

湿度が工作機械しゅう動面専用潤滑剤の摩擦特性に及ぼす影響

Effect of Moisture on Friction Characteristics of Lubricant for Slide Guideway of Machine Tools

名工大（学）*天野 竜輔 名工大（院）日比野 公亮 名工大（正）前川 覚 名工大（正）糸魚川 文広
コスモ石油ルブリカンツ（株）植町 ゆかり コスモ石油ルブリカンツ（株）山本 邦治

Ryusuke Amano*, Kousuke Hibino*, Satoru Maegawa*, Fumihiro Itoigawa*, Yukari Uemachi**, Kuniharu Yamamoto**

*Nagoya Institute of Technology, **Cosmo Oil Lubricants Co., Ltd

1.はじめに

一般的に工作機械のしゅう動面は環境制御されていないため、冬場は乾燥環境、梅雨時は湿潤環境となり、しゅう動特性はその影響を強く受ける。実際、工作機械しゅう動面油として広く用いられているオレイル酸性リン酸エステル（以下、OLAP）添加油の摩擦特性は乾燥環境と湿潤環境で大きく異なることが報告されている^{1,2)}。乾燥環境においては低速度域で摩擦係数に正勾配の速度依存性が発現し、極低速度では摩擦係数が0.01~0.02程度と小さくなる。一方で、湿潤環境においては摩擦係数の速度依存性は失われ、摩擦係数の絶対値は増大する。その対処法として、アミン化合物を併用することが有効であると報告されている²⁾。しかしながら、高湿環境下におけるOLAPの潤滑特性悪化をアミンが抑止するメカニズムについては未だ明らかになっていない。そこで本研究では、2級および3級アミンとOLAPをそれぞれ併用した場合の高湿環境下における摩擦特性を調査した。その結果、アミンの嵩高さが潤滑特性悪化の抑制に対して大きく影響していることが示唆された。

2. 試験装置および試験方法

摩擦試験機には、工作機械すべり案内面のしゅう動特性を簡便に評価することができるPin-on-Ring型摩擦試験機を用いた³⁾。上部試験片は6本のピンが円周上に等配置され摩擦力が作るモーメントによる傾斜が生じない構造となっている。これらが動力計に固定された下部試験片上を滑ることで摩擦を測定する。荷重は上部試験片に直接錘を取り付け死荷重として与え、安定した低面圧接触状態を得ることができる。

試験片の諸元をTable 1に示す。試験前の表面粗さは十点平均粗さで3.0~3.5 μmとした。また、潤滑油の諸元をTable 2にまとめて示す。添加剤としてアミンは、2級および3級のヘキシルアミン、オクチルアミン、2-エチルヘキシルアミンを使用した。

本実験では、所定の時間なじみ運転を行い、各なじみ時間においてストライベック線図を測定した。なお、ストライベック線図の測定においては、最低速度（ 4.6×10^{-5} mm/s）から最高速度（ 8.7×10^1 mm/s）までステップ状に速度を増加させて摩擦係数を測定した後に、逆に最高速度（ 8.7×10^1 mm/s）から最低速度（ 4.6×10^{-5} mm/s）まで低下させて摩擦係数を測定した。

Table 1 Test specimen

	Upper	Lower
Photograph		
Material	Carbon steel S45C (JIS)	Cast iron FC300 (JIS)
Hardness	535 HV	700 HV

Table 2 Lubricant composition

Additive	Base oil		Paraffinic mineral oil		
	OLAP	Concentration	0.2 mass%		
			Structural formula of alkyl group	Hexyl	Octyl
Amine	Amine	Concentration	2-Ethylhexyl		
			Secondary		
		Concentration	0.04 mass%		
			Tertiary	0.04 mass%	0.06 mass%

3. 実験結果および考察

潤滑油として、di-n-hexyl amine 添加油（以下、di-HA）を用いた場合の実験結果をFig. 1(a)、di-n-octyl amine 添加油（以下、di-OA）を用いた場合の実験結果をFig. 1(b)、di-(2-ethylhexyl) amine 添加油（以下、di-2EHA）を用いた場合の実験結果をFig. 1(c)、tri-n-hexyl amine 添加油（以下、tri-HA）を用いた場合の実験結果をFig. 2(a)、tri-n-octyl amine 添加油（以下、tri-OA）を用いた場合の実験結果をFig. 2(b)、tri-(2-ethylhexyl) amine 添加油（以下、tri-2EHA）を用いた場合の実験結果をFig. 2(c)にそれぞれ示す。図中の白丸、青丸、黒丸はそれぞれなじみ運転前、なじみ運転8時間経過後、16時間経過後の測定結果である。なお、すべての実験において摩擦係数の測定は 4.6×10^{-5} mm/sから行ったが、一部の潤滑油条件下では低速域でスティックスリップが発生し摩擦係数が安定しなかった。図中には、スティックスリップが発生せずに安定した摩擦係数が得られた速度条件の結果のみをプロットしている。

各潤滑油条件下での摩擦特性について着目する。まず、Fig. 1に示した2級アミン添加条件における摩擦特性では、di-HA、di-OAに対してdi-2EHAが優れた摩擦特性を示した。di-HAやdi-OAは約0.1 mm/s以下の速度でスティックスリップが発生せずに安定した摩擦係数が得られた速度条件の結果のみをプロットしている。

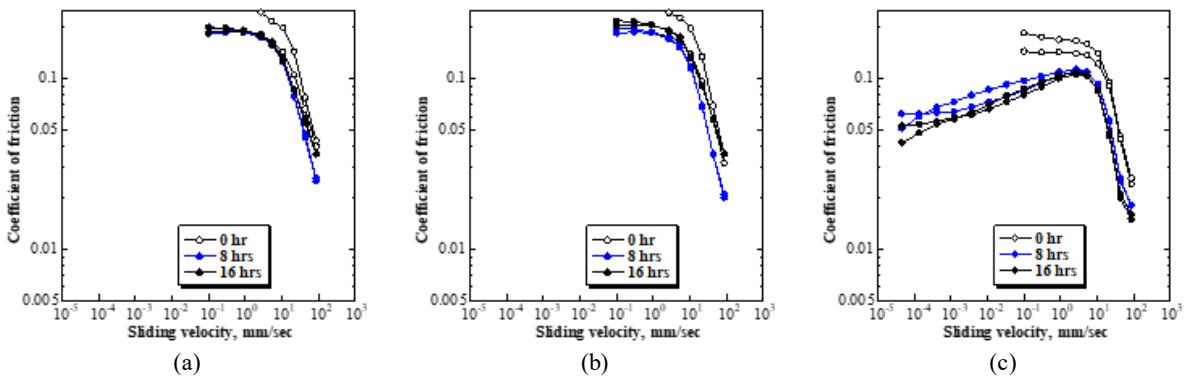


Fig. 1 Friction coefficient with sliding velocity (added OLAP, di-amine)

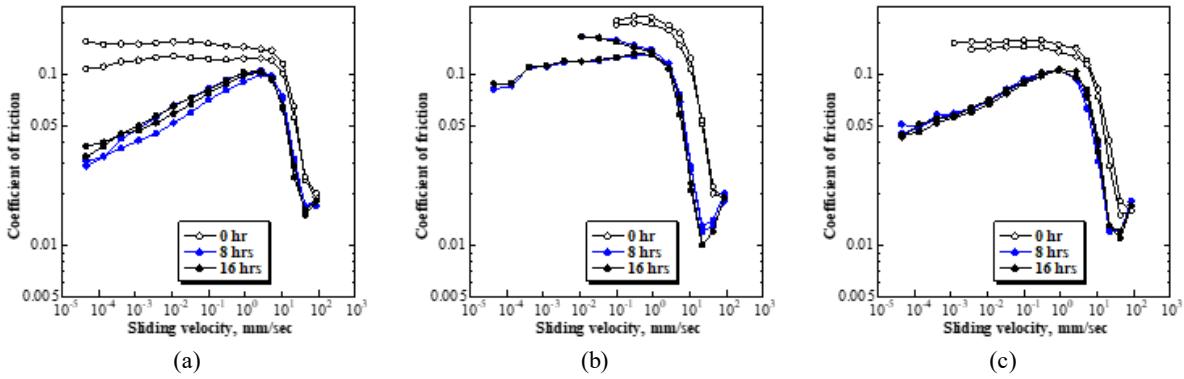


Fig. 2 Friction coefficient with sliding velocity (added OLAP, tri-amine)

スリップが発生し安定した摩擦係数が得られなかったが、唯一 di-2EHA では、低速域でも安定した摩擦係数の速度依存性を発現し、OLAP の特性を維持していることがわかる。一方で、Fig. 2 に示した 3 級アミン添加条件では、tri-OA を除いて安定した摩擦特性を示した。tri-OA では、十分ななじみ運動後にも低速域でスティックスリップの発生を確認したが、tri-HA および tri-2EHA では、スティックスリップが発生することなく摩擦係数を取得できた。特に tri-HA は最低速における摩擦係数が約 0.03 まで低下しており、3 級アミンの中では最も優れた摩擦特性を示した。

ここから、アミンのアルキル基構造の差が摩擦特性に与える影響について考察する。アミン化合物はその極性より金属表面で耐腐食性を持つ吸着膜を形成することが知られている。一方、高湿条件下ではアミンが油中に存在する多量の水分子と水素結合することで極性を失い、吸着膜が形成されづらいことがわかっている⁴⁾。このことから、アミン添加油が高湿条件下でも優れた摩擦特性を示す要因は、アミンの表面吸着以外だと考えられている。アミンは高湿条件下で油中の水と相互作用し、水分濃度を調整していると考えられる。この水との相互作用はアミンのアルキル基構造の違いに影響される。2 級アミンでは di-2EHA のみが優れた摩擦特性を示したのは、2 つのアルキル基に側鎖を有する嵩高い構造のため、立体障害により水吸着能力が低下し、結果として油中に適度な水を残留させることで OLAP の効果を発現可能であった。つまり、di-HA や di-OA といった 2 つの直鎖アルキル基を有するアミンは相互作用が強く、過剰に水分子を拘束してしまうため、OLAP の加水分解が抑制され、摩擦特性悪化を誘発した。対照的に 3 級アミンが 2 級アミンより良好な摩擦特性を示したのは、前者の方が後者に比べ分子あたりのアルキル基が多く、立体障害が高いため、この違いにより水を適度にトラップし、OLAP 由来の粘性膜の生成を妨げないからだと考えられる。

4. まとめ

本研究では、高湿条件下でアミンの嵩高さが摩擦特性に与える影響について調査した。2 級および 3 級アミンと OLAP をそれぞれ併用した場合の摩擦特性は、アミンが有するアルキル基の構造や数が、油中の水分子の吸着強さを決定するため、分子が立体障害を有する嵩高い構造が摩擦特性悪化の抑制に効果的であることが示唆された。

文献

- 1) 則久・糸魚川・中村・小川：低面圧境界潤滑における摩擦係数の速度依存性に関する研究（第 2 報），トライボロジスト，53, 10 (2008) 689.
- 2) 近藤・山本・渡邊・糸魚川：実使用環境下において切削液及び湿度条件がすべり案内面潤滑油のしゅう動特性に与える影響と改善技術，2017 年度精密工学会春季大会 予稿集，(2017) 939.
- 3) 則久・糸魚川・中村・中尾：工作機械すべりガイドのしゅう動性能評価装置の開発，トライボロジスト 52, 9 (2007) 679.
- 4) 日比野・前川・糸魚川・内山・中村：第 2 級アミン添加油の境界潤滑特性に及ぼす油中水分の影響，トライボロジー会議 2021 春 東京 予稿集，(2021)