

# プレス金型用コーティング皮膜の耐久性評価

茨城大学大学院 理工学研究科 応用粒子線科学専攻  
准教授 西野創一郎  
(平成22年度一般研究開発助成AF-2010019)

キーワード：プレス加工，金型コーティング，摺動損傷

## 1. 緒言

自動車車体の部品には軽量化と衝突安全性の両立を保持するために高張力鋼板を適用している。高張力鋼板をプレス成形する金型には大きな負荷が掛かる。この負荷は高面圧が発生しやすい肉余り部やしごき部などにさらに大きな負荷が掛かるので金型損傷が懸念されている。また、プレス成型時に金型に局所的な高面圧が発生して焼付きやかじりの不具合が発生してしまう。これらの問題を解決するために金型にコーティング処理が施されている。しかし、コーティング処理には高温処理と低温処理があり、一般的には高温処理の皮膜が良いと言われているが、プレス成形の条件や求める成形品の形状により金型が変わるので、コーティング処理や皮膜の耐久性の統一的な報告はされていない。

かかる観点から本研究では、金型用コーティング皮膜を高面圧負荷と摺動負荷に分けて、負荷を再現できる実験金型を製作して、CVD 処理の TiC 皮膜と TRD 処理の VC 皮膜による摺動損傷の違いを検討した。検討項目として摺動損傷の表面状態、被加工材の形状と板厚測定、SEM とレーザ顕微鏡による皮膜表面の観察と粗さ測定で皮膜の損傷評価を試みた。新たな試みで FIB 加工によるコーティング皮膜の断面観察の結果、皮膜の密着性や摺動損傷への影響が示唆されたので報告する。

## 2. 摺動損傷評価方法

### 2.1 実験方法及びコーティング皮膜

図1に摺動損傷を再現する実験金型をプレス機に設置した状態を示す。コーティング処理を施した試験片をダイにはめ込む構造で試験片を交換することで種々のコーティング皮膜の試験が可能である。母材はプレス金型材として最も多く使用されている SKD11 に焼入れ焼戻しを施した。コーティング前後に2回バブ研磨を行っており、皮膜は平滑な状態である。今回、摺動試験を行ったコーティング皮膜の性質を表1に示す。表1より高温処理である CVD 処理と TRD 処理は、母材硬度は近い値の硬度であるが、膜厚、皮膜硬度が CVD 処理の方が厚く、高い値を示している。この膜厚と皮膜硬度が摺動試験でどのような影響を与えるかが重要である。



図1 テスト金型

### 2.2 摺動実験方法と評価方法

実験金型を 110ton プレス機に取り付け、摺動試験を実施した。使用した被加工材の寸法：縦 100mm×横 95mm および摺動回数を表2に示す。パンチとダイ（試験片）のクリアランスは 1.4mm として 0.2mm のしごきにして、被加工材が 1.2mm の時は試験片とダイの間に 0.4mm のシムを入れて 1.0mm に設定した。摺動試験はダイの上に被加工材を置き、パンチの下降で被加工材はプレス成形されて下死点に達した時に下に落下する構造になっている。これでコーティング皮膜に高面圧と摺動負荷が同時に与えられる。

摺動試験後、摺動負荷による皮膜表面の観察、摺動試験による被加工材の形状変化と板厚測定、走査型電子顕微鏡：SEM とレーザ顕微鏡による皮膜表面の損傷観察と表面粗さ測定、微小蛍光 X 線元素分析装置による皮膜と凝着物の元素分析、今回、皮膜損傷の評価方法として FIB 加工と FE-SEM による皮膜の断面観察より皮膜損傷の定量的評価を試みた。

表1 基材とコーティング皮膜

Base Metal	SKD11	
	CVD	TRD
Method	CVD	TRD
Coating	TiC	VC
Thickness(μm)	14	9
Surface Roughness(Ra)	0.120	0.087
Elastic Modulus(GPa)	357	347
Base Metal Hardness(Hv)	740	730
Coating Hardness(Hv)	3071	2071

表2 実験条件

Blank sheet	Cycles of sliding	Thickness(mm)	Zinc alloyed coat
1180MPa	10	1.6	×
590MPa	10	1.6	×
980MPa	65	1.2	×
980MPa	30	1.2	○
Total cycles of sliding	115	—	—

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 皮膜の損傷状態

摺動試験による皮膜の損傷状態を図2に示す。摺動試験20回の状態ではTiC、VC皮膜共に損傷はしていない。摺動試験55回では皮膜損傷に相違が現れた。TiC皮膜は全体的に損傷が広がった。VC皮膜の損傷は中央R部付近のみで見られた。最終的に摺動試験115回では、TiC皮膜は損傷がより全体的に拡大している。VC皮膜も55回より損傷が全体的に拡大しているが、TiC皮膜より軽微である。摺動試験による皮膜への影響は皮膜硬度が高いTiC皮膜の摺動損傷が大きく、皮膜硬度が低いVC皮膜は摺動損傷が軽微になる結果が得られた。

#### 3.2 コーティング皮膜による被加工材への影響

摺動試験によってプレス成形された被加工材にも違いが現れた。図3に被加工材の形状測定を示す。60回目の被加工材の開き量はTiC皮膜とVC皮膜共に67mmであるが、TiC皮膜は80回目で65mm、115回で62mmと被加工材の形状が変化した。VC皮膜は80回、115回目でも67mmと形状変化しない結果が得られた。また、図4に形状変化の結果を示す。115回目の被加工材は、TiC皮膜の成形品は摺動部が大きく伸びているが、VC皮膜の成形品は伸びていない。図5に成形品の板厚測定結果を示す。被加工材の板厚は1.2mmである。この結果より、全体的に板厚は減少しているが、VC皮膜ではプレス成形品は安定した形状を得られる。しかし、TiC皮膜では形状不良と肉厚減少という問題が発生する。

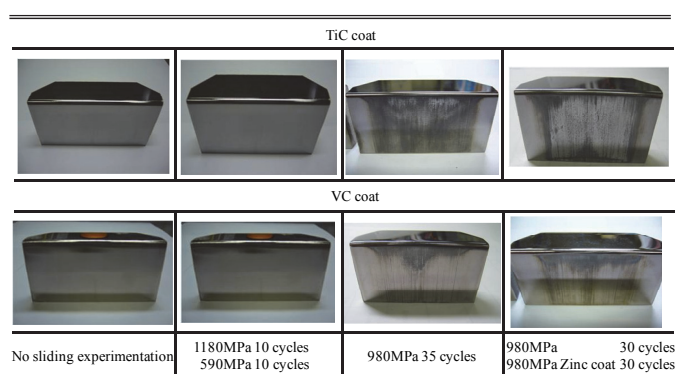


図2 試験片の表面観察

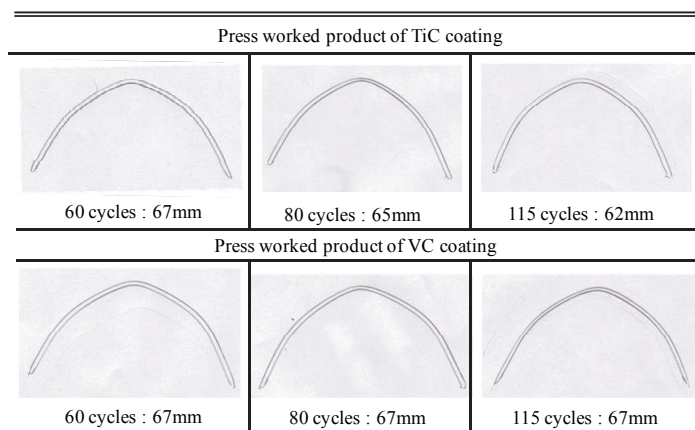


図3 被加工材の断面形状

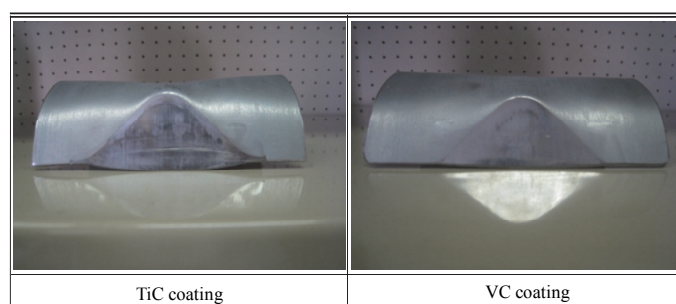


図4 被加工材の摺動場所

#### 3.3 コーティング皮膜の損傷観察と粗さ測定

摺動試験によるコーティング皮膜の表面損傷状態を詳細に観察するため、SEMとレーザ顕微鏡による損傷と表面の粗さを測定した。図6および図7にSEMによるTiCおよびVC皮膜の損傷状態の観察結果を示す。皮膜の上に凝着物が確認された。

レーザ顕微鏡による凝着部の粗さ測定を行った。図6の(a)と(b)での結果を図8に示す。(a)のR部付近の粗さは約 $3.5\mu\text{m}$ と一定であるが、(b)の損傷の境界付近は $1.2\mu\text{m}\sim 2.5\mu\text{m}$ に粗さが変動する部分があった。図7の(a)と(b)での結果を図9に示す。(a)のR部では粗さが $4.4\mu\text{m}$ とTiC皮膜より粗いが、(b)の部分では、大きな凝着物があるが低い部分で $1.5\mu\text{m}$ とこちらも粗さが変化している部分がある。TiC皮膜は全体的に凝着量が大きく、VC皮膜では全体的に凝着物は少ないが一部分に大きな凝着物が存在する事が判明した。TiC皮膜とVC皮膜共に凝着物がついているが、これが何かを判明させるために微小蛍光X線分析装置を用いて元素分析を実施した。

#### 3.4 微小蛍光X線分析装置によるコーティング皮膜の解析

微小蛍光X線分析装置により、摺動損傷後のコーティング皮膜の元素分析を行った。皮膜と凝着物を定量的に評価する事が出来る。その元素分析結果を表3に示す。TiC皮膜の損傷が大きいA部は損傷がないC部と比較してチタンの質量濃度が低く、C部では検出されなかった亜鉛が多く検出された。一方、VC皮膜は損傷が大きいA部と損傷がないC部ではバナ

ジウムの質量濃度はあまり変わらないが、A 部のみで亜鉛が検出された。しかし、VC 皮膜の亜鉛は TiC 皮膜より少ない。皮膜の違いで亜鉛の質量濃度が異なるのは、バナジウムよりチタンの方が亜鉛と反応して凝着しやすい可能性がある。

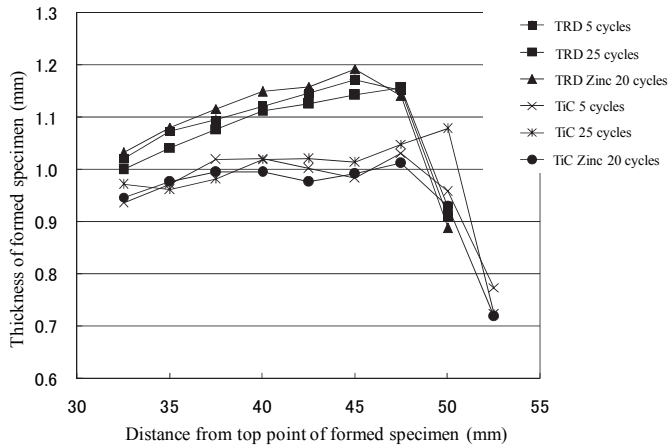


図5 被加工材・摺動部の板厚

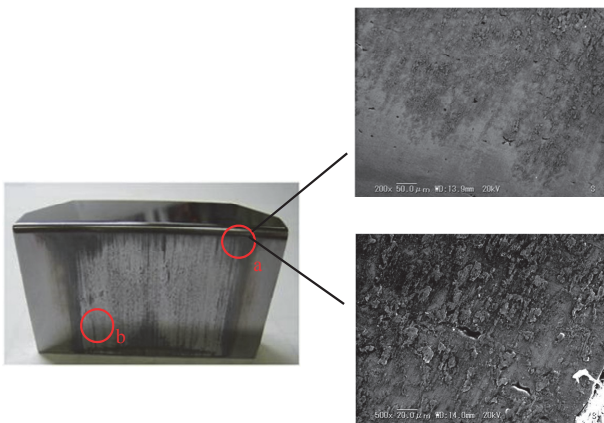


図6 摺動損傷のSEM観察 (TiC)

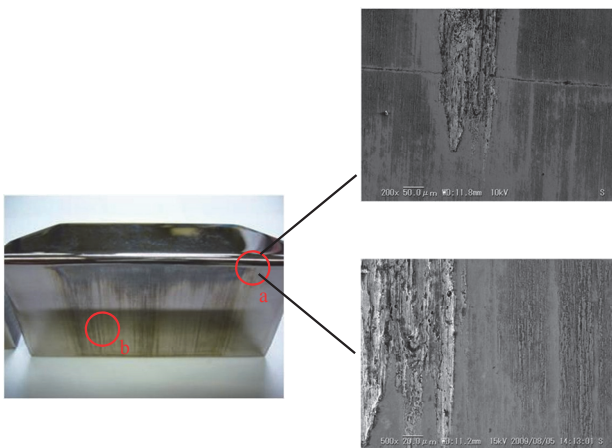


図7 摺動損傷のSEM観察 (VC)

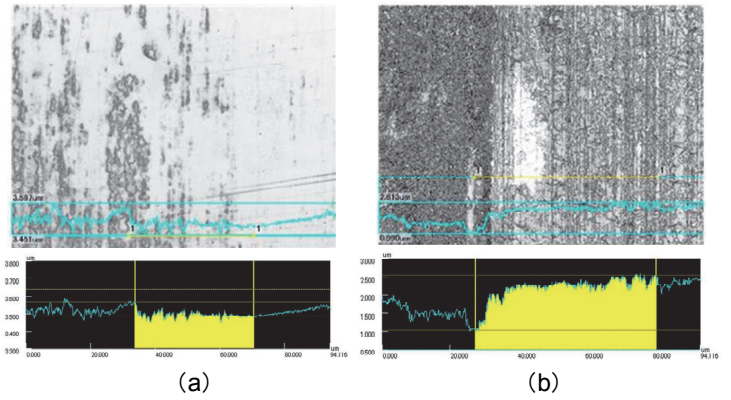


図8 表面粗さ (TiC)

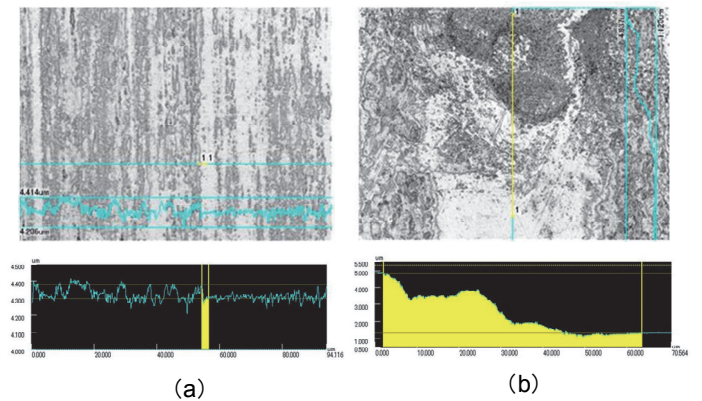


図9 表面粗さ (VC)

表3 皮膜表面の元素分析結果

(a) TiC

Mass Concentration (%)	A	B	C
Ti	38.7	51.8	58.4
Zn	23.7	0.8	—

(b) VC

Mass Concentration (%)	A	B	C
V	57.8	65.7	65.8
Zn	8.0	0.03	—

### 3.5 FE-SEMによる膜の断面観察

コーティング皮膜をFIB加工してFE-SEMにて観察を実施した。観察試料は高温処理で製膜されるTiC皮膜とVC皮膜、低温処理のTiC皮膜の3種類である。図10と図11に高温処理であるTiC皮膜とVC皮膜、図12に低温処理のTiC皮膜の断面観察結果を示す。

高温処理のTiC皮膜とVC皮膜は両方もとも母材が荒れていたが、低温処理では母材が荒れていなかった。皮膜の組成は、高温処理のTiC皮膜では皮膜の中央に金属間化合物が存在していたが、低温処理のTiC皮膜では金属間化合物が存在して



いないという特異な現象が判明した。VC 皮膜では皮膜中に小さな穴がある多孔質な組成であった。この結果より、高温処理では母材と皮膜の境界部が荒れているので、アンカー効果により母材と皮膜の密着性が良いと考えられる。逆に低温処理では、皮膜と母材の境界部が平坦なので荷重が負荷されると剥がれやすいと考えられる。

#### 4. 結言

本研究では、プレス金型用コーティング皮膜として多用されている高温処理皮膜に注目して、TRD 処理の VC 皮膜およびCVD 処理の TiC 皮膜で実際のプレス加工を想定した実験型による摺動実験を行い、損傷状態の比較と検討を実施した。得られた結果を以下に示す。

(1) VC 皮膜、TiC 皮膜ともに、皮膜の摩耗や破壊は認められず、表面に凝着が観察された。この凝着物は元素分析の結果、摺動試験で使用した合金亜鉛メッキ鋼板の亜鉛であった。凝着は VC 皮膜より TiC 皮膜の方が多い。

(2) 摺動試験で使用した被加工材を測定した結果、VC 皮膜よりも TiC 皮膜の被加工材は形状不良や板厚が減少している。

(3) 高温処理の CVD と TRD 処理は母材との境界面が荒れており、これによるアンカー効果により皮膜は剥がれにくい。一方、低温処理の PVD 処理は母材との境界部が平滑なため皮膜が剥がれやすい。同じ TiC 皮膜でも CVD 処理には膜中に金属間化合物が存在する。VC 皮膜は多孔質な皮膜であり、その特異な性質から衝撃を吸収しやすいと考えられる。

#### 参考文献

- (1) 西野創一郎 ほか、自動車技術会、秋季学術講演会、83-04、(2004)
- (2) 西野創一郎 ほか、自動車技術会、春季学術講演会、18-05、(2005)
- (3) 西野創一郎 ほか、自動車技術会、春季学術講演会、20-06、(2006)
- (4) 平尾貴志 ほか、自動車技術会、秋季学術講演会、145-07、(2007)
- (5) 西野創一郎 ほか、自動車技術会、春季学術講演会、21-08、(2008)

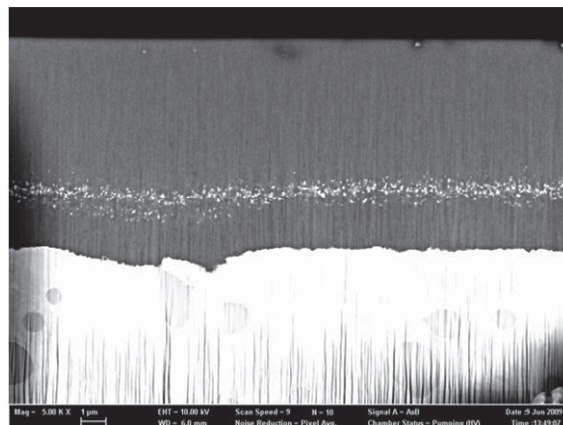


図 1 0 断面 SEM 観察 (TiC)

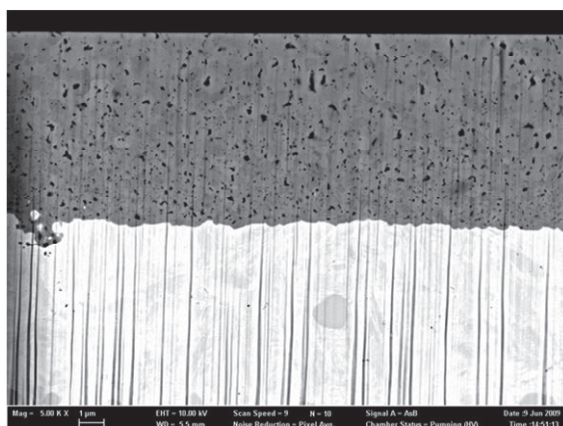


図 1 1 断面 SEM 観察 (VC)

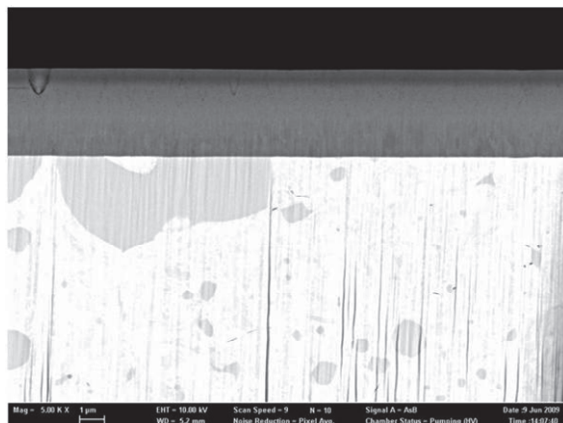


図 1 2 断面 SEM 観察 (VC-PVD)