# Fuji Die Tribological Approach to Low Friction Materials

## กระบวนการทางไทรโบโลยีของบริษัท Fuji Die สำหรับวัสดุที่มีแรงเสียดทานต่ำ

Written by Dai Suzuki, Jun-ichi Yuki and Koji Hayashi (Fuji Die Co., Ltd.)
Translated by Mr. Numchoak Sabangban (Khon Kaen University)

เขียนโดย Dai Suzuki, Jun-ichi Yuki และ Koji Hayashi (Fuji Die Co., Ltd.)
แปลโดย นายนำโชค แสบงบาล (มหาวิทยาลัยขอนแก่น)

### 1. INTRODUCTION

Fuji Die Co., Ltd. is a leading company of hardmetal wear-resistant tools and molds in Japan. Since our company was founded in the year 1949, we have continued to manufacture and provide high quality products for a wide range of industries such as metalworking, precision processing and machining. We have gained a good reputation through our sincere and immediate responding to the evolving customer needs.

Recently, we expand our business in Thailand, China, Indonesia, Malaysia and India. Especially, we established Fujilloy Thailand Co., Ltd. as the delivery center in 2003 to meet the national increasing demand of hardmetal tool with high wear-resistance, and moved the company in 2012 to a new manufacturing site in Amata Industrial Park so as to manufacture promptly tools and molds for more sophisticated workpieces.

We provide hardmetal drawing dies and plugs without or with CVD- or PVD-coating, hardmetal ultraprecise wear-resistant tools, heat-resistant tungsten based alloy (trade name: FHR), super-tough wear-resistant iron based alloy (KF2 alloy), self-lubricating composite material (NF metal), Cu-W electrode material for EDM (CE-08), fine ceramics, diamond and cBN grinding wheels, etc., under the brand name of FUJILLOY. These products are manufactured by accepting the customers' endless requests to diversification, sophistication, long tool-life, and environmental problem, etc. These manufacturing technologies are based on powder metallurgy, machining and/or coating technologies.

### 1. บทนำ

Fuji Die จำกัด มหาชน เป็นบริษัทชั้นนำในการป้องกันการสึกหรอของอุปกรณ์และแม่พิมพ์ที่ทำจากเหล็กกล้าในประเทศญี่ปุ่น ซึ่งก่อตั้งขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 1949 ซึ่งได้ทำการผลิตและจัดหาชิ้นงานที่งานที่มีคุณภาพสูงตามความต้องการในอุตสาหกรรมการผลิตอย่างต่อเนื่อง อาทิเช่น อุตสาหกรรมการผลิตเหล็ก กระบวนการที่ต้องการความแม่นยำ และกระบวนการขึ้นรูป เป็นต้น ซึ่งทางบริษัทได้รับการตอบรับเป็นอย่างดี และพร้อมที่จะพัฒนาตามความต้องการของลูกค้าได้อย่างทันท่วงทีเสมอมา

เมื่อไม่นานมานี้ ทางบริษัทได้ทำการขยายธุรกิจไปที่ประเทศไทย จีน อินโดเนเซีย มาเลเซีย และ อินเดีย โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริษัท Fujilloy Thailand จำกัด มหาชน ได้ถูกจัดตั้งขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 2003 เพื่อเป็นศูนย์กลางในการขนส่งและตอบสนองความต้องการในด้านการป้องกันการศึกหรอของ Hardmetal Tool ที่เพิ่มมากขึ้นในประเทศ และได้ทำการเคลื่อนย้ายบริษัทมาที่นิคมอุตสาหกรรม อมตะนคร เมื่อปี 2012 เพื่อที่จะผลิตเครื่องมือและแม่พิมพ์ได้อย่างรวดเร็วสำหรับชิ้นงานที่มีความซับซ้อนมากขึ้น

ทางบริษัทได้ทำการจัดหา Hardmetal Dies และ Plugs ทั้งที่มีและไม่มีการเคลือบด้วย CVD PVD และอีกหลายอย่างอาทิเช่น Hardmetal Ultraprecise Wear-Resistant Tools, Heat-Resistant Tungsten Based Alloy (Trade Name: FHR), Super-Tough Wear-Resistant Iron Based Alloy (KF2 alloy), Self-Lubricating Composite Material (NF Metal), Cu-W Electrode Material for EDM (CE-08), Fine Ceramics, Diamond และ cBN Grinding Wheels และอื่นๆอีกมากมาย ซึ่งได้จัดทำภายใต้ชื่อ FUJILLOY และผลิตภัณฑ์ที่บริษัทผลิตขึ้นได้จัดทำตามความต้องการจากลูกค้าในการเพื่อยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์เครื่องมือ โดยการผลิตสินค้าจากทางบริษัทมาพื้นฐานมาจาก Powder Metallurgy และ Machining and/or Coating Technologies เป็นต้น

Our main new products and the research results on them have been published in Journals such as the Japan Society of Powder and Powder Metallurgy, High Pressure Mineral Physics Seminar-8 (HPMPS-8), Japanese Society of Tribologists, etc. Almost all of these products and research results are highly evaluated and have received “Award for Development in Research” from Japan Society of Powder and Powder Metallurgy, “Award of a Technology Advantage Product and Environment-Conscious Product” from Japan Cemented Carbide Tool Manufacturers’ Association and “Encouraging Prize” from Japan Sokeizai Center (Japan Material Process Technology Center).

In this paper, we introduce our three kinds of products with excellent sliding properties from a viewpoint of tribology: (1) hardmetals for plastic working, (2) DLC-coated hardmetals having long tool- life, and (3) NF metal including a self-lubricating solid component.

ซึ่งผลงานวิจัยและผลิตภัณฑ์จากทางบริษัทได้รับการยอมรับจากการตีพิมพ์จากทางนิตยสารหลายเล่ม อาทิเช่น Japan Society of Powder and Powder Metallurgy, High Pressure Mineral Physics Seminar-8 (HPMPS-8), Japanese Society of Tribologists เป็นต้น โดยที่ผลงานในทางวิจัยและผลิตภัณฑ์ทั้งหมดได้รับการประเมินคุณค่าที่ค่อนข้างสูงจากรางวัล “Award for Development in Research” จากสมาคม Japan Society of Powder and Powder Metallurgy, “Award of a Technology Advantage Product and Environment-Conscious Product” จาก Japan Cemented Carbide Tool Manufacturers’ Association และ “Encouraging Prize” จาก Japan Sokeizai Center (Japan Material Process Technology Center) เป็นต้น

ในบทความนี้ทางบริษัทได้กล่าวแนะนำถึงผลผลิตทั้งสามประเภทที่ยอดเยี่ยมในเรื่อง คุณสมบัติในการไถล จาก มุมมองในเรื่องของ tribology ซึ่งได้แก่ (1) Hardmetals for Plastic Working, (2) DLC-Coated Hardmetals having Long Tool- Life, and (3) NF Metal Including a Self-Lubricating Solid component

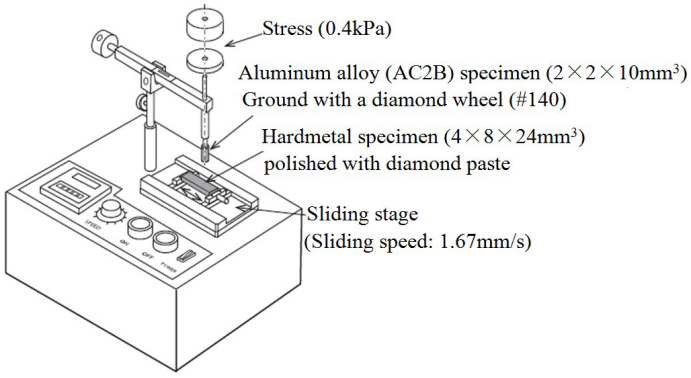



Fig 1. The schematic diagram of sliding test equipment and test conditions.

## 2. SLIDING PROPERTIES OF HARDMETALS FOR PLASTIC WORKING

Hardmetals have high strength, high rigidity, and high hardness, etc., compared with high-speed steels or tool steels, and thus are more broadly used as a reliable material of tools and molds for plastic workings such as processing, metalworking, stamping, cold forging, and drawing, etc.1) In plastic forming where workpiece is largely deformed by applying a large force, the friction force and wear state of the tool depend considerably on the kind of workpiece material, operating conditions, etc.

In recent years, for the purpose of addressing environmental problem and cost reduction, the lubrication condition for tool is changing to be more severe, such as the lowering of lubricating oil viscosity by using water-soluble oil, the reduction of lubricating oil usage, and the in-

## 2. SLIDING PROPERTIES OF HARDMETALS FOR PLASTIC WORKING

Hardmetal เป็นวัสดุคงรูปที่มีความแข็งแรงและความแข็งที่ค่อนข้างสูง ซึ่งประกอบด้วย High-Speed steels หรือ Tool Steels และวัสดุที่ต่างๆที่ใช้ในการทำแม่พิมพ์สำหรับงานในกระบวนการขึ้นรูปพลาสติก งานในทางโลหะ การทุบขึ้นรูป การขึ้นรูปเย็น หรือแม้กระทั่งการลากขึ้นรูปเป็นต้น ซึ่งในกระบวนการขึ้นรูปพลาสติกจากการใช้แรงในการขึ้นรูปที่ค่อนข้างมากจึงส่งผลให้ชิ้นงานเกิดการเสียรูปที่มากยิ่งขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นการเกิดแรงเสียดทานและการสึกหรอจึงปรากฏขึ้นตามปาระเภทของวัสดุและเงื่อนไขในการผลิตเป็นต้น

ในช่วงปีที่ผ่านมาได้มีการมุ่งเน้นไปถึงวัตถุประสงค์ในการลดต้นทุนในการผลิตและผลกระทบที่เกิดขึ้นกับสิ่งแวดล้อม ได้ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะในการใช้สารหล่อลื่นเป็นอย่างมาก เช่นการลด Viscosity ของ Lubricant โดยใช้ Water-Soluble Oil การลดอัตราการใช้สารหล่อลื่น และการเพิ่มขึ้นของ Working Stress เพื่อเพิ่มอัตราในการผลิต และลดจำนวนชั่วโมงในการผลิต

creasing of working stress for the increase of deformation or production rate and the reduction of man-hours, etc. Accompanying these changes, workpiece material tends to adhere hardmetal tool. Thus, the improvement in the sliding properties of tool materials is demanded so as to reduce the adhesion between tool and workpiece.

The appropriate standard index of the adhesion resistance was not found. Then, in our company, a simple sliding adhesion test is conducted by using a scrach testing machine shown in Fig 1. In this test, an aluminum alloy (AC2B) was used as a workpiece material. The number of times of linear reciprocal sliding for the adhesion occurrence was measured as the adhesion resistance.

เป็นต้น โดยสิ่งที่มาพร้อมกับการเปลี่ยนแปลงข้างต้นนี้ได้ส่งผลให้เกิดการเลือกวัสดุชิ้นงานเพื่อนำไปสู่การเลือกเครื่องมือในการสร้าง Hardmetal ดังนั้น การพัฒนาวัสดุเครื่องมือในเรื่อง Sliding Properties จะช่วยส่งผลในการลดการเกิดการยึดติดกันระหว่างชิ้นงานและเครื่องมือ

ในปัจจุบันยังไม่มีเกณฑ์ในการบ่งบอกตัวชี้วัดในการการป้องกันการยึดติดกันของชิ้นงาน ดังนั้นทางบริษัทจึงได้ทำการทดลองตัวอย่างการเกิด การยึดติดกันของชิ้นงานและเครื่องมือ โดยใช้วิธีการทดลองแบบ Scrach Testing Machine ซึ่งแสดงให้เห็นได้ในรูปที่ 1. ในการทดลองครั้งนี้กำหนดใช้ชิ้นงานซึ่งเป็นวัสดุประเภท Aluminum Alloy (AC2B) ในการทดลอง ซึ่งการวัดค่าความต้านทานในการยึดติดกันของวัสดุสามารถวัดได้จากจำนวนครั้งในการขัดถูไปกลับของวัสดุ

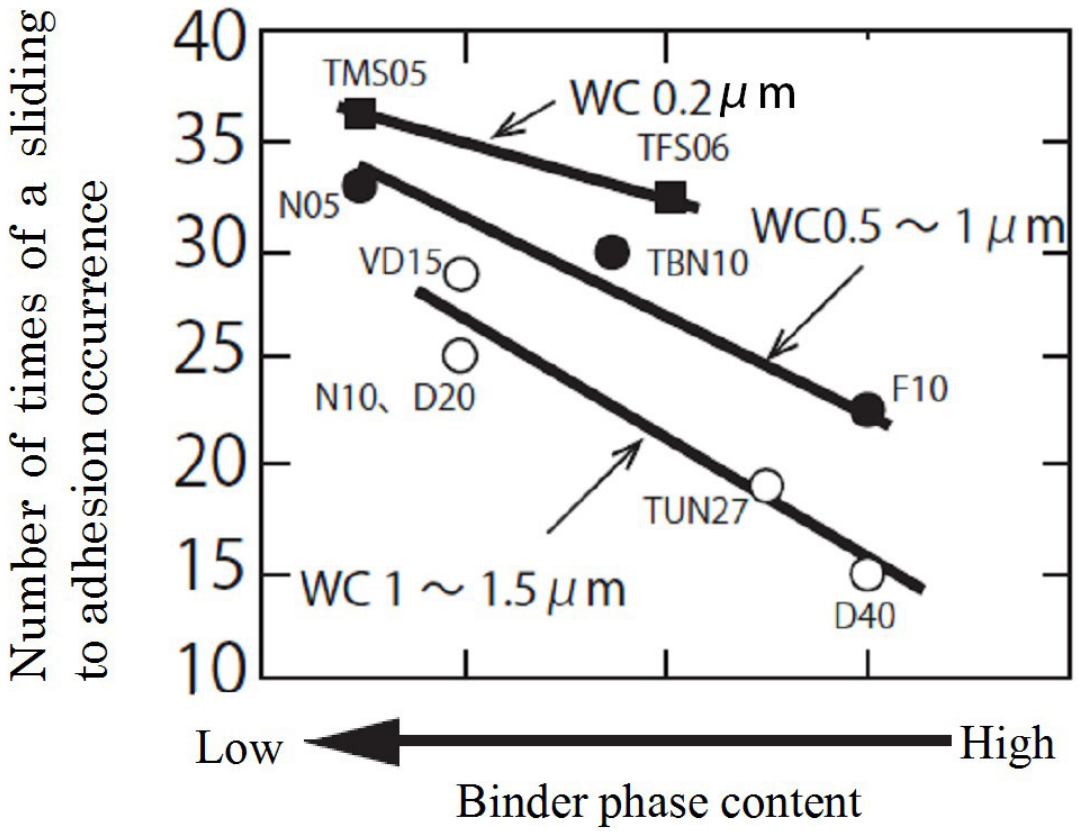



Fig 2. The influence of WC grain size and binder phase content of FUJILLOY hardmetals on the number of times of sliding to adhesion occurrence.

The effects of WC grain size and binder phase content of FUJILLOY hardmetals on the resistance are shown in Fig 2. FUJILLOY TFS06 and TMS05 having fine grain and low binder phase content showed an excellent adhesion resistance. This result was understood as follows, taking into consideration the observation result that the workpiece material sticked mainly to binder matrix phase and hardly to WC grain.

ซึ่งผลกระทบในการต้านทานการเกิดการติดกันของ WC Grain size และ Binder Phase Content ของ FUJILLOY Hardmetals จะแสดงให้เห็นได้ดังรูปที่ 2. FUJILLOY TFS06 และ TMS05 จะมี Grain ที่ละเอียดและการยึดเกาะกันที่ค่อนข้างน้อย ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่ดีเยี่ยมในการป้องกันการยึดติดกันของวัสดุ โดยที่สามารถเข้าใจผลการทดลองได้จากการได้พิจารณาและสังเกตวัสดุส่วนใหญ่ที่ติดกันซึ่งอยู่ในรูป Matrix Phase และแทบจะไม่เกิด WC Grain

(1) A part of binder phase chemically sticked to the workpiece material is removed from the surface of hardmetal, and thus the portion of binder phase becomes a concave.

(2) When the depth of concaved binder phase becomes large, the workpiece material is thrusted into the concave. The adhesion takes place when the depth of thrusted workpiece material becomes such large that the mechanical resistance of workpiece material to the sliding becomes large.

(3) The depth of thrusted workpiece material decreases with decreasing both depth and width of binder phase. The values of these two shape factors decrease with decreasing WC grain size and binder content and thus the adhesion tends not to occur with decreasing these two microstructural factors.

SEM micrographs of FUJILLOY TFS06 and TMS05 with an excellent sliding properties are shown in Fig 3, and those alloy properties are shown in Table 1. These materials have nano-grained microstructure which brings high hardness, high strength, high wear resistant and excellent sliding properties as well as excellent adhesion resistance. These alloys were developed by using our special technique. These FUJILLOY have obtained high evaluation from every industries.

(1) ในส่วนของช่วงการเกิด Binder Phase ในปฏิกิริยาทางเคมีของวัสดุ จะส่งผลให้เกิดการสูญเสียพื้นผิวของชิ้นงานและทำให้ส่วนหนึ่งของชิ้นงานจะเสียรูปในลักษณะเป็นหลุมเว้าขนาดเล็ก

(2) เมื่อชิ้นงานมีการเสียดสีกันจะส่งผลให้เกิดรอยรอยเว้าที่บริเวณพื้นผิวของชิ้นงานและรอยเว้าจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อมีการเสียดสีเพิ่มขึ้น

(3) ความลึกที่เกิดจากการเสียดสีของชิ้นงานจะลดลงโดยการลดขนาดความลึกและความกว้างของ Binding Phase และค่าความลึกและความกว้างนี้จะลดลงตามการลดลงของ Microstructural Factor จำนวน 2 ปัจจัยซึ่งได้แก่ ขนาดของ WC Grain size และ Binder Content และส่งผลให้การยึดติดกันของชิ้นงานในระหว่างการเสียดสีมีแนวโน้มที่จะไม่เกิดขึ้น

ผลการตรวจสอบทาง SEM Micrographs ของ FUJILLOY TFS06 และ TMS05 ได้บ่งบอกถึงคุณสมบัติที่ดีเยี่ยมในการไถลของวัตถุ ซึ่งแสดงให้เห็นได้ในรูปภาพที่ 3 และคุณสมบัติของโลหะผสมนั้นจะแสดงให้เห็นได้ในตารางที่ 1 โดยที่วัสดุเหล่านี้มีส่วนประกอบของ Nano-Grained Microstructure ซึ่งมีความแข็งที่ค่อนข้างสูง และมีการป้องกันการเกิดการสึกหรอ และง่ายต่อการไถลที่ดีเยี่ยม โลหะผสมเหล่านี้ถูกพัฒนาโดยใช้เทคนิคพิเศษจากบริษัท FUJILLOY ซึ่งมีผลการประเมินในระดับสูงในทุกๆอุตสาหกรรม

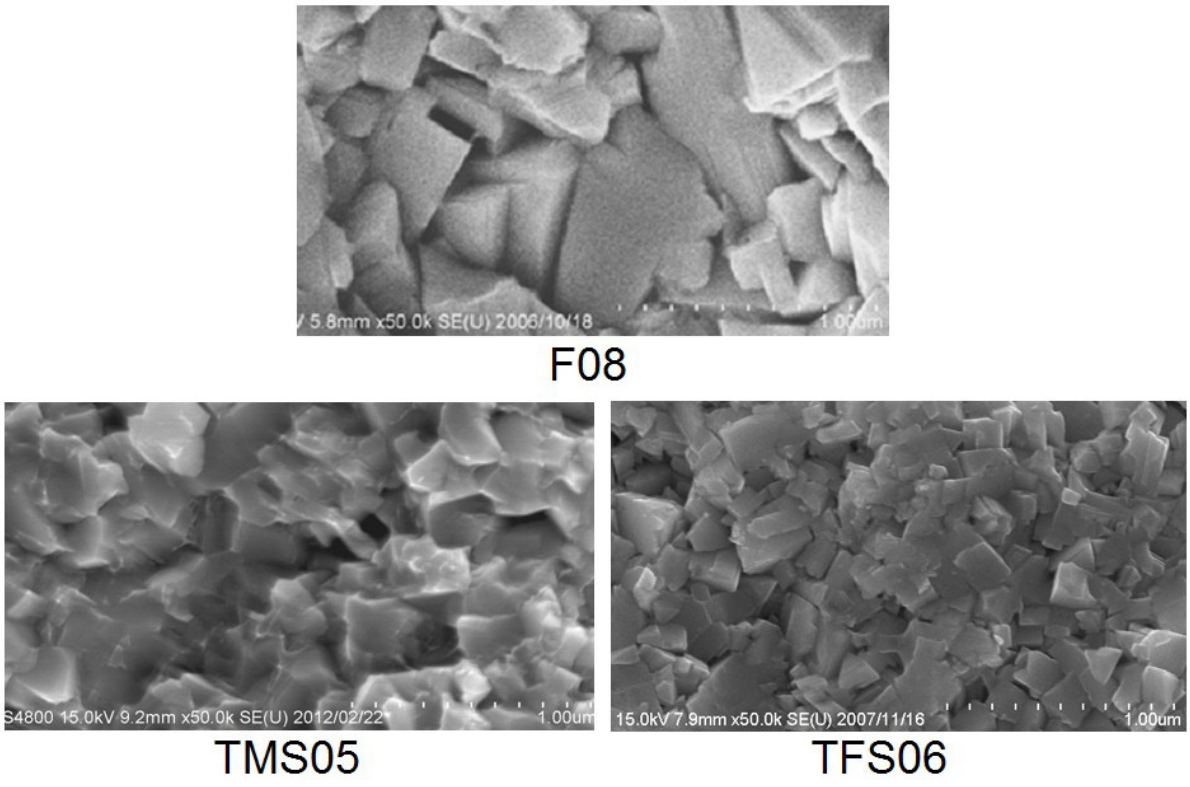



Fig 3. WC grain morphologies of Nano-Fine-Grained TFS06 and TMS05, and Ultra-Fine-Grained F08 of FUJILLOY hardmetals (SEM micrographs of fracture surface).

Table 1. WC grain size and mechanical properties of Nano-Fine-Grained TFS06 and TMS05, and Ultra-Fine-Grained F08 of FUJILLOY hardmetals.

| Grade | WC mean grain size ($\mu$m) | HV (294N) (GPa) | TRS (GPa) | Compressive strength (GPa) | Fructure toughness (MPa・$m^{1/2}$) | Young's modulus (GPa) | ASTM wear amount※ ($\times 10^{-5} cm^3$/rev) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| TFS06 | 0.2 | 21.0 | 4.2 | 6.9 | 4.9 | 575 | 0.1 |
| TMS05 | 0.2 | 21.5 | 3.1 | >8.0 | 4.2 | 610 | 0.17 |
| F08 | 0.5 | 18.5 | 4.0 | 6.4 | 5.2 | 560 | 1.1 |

※The method according to ASTM B611-76 (The alundum slurry was used as wear media.)

## 3. SLIDING PROPERTIES OF COATED HARDMETALS FOR PLASTIC WORKING

High wear-resistance and/or low friction coefficient material can be coated on the surface of hardmetal by coating processing methods such as CVD and PVD. By these coatings, the tool quality improvement which cannot be obtained only by varying the grain size and binder phase composition of hardmetal becomes possible. Among various coating films, DLC film coated by PVD or P-CVD are excellent in the sliding properties as compared with other hard films such as TiN, CrN, etc. DLC coating application to the tools for plastic working are increasing due to high smoothness of the surface of worked material and low aggression to the surface of workpiece material as well as high adhesion-resistance and low friction coefficient. Specifically to soft workpiece material such as aluminum alloys which is easy to adhere to hardmetal, DLC coating is especially valuable.

Fig 4 shows the result of sliding test by using ring-on disk type test equipment on a pair of aluminum alloy (A3003)/ hardmetal without or with our developed DLC coating. From this figure, it is clear that during lubricant-oil supplying, hardmetal without and with DLC coating have a relatively low and extremely low friction coefficient, respectively. However, after stopping oil-supplying, the friction coefficient of hardmetal without DLC coating rose rapidly, but the coefficient of hardmetal with DLC coating slightly decreased. This result suggested that DLC film itself have a good lubrication function2), differing from non-coated hardmetal in which the adhesion occurred af-

3. SLIDING PROPERTIES OF COATED HARDMETALS FOR PLASTIC WORKING

กระบวนการต้านการสึกหรอและลดสัมประสิทธิ์ความเสียดทานในวัสดุสามารถทำได้โดยการเคลือบพื้นผิวของ Hardmetal โดยหลักๆมีหลายกระบวนการในการเคลือบ เช่น CVD และ PVD ซึ่งในกระบวนการเคลือบพื้นผิว DLC Film ที่เกิดจากการเคลือบโดยใช้วิธีการ PVD หรือ P-CVD จะมีคุณสมบัติที่ดีที่สุดภายในกระบวนการไถล เมื่อเทียบกับกระบวนการที่เคลือบแบบอื่นอย่างเช่น TiN หรือ CrN เป็นต้น ซึ่งกระบวนการ DLC นี้เป็นส่วนหนึ่งในการใช้เพื่อเคลือบพื้นผิวอุปกรณ์ เนื่องจากสามารถเพิ่มความเรียบของชิ้นงานและลดการเสียหายของชิ้นงานได้อีกด้วย อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพในการป้องกันการสึกหรอแบบ Adhesion และยังมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ต่ำอีกด้วย

รูปที่ 4 แสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์ของกระบวนการ Sliding Test โดยใช้วิธีการ Pin-on-Disk โดยจับคู่วัสดุในการทดลองระหว่าง Aluminum Alloy (A3003)/Hardmetal ที่ทำการเคลือบด้วย DLC และไม่ทำการเคลือบ จากรูปนี้แสดงได้ชัดเจนว่า Hardmetal ที่ไม่ทำการเคลือบและทำการเคลือบด้วย DLC มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่น้อย และน้อยมากตามลำดับเมื่อมีการใช้สารหล่อลื่นในกระบวนการ แต่เมื่อปราศจากสารหล่อลื่นจะเกตุได้ว่าวัสดุ Hardmetal ที่ไม่ทำการเคลือบด้วย DLC มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของ วัสดุที่ทำการเคลือบมีค่าลดลงเล็กน้อย ซึ่งผลลัพธ์แสดงให้เห็นได้ว่า DLC Coating สามารถทำตัวเป็นสารหล่อลื่นได้ด้วยตัวเองจากการระเหยของความร้อนที่เกิดจากการเสียดทาน และสังเกตได้ภายหลังกระบวนการ

ter the lubricating oil's evaporation caused by frictional heat. This suggestion was confirmed by the observation of the sliding surfaces after the test, as shown in Fig 5.

ที่เกิดจากการเสียดทาน และสังเกตได้ภายหลังกระบวนการทดลอง สามารถแสดงให้เห็นได้ในรูปที่ 5

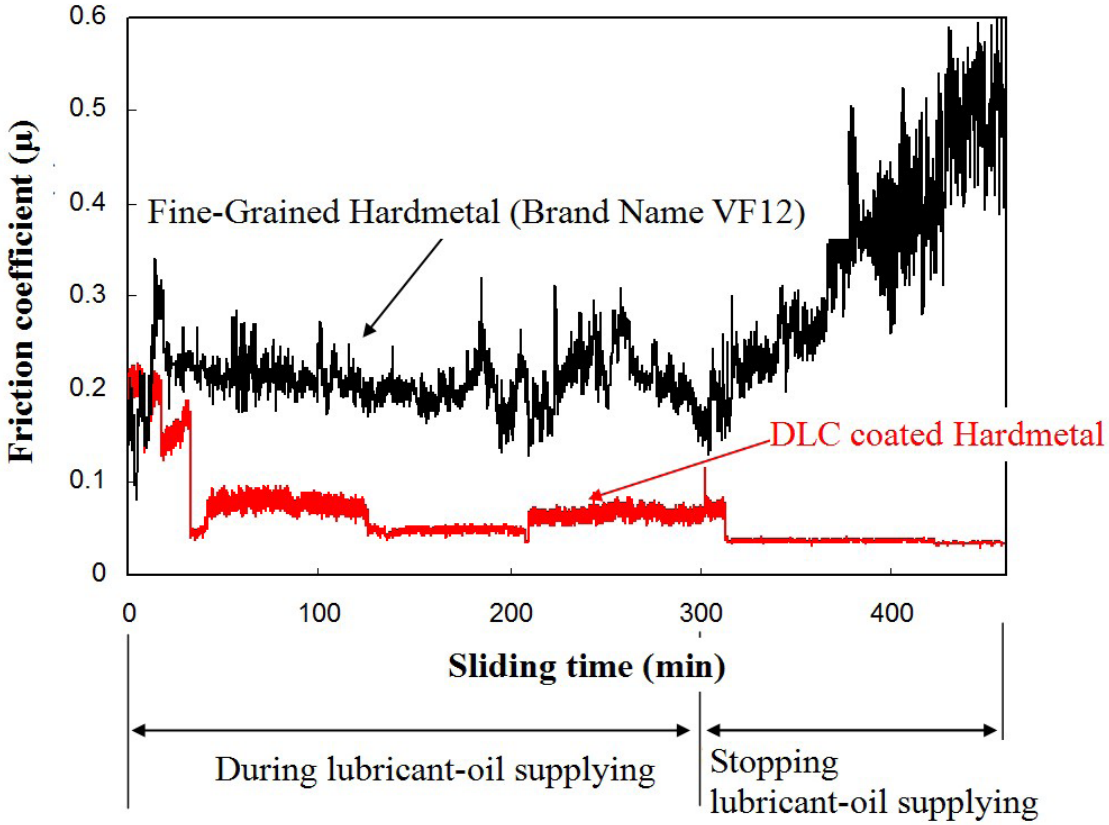



Fig 4. The sliding test result on two couples of aluminum alloy (A3003)/ hardmetals without and with our developed DLC coating by using ring-on disk type test equipment.

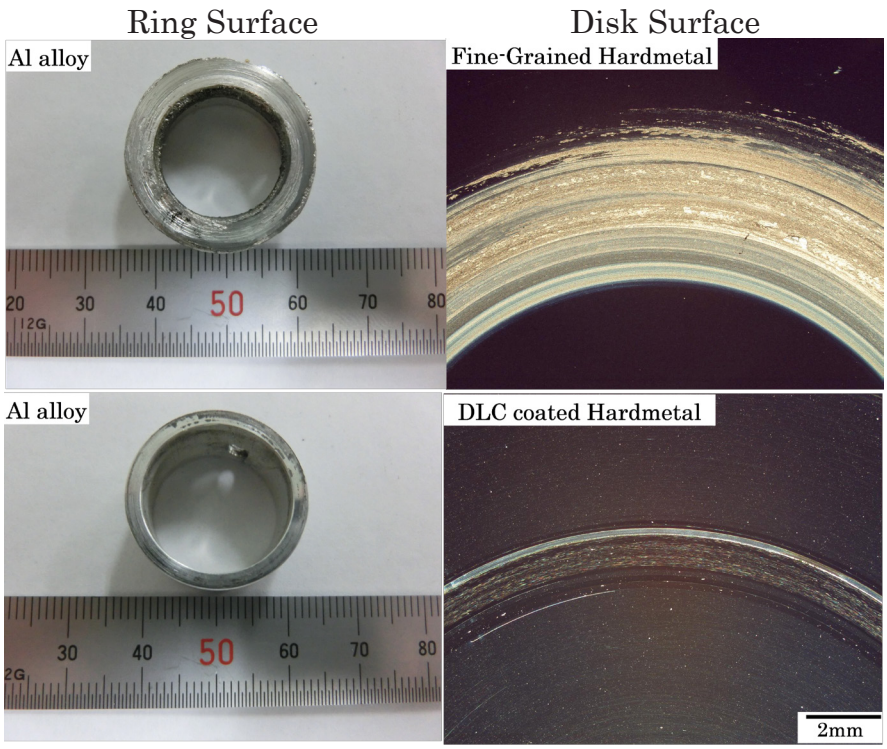



Fig 5. The appearance and optical micrograph of the sliding surface of the ring (shown in the left side) and disk (in the right side) after a sliding test. The rings are hardmetal without DLC film (the upper) and developed DLC film (the lower). These original shapes were the same. The upper was plastically deformed due to high frictional heat.

Focusing on this good lubrication effect of our developed DLC film, we observed the surface together with a conventional DLC film by 3-D image analyzer. These 3-D surface images are shown in Fig 6 and Fig 7, respectively. On the conventional film, there are many droplets, but on the developed film, there are not such large droplets. The investigation of the effect of the droplets showed that such droplets deteriorated the smoothness of workpiece surface and decreased the adhesion resistance. FUJILLOY tools and mold with this developed DLC film has obtained high evaluation from many industries, because of its superior adhesion-resistance as well as the surface smoothness of workpiece.

จากการโฟกัสที่สารหล่อลื่นที่เป็นผลกระทบที่เกิดจาก DLC Coating และสังเกตพื้นผิวของชั้นฟิล์ม โดยใช้ 3-D image analyzer ซึ่งแสดงให้เห็นในรูปที่ 6 และ 7 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าในฟิล์มปกติจะมีหยดมาก แต่จากฟิล์มที่ถูกพัฒนาจะไม่เห็นหยดเลย จากการตรวจสอบหยดที่มีพบว่าการมีหยดดังกล่าวจะทำให้ความเรียบของพื้นผิววัสดุนั้นหายไปและลดความต้านทานในการยึดติดพื้นผิว แม่พิมพ์ของ FUJILOOY ได้พัฒนา DLC ฟิล์มที่ได้รับการตอบรับเป็นอย่างดีจากหลายๆ อุตสาหกรรม เนื่องจากมีความต้านทานในการยึดติดพื้นผิวสูง และมีความเรียบของพื้นผิววัสดุสูง

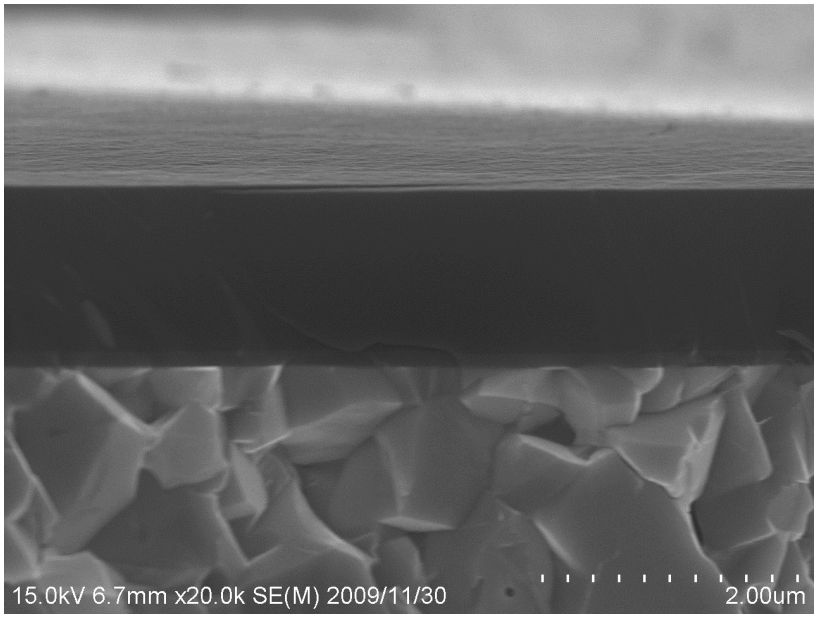
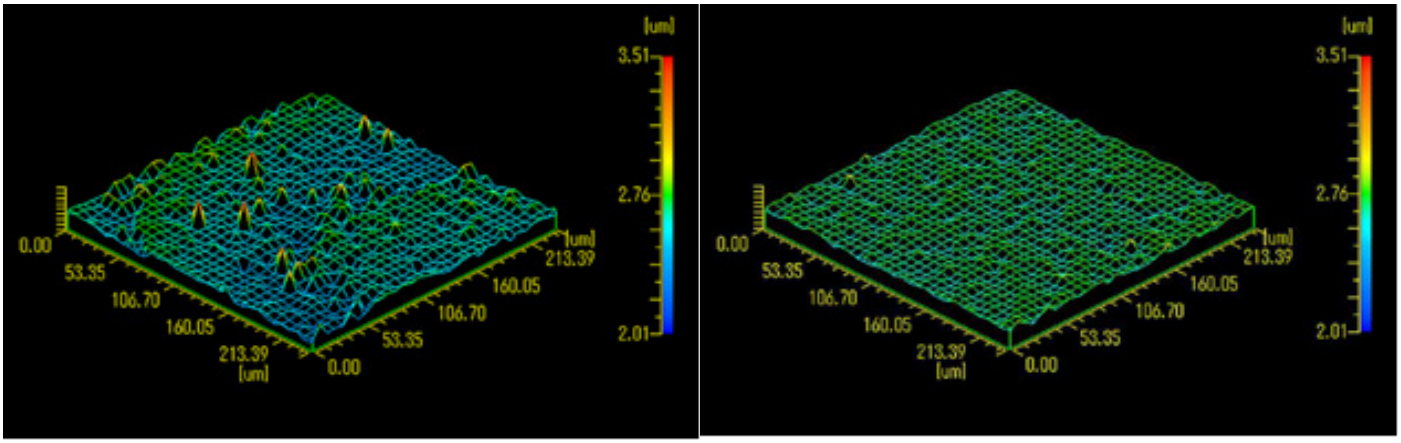



Fig 6. Fracture surface of our developed DLC film coated on FUJILLOY.




The surface of a conventional DLC film

The surface of a developed DLC film

Fig 7. The 3-D surface image of a conventional DLC film and a developed DLC film on FUJILLOY.

## 4. SELF-LUBRICATING METAL MATRIX COMPOSITE TERMED NF METAL

Self-lubricating materials are a generic name for composite materials which have a lubricating ability by itself without external in-situ supply of lubricating oil. This ability is realized by infiltrating lubricating oil into open pores of porous materials, or by combining solid lubricants such as molybdenum disulfide (MoS2), graphite and hexagonal boric nitride (h-BN) with metal, ceramic or polymer materials in its manufacturing process[3]).

Our company deals in self-lubricating metal matrix composites which are fabricated by combining tungsten disulfide (WS2), graphite and/or h-BN solid lubricant particles with metal powders by powder metallurgy process. We term the composites “NF metal (No Friction metal)”, by which various bearings are manufactured. Their examples are shown in Fig 8. These bearings are used under special environments such as vacuum, high temperature and in solution where lubricating oil and grease cannot be used.

An example of optical microstructure of NF metal is shown in Fig. 9. Dark-gray particles and white matrix in the figure are solid lubricant and metal, respectively. The particles are homogeneously dispersed in the composite. There is no gap between particles and matrix. This suggests that the particles are tightly held by the matrix. This suggestion was supported by the fact that the composite is able to maintain strength required for bearings.

## 4. SELF-LUBRICATING METAL MATRIX COMPOSITE TERMED NF METAL

Self-lubricating Materials เป็นชื่อปกติของสารประกอบวัสดุที่มีความสามารถในการเป็นสารหล่อลื่นในตัว โดยปราศจากแหล่งกำเนิดสารหล่อลื่นจากภายนอก โดยมักจะเกิดขึ้นกับวัสดุอย่างเช่น Molybdenum Disulfide (MoS2), Graphite and Hexagonal Boric Nitride (h-BN) with Metal, Ceramic หรือ Polymer Materials ภายในกระบวนการผลิต

โดยที่บริษัทของพวกเราได้นำเสนอ Self-Lubricating Metal Matrix Composite โดยใช้การผสมผสานกันระหว่างอนุภาคของ Tungsten Disulfide (WS2), Graphite และ/หรือ h-BN Solid Lubricant โดยเราให้นิยามการผสมกันนี้ว่า“NF Metal (No Friction Metal)” ซึ่งใช้ในการผลิตแบริ่งต่างๆในอุตสาหกรรมซึ่งแสดงให้เห็นได้ในรูปที่ 8 นี่คือแบริ่งที่ถูกใช้กับสภาพแวดล้อมที่เป็นสุญญากาศ อุณหภูมิที่สูง และสภาพแวดล้อมที่ไม่สามารถใช้จาระบีในระบบได้

จากการสังเกตตัวอย่างของ Microstructure ของ NF metal แสดงให้เห็นได้ในรูปที่ 9 อนุภาคสีขาว-เทา และ สีขาวคือ Solid Lubricant และ Metal ตามลับดับและเป็นเนื้อเดียวกัน และจากการทดลองสังเกตได้ว่าไม่เกิดช่องว่างภาคในตัวอนุภาคของการทดลอง ซึ่งเป็นเหตุปัจจัยที่สำคัญในการใช้ผลิตแบริ่งที่ต้องการความแข็งแรงสูง

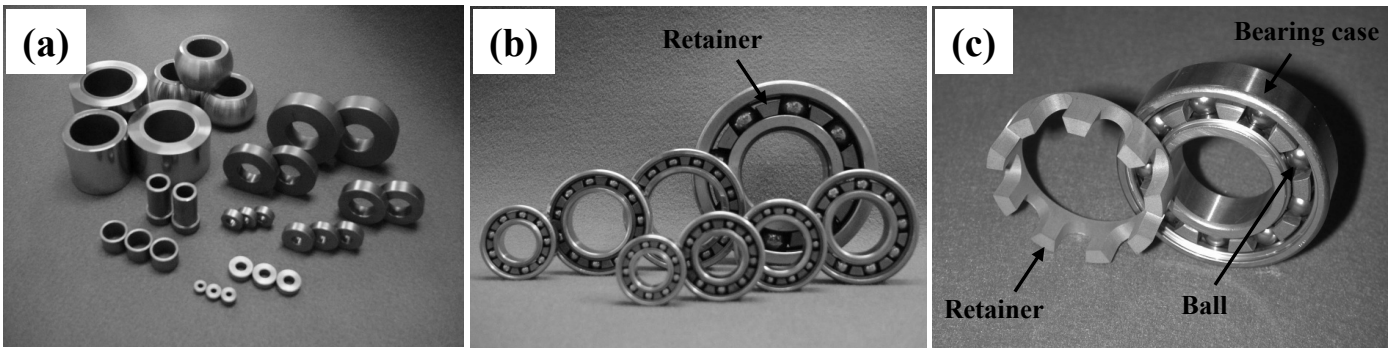



Fig 8. An example of bearings used under special environments such as vacuum, high temperature and in solution.
(a) Sliding bearings made of only NF metal.
(b) Rolling bearings set up with retainer of NF metal. Materials of bearing case and ball are both SUS440C.
(c) Magnified image of retainer made of NF metal.

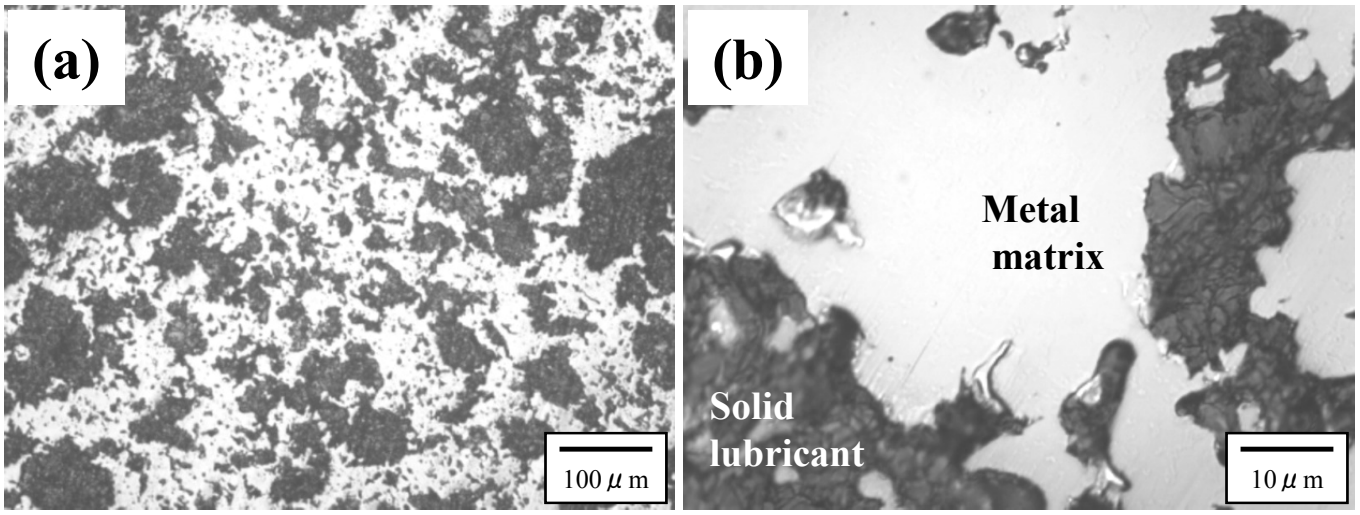



Fig 9. An example of optical microstructure of NF metal manufactured by combining solid lubricants particles with metal powders by powder metallurgy process. The composite is sintered at about 1273 K in vacuum. The dark gray particles and white matrix in the microstructure are solid lubricant and metal, respectively. (a) : ×100, (b) : ×1,000

Sliding mechanism of solid lubrication by NF metal is shown schematically in Fig. 10. When the composites slides on the surface of counter material, a part of solid lubricant particles near the surface of NF metal break away by shear stress operating on the sliding surface. The fragments adhere on the surface of counter material, and the surface is covered with solid lubricant films, as shown in Fig 10 (b) and its magnified figure (d). Thus, the composite and counter material are able to slide under low friction for a long time with little wear.

กลไกลการไถลของ Solid Lubrication โดย NF Metal แสดงให้เห็นได้ในรูปที่ 10 เมื่อ Composite เกิดการไถลและกระทบกับอีกพื้นผิว ชิ้นส่วนอนุภาคที่ใกล้กับพื้นผิวเกิดการแตกหักเนื่องจาก Shear Stress และเริ่มเปลี่ยนเป็น Solid Lubricant ดังแสดงให้เห็นได้ในรูปที่ 10 (b) และรูปขยายที่ (d) ดังนั้น พื้นผิวของ Composite และพื้นผิวที่กระทบกัน จะสามารถไถลด้วยแรงเสียดทานและการสึกหรอที่ต่ำ

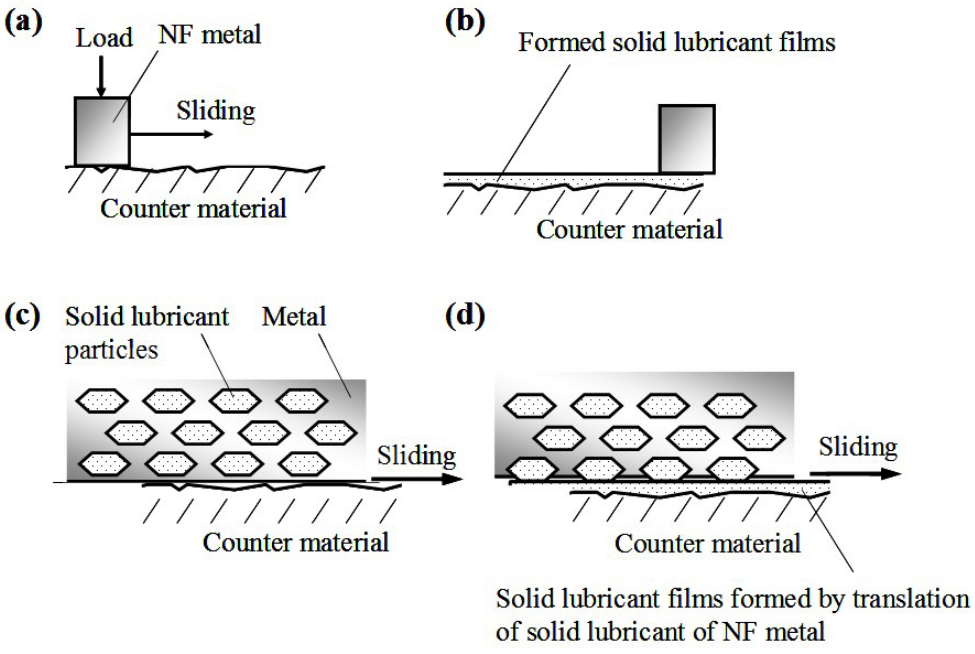



Fig 10. Schematic diagrams of low friction sliding mechanism in using NF metal.
(a) Surface of counter material before sliding NF metal.
(b) Surface of counter material after sliding NF metal.
(c) Magnified image of sliding surface of (a).
(d) Magnified image of sliding surface of (b).
Low friction sliding by using NF metal is due to the adherence of solid lubricant of NF metal to the surface of counter.

Our company deals in the following 3 types of NF metal which are classified according to usable temperature and atmosphere. Namely, there are $WS_2$ / W composite which is recommended for the use up to 1073 K in vacuum, (graphite+h-BN) / Ni composite which is recommended for the use up to 873 K in air, and (WS2+graphite) / Cu composite which is recommended for the use up to 473 K in vacuum and air. An example of sliding properties of these three kinds of composites at 873 K in air is shown in Fig 11. The friction coefficient for (graphite+h-BN) / Ni composite was as low as about 0.1 from start to finish. On the other hand, the friction coefficient of $WS_2$ / W and ($WS_2$+graphite) / Cu composites rapidly increased with sliding time or distance, probably caused by the low oxidation resistance of $WS_2$ and/or W. Therefore, it is very important to select the component of solid lubricants taking into consideration the environments.

บริษัทของเราได้ใช้ NF Metal 3 ชนิด โดยแบ่งตามอุณหภูมิที่ใช้และบรรยากาศ กล่าวคือ มี $WS_2$/W Composite ที่ได้มีการแนะนำให้ใช้สำหรับอุณหภูมิ 1073 K ในสุญญากาศ (Graphite+h-BN)/Ni Composite ได้มีการแนะนำให้ใช้ที่อุณหภูมิ 873 K ในอากาศ และ (WS2+Graphite)/Cu Compostite ถูกแนะนำให้ใช้ที่ 473 K ในสุญญากาศและอากาศ ตัวอย่างของคุณสมบัติในการไถลของ Composite ทั้ง 3 ชนิดนี้นั้นแสดงให้เห็นในรูปที่ 11 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของ (Graphite+h-BN)/Ni Composite นั้นมีค่าต่ำประมาณ 0.1 ตั้งแต่เริ่มต้นจนจบการไถล ในทางตรงกันข้าม ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของ $WS_2$/W Composite และ (WS2+Graphite)/Cu Compostite นั้นเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วตามเวลาและระยะการไถล สาเหตุอาจเนื่องมาจากความต้านทานในการ Oxidation ที่ต่ำของ $WS_2$ หรือ W ดังนั้นมันจึงมีความสำคัญมากในการเลือกส่วนประกอบของ Solid Lubricants ในการพิจารณาถึงสิ่งแวดล้อม

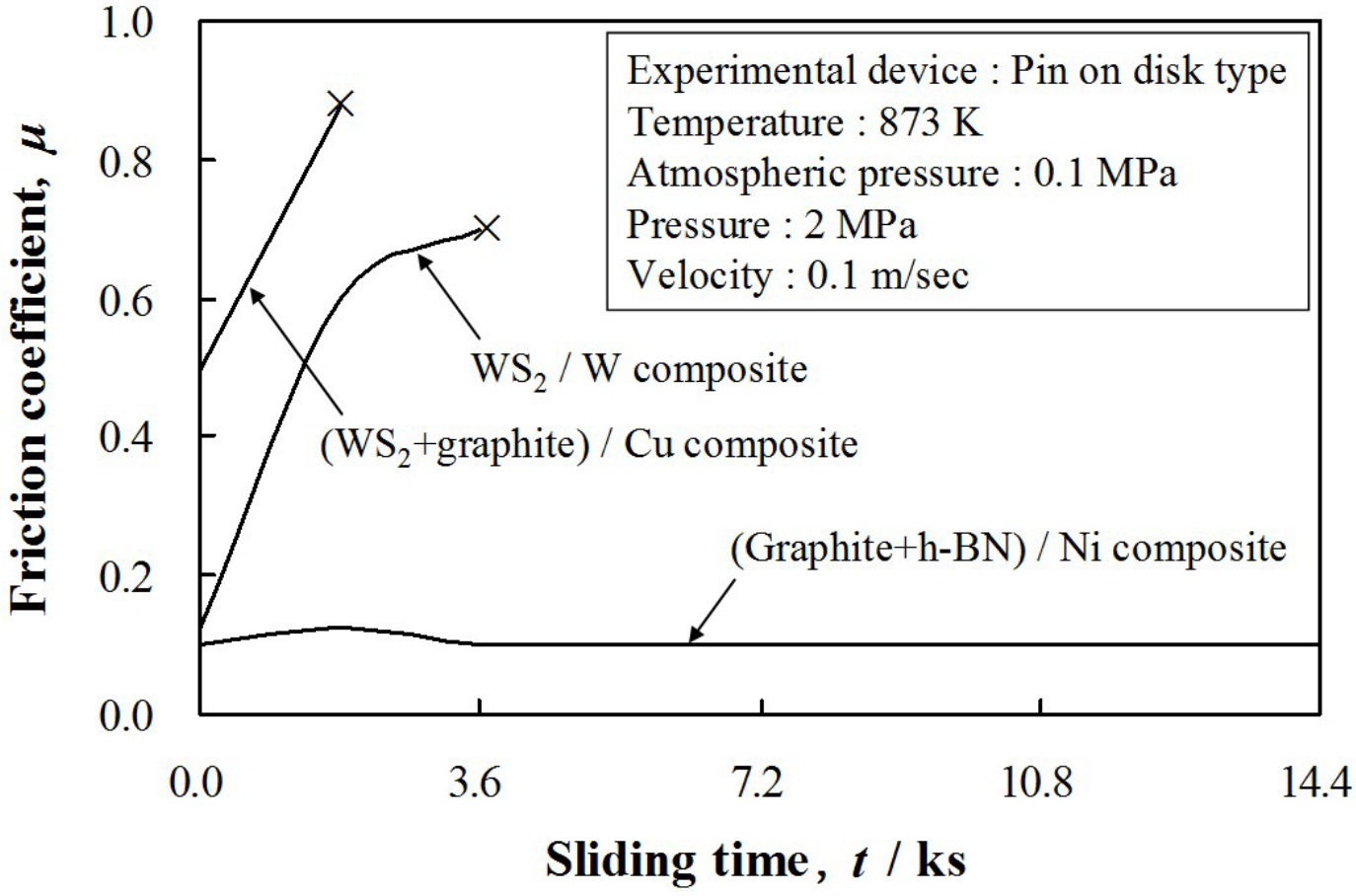



Fig 11. Relation between friction coefficient and sliding time on 3 types of NF metal at 873 K in air.

## 5. EXAMPLE OF APPLICATION OF NF METAL UNDER SPECIAL ENVIRONMENTS

NF metal is used as the bearing used in vapor deposition apparatuses, heat-treatment furnaces for carrying glass plate, and machines for producing foods, etc.

An example of machine for processing foods where NF metal sliding bearings are set up is shown in Fig 12. The machine is used for injecting salt water into meats which hesitate lubricating oil. In the past, the bearings made of polymer materials has been used, and the operating life of the bearings was 2-3 months. However, the operating life could be extended to one year by using the bearing made of NF metal.

## 5. EXAMPLE OF APPLICATION OF NF METAL UNDER SPECIAL ENVIRONMENTS

NF Metal นั้นถูกใช้เหมือนกับการใช้แบริ่งในการทดสอบ Vapor Deposition, Heat-Treatment Furnaces for Carrying Glass Plate และ Machines for Producing Foods และอื่นๆ

ตัวอย่างของ Machines for Processing Foods โดยใช้ NF Metal Sliding Bearings นั้นแสดงในรูปที่ 12 โดยเครื่องจักรกลที่ใช้นั้นจะใส่น้ำเกลือลงไปในเนื้อที่ไม่ต้องการน้ำมันหล่อลื่น ในอดีตนั้นแบริ่งจะทำมาจากวัสดุโพลิเมอร์ แต่จะมีอายุการใช้งานเพียงแค่เวลา 2-3 เดือน อย่างไรก็ตามอายุการใช้งานนั้นเพิ่มขึ้นไปอีก 1 ปีหลังจากการใช้แบริ่งที่ทำมาจาก NF Metal

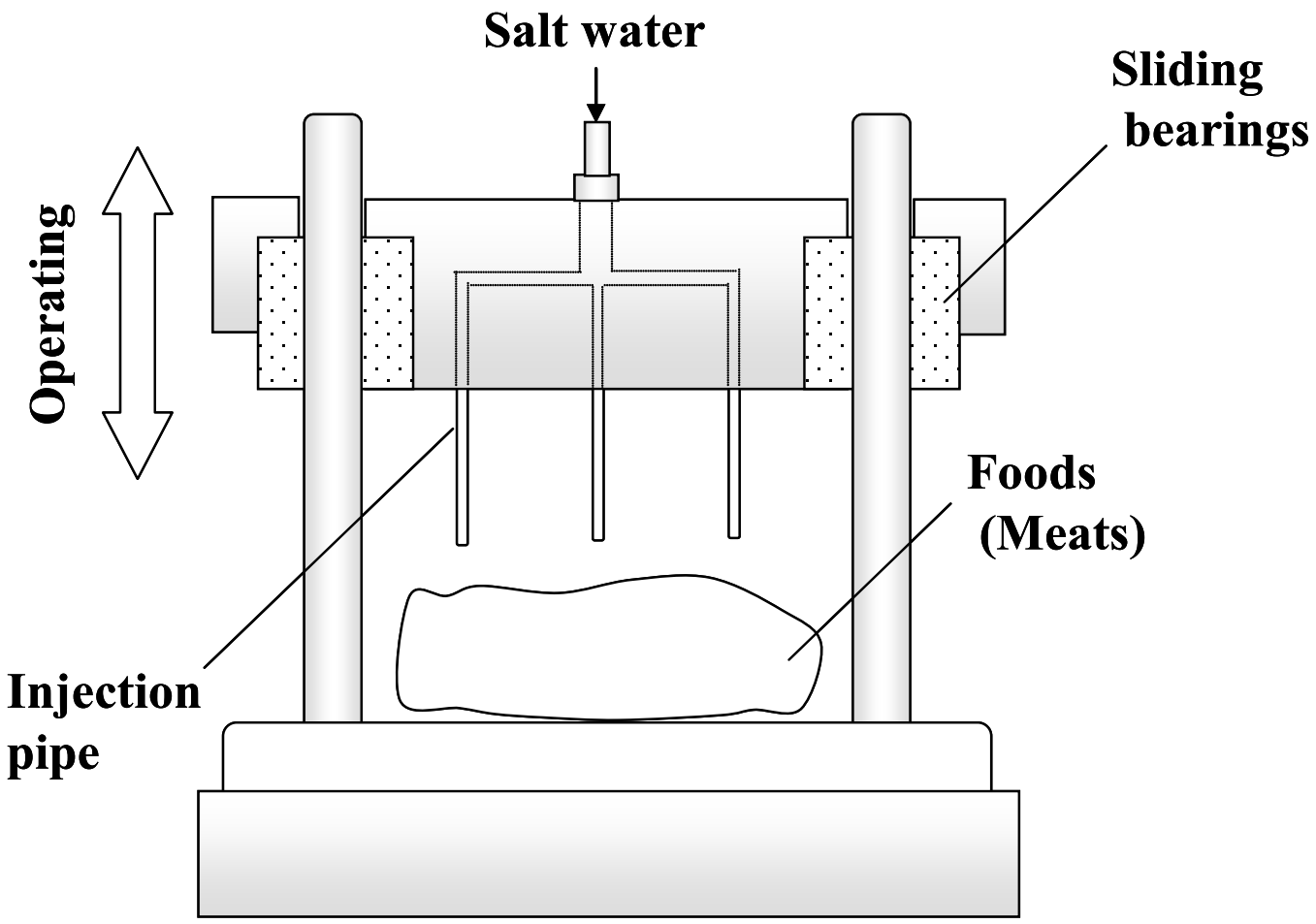



Fig 12. An example of application of sliding bearings made of NF metal to machine for processing foods

## 6. CONCLUSION

In this paper, we introduced our products mainly relating to tribology. These products are developed by designing material or film by responding to various requests of customers in various industries and have obtained high evaluation. We look forward to customers' continued collaboration on our future development of new materials and tools, and would like to contribute to mutual development.

## 6. สรุป

ในบทความนี้ เราได้ทำการกล่าวถึงผลผลิตของพวกเรา ซึ่งเกี่ยวข้องในเรื่องของ Tribology และพัฒนาโดยการออกแบบวัสดุและชั้นฟิล์ม จากความต้องการของลูกค้าในอุตสาหกรรมและได้รับการประเมินที่ค่อนข้างสูง พวกเรามองไปข้างหน้าเพื่อสร้างความร่วมมืออย่างต่อเนื่องกับลูกค้า และการพัฒนาวัสดุและเครื่องมือชนิดใหม่ๆในอนาคตร่วมกัน

## REFERENCES

1. M. Kawakami: "Development and applications of sub-micro grained hard-metals", SOKIZAI, 52(2011)28-32.
2. H. Saito: "Handbook of diamond-like carbon films", NTS, Tokyo, (2006)25-36.
3. Japanese Society of Tribologists: "Handbook of solid lubricant", Yokendo Co., Ltd, (2010)91-95.