

高分子材料への導入[トライポロジー材料編]

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2017-10-03 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 岩井, 智昭 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/31361

トライボロジー材料編

高分子材料への導入

原稿受付 2011年8月4日

“トライボロジスト” 第57巻 第3号 (2012) 162~164

推薦者 岩井 智 昭

金沢大学 理工研究域 機械工学系
(〒920-1192 石川県金沢市角間町)

1. はじめに

高分子材料は「分子量が1000以上の天然もしくは合成材料」で、「合成材料としては合成ゴム、合成樹脂」であり、「合成樹脂は塑性加工のしやすさからプラスチック材料とも呼ばれる」¹⁾と定義されている。つまり、高分子材料はゴム材料とプラスチック材料に大別され、機械的特性も異なる。そのため、高分子をトライボロジー材料として見た場合も、それぞれ異なる扱いが必要である。ここではゴムおよびプラスチックなど高分子材料のトライボロジー研究をスタートさせるに当たり有益であると考えられる情報を以下に紹介する。

2. 教科書・解説

2.1 材料としての高分子

ゴム材料と一言で表現されているが、一般的には原料ゴムに加硫剤や加硫促進剤等の各種薬品、カーボンブラックやシリカ等の補強材などを混合し、加熱することでゴム特有の性質を得ている。『新版ゴム技術の基礎』²⁾では、これら原材料の詳細から、ゴムの物理的・化学的特性や各種試験・分析法にわたりわかりやすく解説している。『新版ゴム材料選択のポイント』³⁾では具体的な製品に対するゴム材料の要求や特性などを解説している。A. N. GENTによる『Engineering with Rubber』⁴⁾では、各種材料特性がわかりやすく解説されている。また、D. F. MOOREの『Viscoelastic Machine Elements』⁵⁾では、機械要素として組み込まれているゴム材料と潤滑剤の粘弾性特性を考慮した接触特性を解説している。

プラスチック材料では、『高分子材料の基礎と

応用』⁶⁾に主な材料の紹介および成形法について概説されている。その合成反応や力学的特性を始めとする各種特性について『機能性高分子材料の基礎』⁷⁾は丁寧に解説している。『設計のための高分子の力学』⁸⁾では力学現象に注目し高分子材料の応力解析や破壊力学的扱いを解説しており、摩擦摩耗に関しても説明を加えている。なお、高分子材料では力学的特性を粘弾性的に扱う必要があり、『高分子と複合材料の力学的性質』⁹⁾では重畳定理を含め詳細に説明している。

2.2 トライボ材料としての高分子

トライボ材料として高分子を考えた場合、学会誌の特集が導入として適切であると思われる。本学会誌では「高分子材料のトライボロジー」¹⁰⁾を特集しており、主に高分子材料の摩擦摩耗の基礎となるデータを示している。また、摩擦摩耗試験法については別に解説¹¹⁾されている。一方、日本ゴム協会では、「ゴムのトライボロジー」¹²⁾にて製品の観点から解説が行われている。また、「トライボロジー関連研究の最近の進歩」¹³⁾ではゴムの摩擦の際に生ずるひずみの測定やスティックスリップの解析およびタイヤのシミュレーションなどを解説しており、参考になる。

3. 専門書・論文

ゴム材料の摩擦摩耗を扱った専門書としてまず挙げられるのはD. F. MOOREの『The Friction and Lubrication of Elastomers』¹⁴⁾であり、ゴム材料の摩擦摩耗および潤滑の基礎に関して詳細に解説されている。特にゴムの転がり摩擦に関して丁寧に記述されている。『プラスチック材料の潤滑性』¹⁵⁾はプラスチックのトライボロジー特性の

Tribomaterials —Introduction to Polymer Materials—

By Tomoaki IWAI, School of Mechanical Engineering, College of Science and Engineering, Kanazawa University (Kakuma-machi, Kanazawa-shi, Ishikawa 920-1192, E-mail: iwai@se.kanazawa-u.ac.jp)

Key Words: polymer, rubber, plastics, pattern abrasion, Schallamach wave, stick-slip, silica, PTFE

基本的項目からその応用まで網羅している。また、K. FRIEDRICHによる『Friction and Wear of Polymer Composites』¹⁶⁾は高分子複合材料の摩擦摩耗データを中心にまとめられている。特に繊維強化材料について詳細に解説している。『Polymer Tribology』¹⁷⁾は近年の発行であり、原子間力顕微鏡による高分子のナノインデンテーション、人工関節に用いられる超高密度ポリエチレンや各種エンジニアリングプラスチック複合材料の摩擦摩耗など、近年注目されているテーマについても解説している。

ゴムのトライボロジーを進める上で、必ず読まなければいけない論文は、A. SCHALLMACHによる『Friction and Abrasion of Rubber』¹⁸⁾である。パターン摩耗の基礎的考察やゴム表面の応力集中とき裂の関係を示している。E. SOUTHERN and A. G. THOMAS¹⁹⁾は、き裂進展速度とパターン摩耗とを関連づける報告を行った。以降、パターン摩耗に関しては多くの研究^{20~25)}が進められている。シャルマック波に関しても光学的な観察からその移動速度を求め、その生成要因を探る研究²⁶⁾が進められた。近年、NAKANOらはスティックスリップ振動をシャルマック波との関連で説明²⁷⁾している。またFUKAHORIらはパターン摩耗をスティックスリップ振動と関連させる報告²⁸⁾を行っている。

近年、環境問題や安全性の観点から、自動車のタイヤでは湿潤路面で摩擦が大きく、かつ転がり抵抗の少ないゴム材料が求められており、シリカ充てんが有効²⁹⁾であることが報告されている。シリカによるゴムの補強メカニズムは従来のカーボンブラックとは異なる^{30~33)}機構となっている。そのため、シリカ充てんゴムの摩耗特性に関して興味^{34,35)}がもたれており、シリカ配合ゴムのパターン摩耗では、カーボン補強ゴムよりき裂進展速度が速いことが報告³⁶⁾されている。

プラスチックのアプレシブ摩耗において、LANCASTER³⁷⁾は摩耗率が引張強さと伸びの積の逆数に比例することを示している。また、J. P. GILTROW³⁸⁾はアプレシブ摩耗は材料の凝集エネルギーと関係することを示している。四フッ化エチレン樹脂 (PTFE) の摩耗については

TANAKA³⁹⁾がバンド構造の破壊を観察し、UCHIYAMA⁴⁰⁾が凝着摩耗でマスターカーブを作成している。また、PTFEは金属と摩擦するだけではなく、接触のみでもフッ化金属を形成することが報告^{41~44)}されている。

4. 最新情報—会議・インターネット—

日本ゴム協会の年次大会やエラストマー討論会、高分子学会の高分子討論会では高分子材料に関して活発な討論が行われている。特に、日本ゴム協会のトライボロジー研究分科会はゴム材料のトライボロジーに特化した活動を行っており、毎年ゴムのトライボロジーに関するシンポジウムを開催している。トライボロジー学会においては高分子材料のトライボロジー研究会が活発に活動している。海外においては、American Chemical SocietyのRubber Divisionでは材料だけではなく摩擦摩耗についての発表も行われ、学会誌『Rubber Chemistry and Technology』には多くの論文が掲載されている。タイヤに関しては、The Tire Societyで発表が行われ、学会誌『Tire Science and Technology』に多くの関連論文が掲載されている。近年はタイヤ変形や摩擦摩耗のシミュレーション^{45,46)}について多く報告されている。

文 献

- 1) 日本トライボロジー学会編：トライボロジー辞典，養賢堂(1995)。
- 2) 日本ゴム協会編：新版 ゴム技術の基礎，日本ゴム協会(2000)。
- 3) 西 敏夫ほか編：新版 ゴム材料選択のポイント，日本規格協会(1993)。
- 4) A. N. GENT 編：Engineering with Rubber, Hanser(2001)。
- 5) D. F. MOORE: Viscoelastic Machine Elements, Butterworth-Heinemann(1993)。
- 6) 伊澤 慎一：高分子材料の基礎と応用，内田老鶴圃(2008)。
- 7) 藤重 昇永：機能性高分子材料の基礎，工業調査会(1990)。
- 8) 深堀美英：設計のための高分子の力学，技報堂(2000)。
- 9) L. E. NIELSEN 著，小野木重治訳：高分子と複合材料の力学的性質，化学同人(1976)。
- 10) トライボロジスト 特集・高分子材料のトライボロジー，45, 1(2000)。
- 11) 和田法明：ゴムの摩擦・摩耗評価と試験方法，トライボロジスト，53, 8(2008) 506。
- 12) 日本ゴム協会誌 特集・ゴムのトライボロジー，72, 4

- (1999).
- 13) 日本ゴム協会誌 特集・トライボロジー関連研究の最近の進歩, **80**, 4 (2007).
 - 14) D. F. MOORE: The Friction and Lubrication of Elastomers, Pergamon (1972).
 - 15) 山口章三郎: プラスチック材料の潤滑性, 日刊工業新聞社 (1981).
 - 16) K. FRIEDRICH: Friction and Wear of Polymer Composites, Elsevier (1986).
 - 17) S. K. SINHA & B. J. BRISCOE: Polymer Tribology, Imperial College (2009).
 - 18) A. SCHALLAMACH: Friction and Abrasion of Rubber, *Wear*, **1**, 5 (1958) 384.
 - 19) E. SOUTHERN & A. G. THOMAS: Studies of Rubber Abrasion, *Plastics and Rubber, Materials and Applications*, **3**, 4 (1978) 133.
 - 20) A. SCHALLAMACH: How does Rubber Slide?. *Wear*, **17**, 4 (1971) 301.
 - 21) C. T. R. PULFORD: Failure of Rubber Abrasion, *Rubber Chemistry and Technology*, **58**, 3 (1985) 653.
 - 22) S. W. ZHANG: Advances in Studies on Rubber Abrasion, *Tribology International*, **22**, 2 (1989) 143.
 - 23) Y. UCHIYAMA & Y. ISHINO: Pattern Abrasion Mechanism of Rubber, *Wear*, **158**, 1-2 (1992) 141.
 - 24) Y. FUKAHORI & H. YAMAZAKI: Mechanism of Rubber Abrasion, *Wear*, **178**, 1-2 (1994) 109.
 - 25) T. IWAI & Y. UCHIYAMA: The Strain Generated on a Rubber Surface in the Course of Pattern Abrasion, *Tire Science and Technology*, **28**, 2 (2000) 96.
 - 26) M. BARQUINS: Friction and Wear of Rubber-Like Materials, *Wear*, **160**, 1-2 (1993) 1.
 - 27) S. MAEGAWA & K. NAKANO: Mechanism of Stick-Slip Associated with Schallamach Waves, *Wear*, **268**, 7-8 (2010) 924.
 - 28) Y. FUKAHORI, P. GABRIEL & J. J. C. BUSFIELD: How Does Rubber Truly Slide Between Schallamach Waves and Stick-Slip Motion, *Wear*, **269**, 11-12 (2010) 854.
 - 29) 海藤博幸・八柳 史: ゴム配合による摩擦係数のコントロール, 日本ゴム協会誌, **74**, 4 (2001) 159.
 - 30) S. WOLFF: Chemical Aspects of Rubber Reinforcement by Fillers, *Rubber Chemistry and Technology*, **69**, 3 (1996) 325.
 - 31) 日座 操: タイヤにおけるシリカ配合技術の最近の技術課題, 日本接着学会, **37**, 5 (2001) 197.
 - 32) L. A. E. M. REUVEKAMP, J. W. T. BRINKE, P. J. V. SWAAIJ & J. W. M. NOORDERMEER: Effects of Time and Temperature on The Reaction of TESPT Silane Coupling Agent During Mixing With Silica Filler and Tire Rubber, *Rubber Chemistry and Technology*, **75**, 2 (2002) 187.
 - 33) F. YATSUYANAGI, N. SUZUKI, M. ITO & H. KAIKOU: Effect of Surface Chemistry of Silica Particles on the Mechanical Properties of Silica Filled Styrene-Butadiene Rubber Systems, *Polymer Journal*, **34**, 5 (2002) 332.
 - 34) S. NAYEK & A. K. BHOWMICK: Wear Behavior of Silica Filled Tire Tread Compounds by Various Rock Surfaces, *Rubber Chemistry and Technology*, **78**, 4 (2005) 705.
 - 35) 網野直也・内山吉隆・岩井智昭: シリカ配合およびカーボン配合SBRの摩耗機構に関する研究, 日本ゴム協会誌, **81**, 8 (2008) 346.
 - 36) T. IWAI, Y. UCHIYAMA, K. SHIMOSAKA & K. TAKASE: Study on the Formation of Periodic Ridges on the Rubber Surface by Friction and Wear Monitoring, *Wear*, **259**, 1-6 (2005) 669.
 - 37) J. K. LANCASTER: Abrasive Wear of Polymers, *Wear*, **14**, 4 (1969) 223.
 - 38) J. P. GILTROW: A relationship between Abrasive Wear and The Cohesive Energy of Materials, *Wear*, **15**, 1 (1970) 71.
 - 39) K. TANAKA, Y. UCHIYAMA & S. TOYOOKA: The Mechanism of Wear of Polytetrafluoroethylene, *Wear*, **23**, 2 (1973) 153.
 - 40) Y. UCHIYAMA & K. TANAKA: Wear Laws for Polytetrafluoroethylene, *Wear*, **58**, 2 (1980) 223.
 - 41) G. POCOCK & P. CADMAN: The Application of Differential Scanning Calorimetry and Electron Spectroscopy to PTFE-Metal Reactions of Interest In Dry Bearing Technology, *Wear*, **37**, 1 (1976) 129.
 - 42) P. CADMAN & G. M. GOSEEDGE: The Chemical Nature of Metal-Polytetrafluoroethylene Tribological Interactions as Studied by X-Ray Photoelectron Spectroscopy, *Wear*, **54**, 2 (1979) 211.
 - 43) M. MINAMI, M. SUZUKI & M. NISHIMURA: Evaluation of Tribological Characteristics of PTFE Composites Transfer Films in Ultra-High Vacuum, *Tribology Transaction*, **36**, 1 (1993) 95.
 - 44) T. A. BLANCHET, F. E. KENNEDY & D. T. JAYNE: XPS Analysis of the Effect of Fillers on PTFE Transfer Film Development in Sliding Contacts, *Tribology Transaction*, **36**, 4 (1993) 535.
 - 45) H. LUPKER, F. CHELI, F. BRAGHIN, E. GELOSA & A. KECKMAN: Numerical Prediction of Car Tire Wear, *Tire Science and Technology*, **32**, 3 (2004) 164.
 - 46) K. R. SMITH, R. H. KENNEDY & S. B. KNISLEY: Prediction of Tire Profile Wear by Steady-State FEM, *Tire Science and Technology*, **36**, 4 (2008) 290.