# การศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุฟิล์มแข็งเคลือบผิวในการเพิ่มความแข็งแรงของแผ่นเหล็กในเสื้อเกราะกันกระสุน

# The Study of Hard-Thin Film Coating' Efficiency Enhance the Strength of Steel Plate in Bulletproof Vest.

**ธรรม์ณชาติ วันแต่ง**[1]

**Tannachart Wantang**[1]

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพความแข็งแรงของแผ่นเหล็ก ในเสื้อเกราะกันกระสุน โดยทำการเคลือบผิวฟิล์มแข็งชนิดต่างๆ เพื่อให้มีน้ำหนักเบา บาง และมีประสิทธิภาพสูง สามารถหยุดการทะลุของกระสุนได้ดี โดยการทดลองด้วยกระสุนปืนจริงตามมาตรฐาน NIJ Standard-0101.06 ระดับ II ใช้กระสุนขนาด 9 มม. (FMJ RN) หัวกระสุนแกนตะกั่วหุ้มโลหะแข็งรูปทรงมนกลม การจัดทำเสื้อเกราะประกอบด้วยชุดเสื้อนอก, ส่วนยึดรั้งและแผ่นรับแรงกระแทก ทำการทดสอบที่ชุดเสื้อนอกโดยทดลองใช้แผ่นเหล็กกล้าทดสอบ 3 ปัจจัย คือ 1. แผ่นเหล็กกล้า S50C หนา 3 มม. ชุบผิวแข็งด้วยเปลวไฟ ขนาด 220 x 250 มม. ชิ้นที่ 2 เคลือบผิวฟิล์มแข็ง TiC ด้วยกรรมวิธี CVD ความหนาฟิล์มแข็ง 10 $\mu m$ บนวัสดุ K100 หนา 1.75 มม. ขนาด 150 x 150 มม. ชิ้นที่ 3 เคลือบผิวฟิล์มแข็ง TiCN กรรมวิธี CVD ความหนาฟิล์มแข็ง 10 $\mu m$ บนชิ้นงาน K100 หนา 1.75 มม. ขนาด 150 x 150 มม. จากผลการทดลองพบว่าเหล็กกล้าที่ทำการเคลือบผิวฟิล์มแข็ง TiC และ TiCN ไม่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพความแข็งแรงของแผ่นเหล็กในเสื้อเกราะกันกระสุนได้ เนื่องจากวัสดุทั้งสองมีค่าความแข็งผิวที่สูงมากกว่าเหล็กถึง 12 เท่า จึงเกิดการแตกของแผ่นเหล็กเมื่อเกิดการชนปะทะของกระสุน ส่วนแผ่นเหล็กกล้า S50C ที่หนา 3 มม. สามารถหยุดการทะลุของกระสุนได้ ซึ่งเป็นผลจากการใช้เปลวไฟเพิ่มความแข็งผิวเหล็กตามกระบวนการทางความร้อนพื้นฐาน จากผลการทดลองแผ่นเหล็กกล้า S50C จะเกิดค่าแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ (Back Face Signature) อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ มีค่าเท่ากับ 7.02 มม.

**คำสำคัญ :** การเคลือบผิวฟิล์มแข็ง ; เสื้อเกราะกันกระสุน ; ไททาเนียมคาร์ไบด์ (TiC) ; ไททาเนียมคาร์โบไนไตร (TiCN) ; กรรมวิธีการเคลือบผิวด้วยไอเคมี (CVD) ; แบล็คเฟซซิกเนเจอร์

## Abstract

The purpose of this research is to improve the efficiency of steel plate in bulletproof vest focusing on hard-thin film coated. The main objective of this work is to decrease weight and various kinds of hard-thin-coated films. The efficiency of each type is evaluated by the

---

[1]สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (เทคโนโลยีการผลิต) คณะเทคโนโลยีการเกษตร
E-mail : tannachart@Gmail.com"

ability to reduce bulletproof and impact resistant. The experiments of bullet by United States National Institute of Justice NIJ Standard-0101.06. Type II 9 mm. Full Metal Jacketed Round Nose (FMJ RN) bullets. The bullet proof vest has outside shell carrier , Fastening System and ballistic panel. In the outside shell carrier has two plate. First the experiments is the S50C of 3 mm. thin. The second is TiC film by chemical vapour deposition (CVD) on substrata K100 of 1.75 mm. thin and The third is by chemical vapour deposition. Results showed that TiCN and TiN film exhibits not increase hardness of Steel Plate in Bullet proof Vest. Because of the high hardness therefore much like brittle materials. Is the fracture of the steel plate when the strike of the bullet. The results had shown the steel plate S50C of 3 mm. thin exhibits flame hardening increases surface hardness and impact resistance from the bullet. The steel plate S50C had the back face signature in the range of acceptable at 7.02 mm.

**Keywords :** Hard-Thin Film Coating ; Bulletproof vest ; Titanium Carbide (TiC) ; Titanium Carbonitride (TiCN) ; Chemical Vapour Deposition (CVD) ; Back face signature

## บทนำ

จากการปฏิบัติหน้าที่ของเจ้าหน้าที่ทหารและตำรวจในพื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้ หรือในพื้นที่อื่นๆ ที่มีความเสี่ยง มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องรักษาชีวิตของบุคลากรเหล่านี้หรือลดความรุนแรงจากเหตุการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้น ความระมัดระวังบวกกับอุปกรณ์ป้องกันตัวส่วนบุคคลจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่งพอๆกัน เสื้อเกราะกันกระสุนเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยในการป้องกันชีวิตและลดระดับความรุนแรงจากกระสุนปืนหรือสิ่งทำอันตรายอื่นๆ ได้ ส่วนประกอบของเสื้อเกราะจะประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ เสื้อนอก เป็นส่วนที่ใช้สำหรับรับแรงกระแทก อาจจะมีส่วนที่ใช้แผ่นเหล็กหรือเซรามิกเพื่อเพิ่มความสามารถในการรับแรงกระแทก ส่วนที่สองเรียกว่าส่วนยึดรั้งใช้ยึดเสื้อเกราะกับร่างกายทำให้เกิดความกระชับ และส่วนที่สามแผ่นรับแรงกระแทกลักษณะเป็นใยทอจากใยสังเคราะห์ เมื่อถูกแรงกระแทกจะเกิดการยืดตัวช่วยดูดซับพลังงานเพื่อลดความเร็วของกระสุนที่ผ่านเข้ามา เสื้อเกราะกันกระสุนส่วนใหญ่ที่ใช้กันในปัจจุบันมีดังนี้ เสื้อเกราะกันกระสุนจากเส้นใยสังเคราะห์อะรามิดหรือเคฟล่าร์ สามารถคงรูปได้ดี น้ำหนักเบา ดูดซับพลังงานจากกระสุนและลดการเกิดอาการฟกช้ำได้ดี (Blunt Trauma) อายุการใช้งานประมาณ 5 ปี ส่วนเสื้อเกราะกันกระสุนใช้แผ่นเซรามิกเป็นแผ่นรับแรงกระแทกมีคุณภาพดีแต่อาจเกิดการแตกเสียหายที่แผ่นเซรามิกได้ ด้านเสื้อเกราะกันกระสุนจากฝีมือคนไทยประกอบด้วยเสื้อเกราะกันกระสุนจากเส้นใยไนลอน 66 และเส้นใยโพลีเอสเตอร์ จะป้องกันกระสุนในระดับ 2A เสื้อเกราะกันกระสุนพระเจ้าตากใช้แผ่นฟิล์มเซลลูลอยด์หรือฟิล์มเอกซเรย์ ประมาณ 200 แผ่น นำมาอัดกันจนแน่นแล้วสอดไว้ตัวเสื้อทั้งด้านหน้าและด้านหลัง ผลของการทดสอบอยู่ในระดับ 2A น้ำหนักเบาประมาณ 4 กก. จากปกติทั่วไป 8-10 กก. ต่อมาเสื้อเกราะกันกระสุนบางระจันใช้แผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304 และแผ่นอะลูมิเนียม สามารถป้องกันกระสุนในระดับ 3A และเสื้อเกราะกันกระสุนคุณภาพสูงจากแผ่นเซรามิกและแผ่นโพลิเมอร์ HDPE การทดสอบได้มาตรฐานระดับ 3 จากข้อมูลข้างต้นการใช้วัสดุประเภทใยสังเคราะห์มาผลิตเสื้อเกราะจะให้ประสิทธิภาพที่ดีแต่ยังคงมีราคาที่สูง ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำเหล็กที่มีราคาถูกกว่า มาปรับปรุงผิวเหล็กโดยใช้ความรู้ด้านไตรบอโลยี่เพื่อเพิ่มความแข็งแรงที่สูงขึ้นทั้งที่มีน้ำหนักใกล้เคียงเดิม ประกอบกับการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเคลือบผิวฟิล์มแข็ง TiC และฟิล์มแข็ง TiCN ด้วยกรรมวิธีการเคลือบผิวด้วยไอเคมี (Chemical Vapour

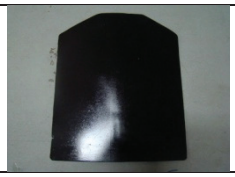
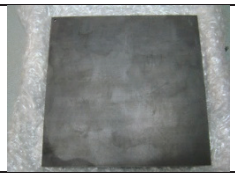
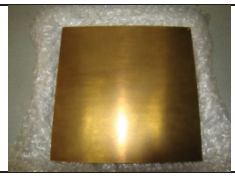
Deposition, CVD) จะมีคุณสมบัติด้านความแข็งที่สูงและต้านทานการสึกหรอที่ดี [2][3][4][5][6] เพราะใช้ปฏิกิริยาทางเคมีของสารในสถานะที่เป็นไอแก๊สทำปฏิกิริยาแพร่เข้าในเนื้อวัสดุพื้น ภายใต้ความร้อนสูงการยึดเกาะของชั้นฟิล์มกับผิววัสดุจึงมีความแข็งแรงสูงและต้านทานการสึกหรอได้ดี งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาประสิทธิภาพความแข็งแรงของแผ่นเหล็กในเสื้อเกราะกันกระสุนด้วยการศึกษาฟิล์มแข็ง Tic และ TiCN เพื่อลดการทะลุทะลวงของคมกระสุน โดยอ้างอิงข้อมูลจากเสื้อเกราะบางระจัน เพื่อจะรวบรวมและเก็บข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างอิทธิพลของฟิล์มแข็งเคลือบผิวที่ส่งผลต่อความแข็งผิวและลดการทะลุทะลวงของคมกระสุน เพื่อเป็นแนวทางในการเพิ่มความปลอดภัยของเจ้าหน้าที่ทหารและตำรวจที่ปฏิบัติหน้าที่เสี่ยงต่อการทะลุทะลวงของคมกระสุน

## วิธีการดำเนินการวิจัย

จัดทำเสื้อเกราะกันกระสุน จำนวน 3 ตัว เพื่อทดสอบด้วยกระสุนปืนจริงตามมาตรฐาน NIJ Standard-0101.06 [9] แต่ละตัวประกอบด้วย ชุดเสื้อนอก (Outside Shell Carrier) เป็นส่วนที่ใส่แผ่นเหล็กที่ใช้ในการทดสอบ, ส่วนยึดรั้ง (Fastening Sys-tem) และแผ่นรับแรงกระแทก (Ballistic Panel) จัดทำแผ่นเหล็กกล้าที่ใช้ทดสอบเพื่อใส่ประกอบในส่วนของชุดเสื้อนอก แผ่นเหล็กกล้าที่ใช้ในการทดสอบ 3 ชนิด (3 ปัจจัย) และทดสอบความแข็งผิว การเตรียมแผ่นเหล็กกล้าที่ใช้ในการทดสอบ แผ่นที่ 1 แผ่นเหล็ก S50C หนา 3 มม. จะทำการขึ้นรูปแผ่นเหล็กให้ได้รัศมีความโค้งจากศูนย์กลาง 500 มม. เพื่อให้ได้ความโค้งกระชับกับลำตัว นำเหล็กไปผ่านกรรมวิธีทางความร้อน (Heat Treatments) เพื่อเพิ่มปริมาณคาร์บอนและความแข็งที่ผิว ใช้กระบวนการชุบผิวแข็งโดยใช้เปลวไฟให้ความร้อน (Flame Hardening) ด้วยแก๊ซอซิทลีนที่ความร้อนสูงกว่าอุณหภูมิวิกฤตเหล็กแล้วให้เกิดการเย็นตัวอย่างรวดเร็วเพื่อทำการชุบแข็งเฉพาะผิว ส่วนชิ้นทดสอบที่ 2 ทำการเคลือบผิวฟิล์มแข็ง TiC และชิ้นทดสอบที่ 3 ทำการเคลือบผิวฟิล์มแข็ง TiCN

**ภาพที่ 1** เสื้อเกราะกันกระสุนที่ออกแบบสำหรับใช้งานจริงและใช้ในงานทดสอบ

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

| ชนิด / คุณสมบัติ | ชิ้นทดสอบที่ 1 เหล็กกล้า S50C | ชิ้นทดสอบที่ 2 เหล็กกล้า K110 | ชิ้นทดสอบที่ 3 เหล็กกล้า K110 |
|---|---|---|---|
| กรรมวิธีการเพิ่มความแข็ง | ชุบผิวด้วยเปลวไฟ | เคลือบผิว TiC | เคลือบผิว TiCN |
| กรรมวิธีการเคลือบผิว | บรรยากาศปกติ | CVD | CVD |
| ความหนาฟิล์มแข็ง | - | $\approx 10\ \mu m$ | $\approx 10\ \mu m$ |
| Vickers Micro-hardness (HV) | 240 | 3600-4000 | 2800-3000 |
| ความหนา (มม.) | 3 | 1.75 | 1.75 |
| ขนาด (มม.) | 230 x 270 | 150 x 150 | 150 x 150 |
| น้ำหนักรวม (กก.) | 3.5 | 2.5 | 2.5 |
| รูปภาพชิ้นงานทดสอบ |  |  |  |

ตารางที่ 2 ออกแบบการทดลองด้วยกระสุนปืนจริงตามมาตรฐาน NIJ Standard-0101.06 [9]

| ระดับ | ระยะยิง | ลำดับการยิง | องศาการยิง | จำนวน | หมายเหตุ |
|---|---|---|---|---|---|
| II | 5 เมตร | 1.<br>2.<br>3.<br>4. | 0 องศา<br>30 องศา<br>- 30 องศา<br>0 องศา | 3 นัด<br>1 นัด<br>1 นัด<br>1 นัด | รวม 6 นัด |

ตารางที่ 3 ทำการทดลองด้วยกระสุนปืนตามมาตรฐาน NIJ Standard-0101.06 [9]

| ระดับ | กระสุนขนาด | น้ำหนักหัวกระสุน (กรัม) | น้ำหนักหัวกระสุน (เกรน) | Velocities (m/s) (±9.1m/s) | Velocities (fp/s) (±30fp/s) |
|---|---|---|---|---|---|
| II | 9 mm (FMJ RN) | 8 g | 124 gr | 379 m/s | 1245 ft/s |
| | 9 mm (FMJ RN) | 8 g | 124 gr | 398 m/s | 1305 ft/s |
| | .357 Magnum (Lead) | 10.2 g | 158 gr | 408 m/s | 1340 ft/s |
| | .357 Magnum (Lead) | 10.2 g | 158 gr | 436 m/s | 1430 ft/s |

การทดลองจะขอความอนุเคราะห์ใช้สนามยิงปืนกับผู้บัญชาการกองพลทหารม้าที่ 1 ค่ายพ่อขุนผาเมือง อ.เมือง จ.เพชรบูรณ์ (หนังสือราชการที่ ศธ. 0539/42) การทดสอบจะทำการจัดเตรียมอาวุธปืนและเครื่องกระสุนตามมาตรฐาน NIJ Standard-0101.06 ระดับ II (จากทั้งหมด 5 ระดับ) ใช้ขนาดกระสุน 9 มม. (FMJ RN) น้ำหนักหัวกระสุน 124 เกรน (8 กรัม) ความเร็ว 379 - 398 m/s (๓9.1 m/s) ระยะยิง 5 เมตร จำนวนรวม 6 นัด ลำดับการยิงที่ 1. มุม 0 องศา จำนวน 3 นัด ลำดับที่ 2 มุม 30 องศา จำนวน 1 นัด ลำดับที่ 3 มุม -30 องศา จำนวน 1 นัด ลำดับที่ 4 กลับมาที่มุม 0 องศา จำนวน 1 นัด บันทึกภาพถ่ายลักษณะทางกายภาพและตรวจวัดแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ (Back Face Signature)

## ผลการทดลอง

จากผลการทดลอง แผ่นเหล็ก K110 หนา 1.75 มม. ขนาด 150 x 150 มม. ที่ทำการเคลือบผิวฟิล์มแข็ง TiC และ TiCN ไม่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพความแข็งแรงของแผ่นเหล็กในเสื้อเกราะกันกระสุนได้ เมื่อทำการทดสอบยิงด้วยกระสุน 9 มม. (FMJ RN) ในระดับ II มาตรฐานการทดลอง NIJ Standard-0101.06 แผ่นเหล็กกล้า ที่ทำการเคลือบผิวฟิล์มแข็ง TiC และ TiCN จะเกิดการแตกและไม่สามารถหยุดการทะลุของกระสุนได้ สาเหตุการแตกของแผ่นเหล็กที่ทำการเคลือบผิวฟิล์มแข็ง TiC และ TiCN อาจเนื่องมาจากค่าความแข็งที่สูงมากของผิวฟิล์มแข็ง TiC ค่าความแข็ง 3600 HV และฟิล์มแข็ง ค่าความแข็ง TiCN 2800 HV ส่วนเหล็ก S50C ค่าความแข็ง 240 HV ซึ่งจะเห็นได้ว่าฟิล์มแข็ง TiC และ TiCN มีค่าความแข็งมากกว่าเหล็กธรรมดาประมาณ 12 เท่า จึงเป็นลักษณะวัสดุที่แข็งมากแต่เปราะ แต่เมื่อเทียบกับเหล็ก S50C จะมีค่าความแข็งผิวที่สูงและเหนียวเนื่องมาจากเหล็กผ่านกรรมวิธีทางความร้อน (Heat treatments) โดยเปลวไฟแล้วชุบน้ำ แต่แผ่นเหล็ก S50C ก็ยังเกิดแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ (Back Face Signature) อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ มีค่าเท่ากับ มีค่าเฉลี่ย 7.02 มม. ส่วนการเปรียบเทียบอิทธิพลของฟิล์มแข็งเคลือบผิวชนิดต่างๆในการหยุดการทะลุของกระสุนปืน จากผลการทดลองแผ่นเหล็ก K110 ที่ทำการเคลือบผิวฟิล์มแข็ง TiC และ TiCN ไม่สามารถหยุดการทะลุของกระสุนปืนได้

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบผลการทดลอง

| วัสดุ | ผลการทดลอง | ค่าเฉลี่ยแบล็คเฟซซิกเนเจอร์ |
|---|---|---|
| S50C | หยุดการทะลุของกระสุนได้ | 7.02 มม. |
| K110 เคลือบผิวฟิล์มแข็ง TiC | ไม่สามารถหยุดการทะลุของกระสุนได้ | - |
| K110 เคลือบผิวฟิล์มแข็ง TiCN | ไม่สามารถหยุดการทะลุของกระสุนได้ | - |

## สรุปผล

เหล็กกล้า S50C ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนโดยใช้กระบวนการชุบผิวแข็งโดยใช้เปลวไฟให้ความร้อนซึ่งเป็นกรรมวิธีพื้นฐานและดั้งเดิมจะให้ค่าความเหนียวมากและมีความแข็งผิวที่ดี เมื่อทำการทดสอบจะเกิดแบล็คเฟซซิกเนเจอร์อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.02 มม. จึงสามารถใช้เป็นแนวทางในการทำเสื้อเกราะกันกระสุนที่มีประสิทธิภาพและราคาถูกได้ ส่วนแผ่นเหล็กกล้าที่ทำการเคลือบผิวฟิล์มแข็ง TiC และ TiCN ไม่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพความแข็งแรงของแผ่นเหล็กในเสื้อเกราะกันกระสุนได้ จะเกิดการแตกและไม่

สามารถหยุดการทะลุของกระสุนปืน เนื่องจากความแข็งผิวที่สูงมากกว่าเหล็ก S50C ประมาณ 12 เท่า จึงเกิดการแตกได้ง่ายเมื่อมีแรงกระแทกที่สูง

## บรรณานุกรม


พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์ และคณะ, Study on Tribological Behavior of Thin Film Coating Disk against Steel Ball, **การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 19**, 19-21 ตุลาคม 2548

สุพินท์ สมิตเกษตริน, 2550, **เสื้อเกราะกันกระสุน ตอนที่ 1**, กองทัพบก, นิตยสารยุทธโกษ ปีที่ 115 ฉบับที่ 4 ประจำเดือนกรกฎาคม - กันยายน, หน้า 39-44

สุพินท์ สมิตเกษตริน, 2550, **เสื้อเกราะกันกระสุน ตอนที่ 2**, กองทัพบก, นิตยสารยุทธโกษ ปีที่ 116 ฉบับที่ 1 ประจำเดือนตุลาคม – ธันวาคม, หน้า 79-85

สุรวรรณ ลิ้มสัมพันธ์, 2548, **เสื้อเกราะกันกระสุน พิทักษ์ชีวิต ลดการสูญเสีย**, แผนกการวัตถุระเบิด กองศึกษาและวิจัย กรมสรรพาวุธทหารเรือ, นสพ. เดลินิวส์ ฉบับวันที่ 25 ก.ค. 2548

H.L. Wang, J.L. He and M.H. Hom, 1993, “Sliding wear resistance of TiCN coatings on tool steel made by plasma-enhanced chemical vapour deposition”, **Journal of Wear**, Volumes 169, pp.195-200

National Institute of Justice, 2009, **NIJ Standard 0101.03 and 0101.04 Comparison Details**, Ballistic Resistance of Police Body Armor, Retrieved August 14, 2009, from : http:// www.policefirerescue.com/nij_chart.html,

Te-Hua Fang and Sheng-rui Jian, 2004, “Nanomechanical properties of TiC, TiN and TiCN thin films using scanning probe microscopy and Nanoindentation”, **Journal of Applied Surface Science,** Volumes 228, pp. 365-372.

Teisuke Sato and Tatsuo Besshi, 1998, “Evaluation of wear and tribological properties of coating rubbing against copper”, **Journal of Wear**, Volumes 220, pp. 154-160

Tsao Chung Chen and Hocheng Hong, 2002, “Comparison of the tool life of tungsten carbides coated by multi layer TiCN and TiAlCN for end mills using the Taguchi method”, **Journal of Materials Processing Technology**, Volumes 123, pp.1-4


## กิตติกรรมประกาศ


งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการดำเนินงานวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ได้รับความอนุเคราะห์สนามยิงปืนจากกองพลทหารม้าที่ 1 ค่ายพ่อขุนผาเมือง จ.เพชรบูรณ์ พร้อมเจ้าหน้าที่ทดสอบ และได้รับความช่วยเหลือด้วยดีจาก ผศ.นุทิศ เอี่ยมใส ในด้านอาวุธปืนพร้อมกระสุน และข้อมูลที่จำเป็นด้านฟิล์มแข็งเคลือบผิว จาก บริษัท U.T.T. ENGINEERING CO.,LTD และบริษัท พาร์ท ริช พรีซีชั่น จำกัด