凝着によって引き離すことによる化学反応の促進、のためであると推定される。すべり摩擦においても両者が重畳して働くことで摩耗の抑制が期待される。以前の研究で我々はアルミニウムに対して、転がり接触を繰り返すことで耐摩耗性が向上することを明らかにした。しかし、その研究では転がり接触を繰り返すことで生成される酸化膜の生成機構や転がり荷重が及ぼす影響を明らかにすることはできなかった。そこで本研究ではアルミニウムに対して、荷重条件をかえて転がり摩擦を繰り返し、その後のすべり摩耗に対する転がり摩擦の条件の影響を明らかにすることを目的とした。

2. 実験方法

本研究では実験装置としてツインリング摩擦試験機を使用した。この装置では、2つの同形状のリング試験片を独立に回転させるので、転がり摩擦と滑り摩擦の両方を切り替えることができる。そこで最初に往復転がり摩擦試験をし、その後、その部分に対して往復すべり摩擦を行った。実験条件を Table 1 に示す。

3. 実験結果

すべり摩耗量に対する転がり摩擦回数及び転がり摩擦荷重の効果を Fig.1 に示す。すべり摩耗量は転がり荷重 4.9N では転がり摩擦を行っていない表面と比べ多かった。また、その量は転がり摩擦回数の増加に対してはほとんど変化しなかった。転がり荷重 19.6N においてはすべり摩耗量は転がり摩擦回数の増加と減少を交互に繰り返す結果となった。転がり摩擦荷重 39.2, 49.0N においては転がり摩擦回数の増加に伴い、すべり摩耗量は増加したのち減少する結果となった。

転がり摩擦実験前後の試験片質量を測定した結果を Fig.2 に示す。転がり荷重 19.6, 49.0N においては転がり摩擦回数が増加しても変化量はほとんど変化しなかった。一方で転がり荷重 39.2N においては転がり摩擦回数増加に伴い、質量変化量は減少したのちに増加する結果となった。他方で転がり荷重 4.9N においては転がり摩擦回数の増加に伴い質量は減少する結果となった。

Table 2 に転がり荷重 0, 4.9, 39.2, 49.0N の転がり摩擦実験後表面及びそのすべり摩耗面の SEM 像を示す。すべり摩耗粉の形状から転がり摩擦回数 0, 4.9N の表面においてはシビア摩耗の様相が確認された。一方で転がり荷重 39.2, 49.0N においてはマイルド摩耗の傾向が見られた。

転がり摩擦実験後の表面を FE-SEM (JEOL IT-800) 付属のエネルギー分散型 X 線分光装置 (EDS) により、加速電圧 6kV で元素分析した結果を Table 3 に示す。酸素とアルミニウムの比率を各ピクセルごとに計算してマッピングしたところ、転がり摩擦を行うことで多くなり、その比率は転がり荷重 39.2N の方が転がり荷重 4.9N よりも多いことが目視で確認された。

Table 1 Experimental conditions

	Rolling friction	Sliding friction
Specimen	Al	
Load, N	4.9, 19.6, 39.2, 49.0	4.9
Sliding speed, mm/s	100	20
Number of contact	50,000, 150,000, 250,000, 500,000, 750,000, 1,000,000	300
Non-friction time, s	1	

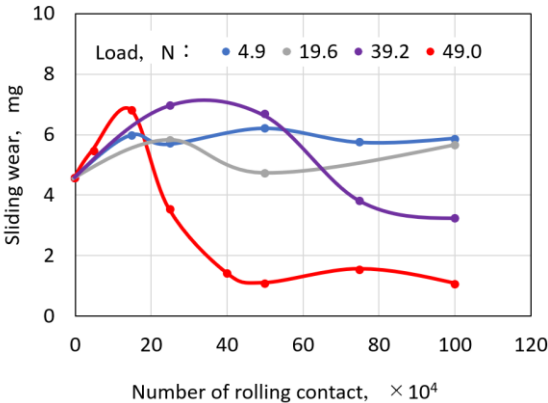


Fig.1 Effect of rolling load on sliding wear

4. 考察

転がり荷重 49.0N の条件において生成された酸化膜の酸素対アルミニウムの比率は酸化アルミニウムの値に近い値となった。このことから転がり荷重 49.0N における酸化膜は酸化アルミニウムであったと推察される。従って、転がり荷重 49.0N においてマイルド摩耗となった要因は機械的強度の上昇と酸化アルミニウム膜の生成による化学的な耐摩耗性向上が重複して起きたためであると考えられる。転がり荷重 39.2N においては同様の現象が起き、マイルド摩耗となった一方で機械的強度が充分でなかったために転がり荷重 49.0N より摩耗量が多い結果となったと推測される。一方で転がり荷重 4.9, 19.6N において、転がり摩擦回数の増加に対して摩耗量はほとんど変化しなかった。転がり摩擦後の表面の酸素対アルミニウム比率から、転がり荷重 4.9, 19.6N では表面の化学反応によって酸化膜の生成が起きた一方で機械的な強度上昇は起きなかったためにすべり摩擦中に新生面が摩耗し、シビア摩耗となったと推定される。また、転がり荷重 4.9N では表面に生成された酸化膜が脱落し、転がり摩擦後質量が減少している一方で、転がり荷重 19.6N では質量の低下は見られなかった。転がり荷重 4.9N においては凝着による化学反応の促進が表面の薄い層に限られるために転がり摩擦回数を増加させても摩耗粉が生成・排出され、それに伴い質量変化量が減少したものと考えられる。一方で転がり荷重 19.6N では凝着による化学反応の促進は若干生じたものの、機械的強度の上昇が起きなかったために質量変化量に変化がなく、すべり摩耗量も転がり摩擦回数の増加に対して変化しなかったものと推測した。これらのことから転がりによって機械的強度の上昇及び凝着による化学反応促進によって耐摩耗性が向上することが明らかになったが、詳細は更なる検証が必要である。

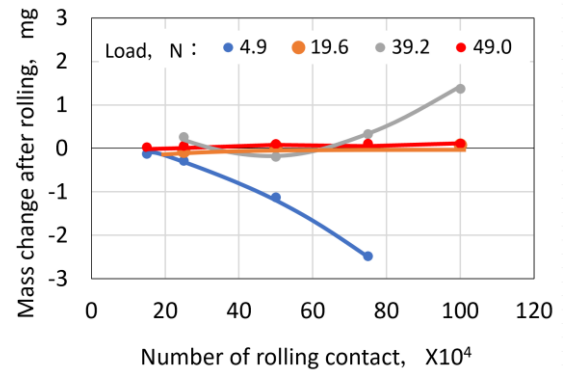
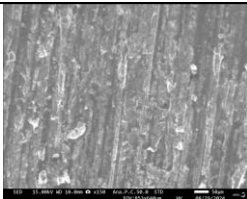
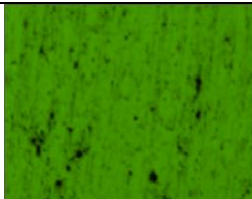


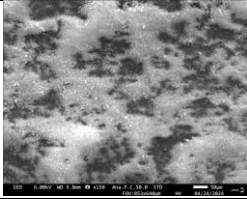
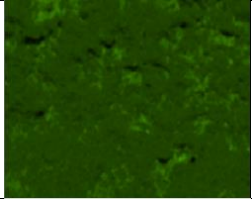
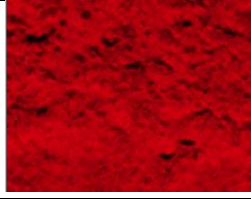

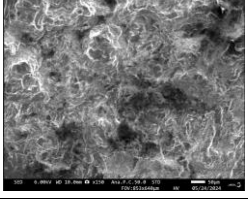
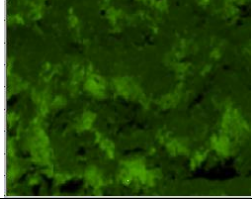
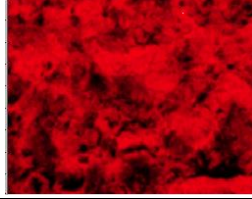
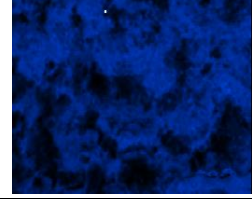


Fig.2 Effect of number of rolling load on mass change after rolling

Table 2 Effect of number of rolling load on worn surfaces and wear particles (after 750,000 rolling friction cycles)

Rolling load, N	Surface after rolling (x150)	Surface after rolling (x1000)	Sliding wear particles (x100)	Sliding wear particles (high magnification)
0				
4.9				
39.2				
49.0				

Table 3 Effect of rolling load on the maps of aluminum, oxygen and their ratio oxygen/aluminum (after 750,000 rolling friction cycles)

Rolling load, N	SEM	Aluminum map	Oxygen map	Map of the ratio of oxygen to aluminum
0				
4.9				
39.2				

5. 結論

純アルミニウムに転がり摩擦を与えた後、同じ面をすべり摩擦させて、その摩耗に対する転がり摩擦荷重の効果を調べた。その結果、以下の結論を得た。

- 1) 転がり荷重 4.9, 19.6N の条件においては摩耗量にほとんど変化は見られなかった。転がり荷重 39.2N では転がり摩擦回数の増加に伴い転がり摩擦回数 40 万回程度でピークを取った後、摩耗量が減少した。転がり荷重 49.0N においては転がり摩擦回数 15 万回で極大となり、以降は転がり摩擦回数の増加に伴い摩耗量が減少した。
- 2) これらの結果より、転がり接触を繰り返すことで内部の機械的強度の上昇及び表面の凝着による化学反応が重畳して働き耐摩耗性向上が引き起こされることを推定した。

6. 文献

- 1) 平野富士夫, 他, ころがり接触における加工硬化について, 日本機械学会論文集, 32, 236, (1966) pp. 672-676.
- 2) 佐藤想, 平塚健一, アルミニウムのすべり摩耗におよぼす転がり接触の影響, トライボロジー会議 2023 春東京予稿集, (2023)