

## 塗装の評価トライボメーターを使用した傷、 摩耗耐性評価



EsparzaDUANJIE LI, PhD & ANDREA HERRMANN

## はじめに

アクリルウレタン塗料は、床用塗料や自動車用塗料など、さまざまな工業用途に広く使用されている速乾性保護塗料の一種です。床用ペイントとして使用すると、歩道、縁石、駐車場など、人の出入りが多い場所やゴム車輪の通行が多い場所に使用できます。

### 傷耐性、摩耗耐性評価の重要性



従来、アクリルウレタン床用塗料の耐摩耗性を評価するために、ASTM D4060規格に従ってテーバー摩耗試験が実施されてきました。ただし、規格に記載されているように、「一部の材料では、テーバー アブレーサーを使用した摩耗試験は、試験中のホイールの摩耗特性の変化により変動する可能性があります。」<sup>1</sup>このため、試験結果の再現性が低くなり、異なる研究室から報告された値を比較することが困難になる可能性があります。さらに、テーバー摩耗試験では、耐摩耗性は、指定された摩耗サイクル数での重量損失として計算されます。しかし、アクリルウレタン床用塗料の推奨乾燥膜厚は $37.5\sim 50\mu\text{m}^2$ です。テーバー・アブレーサーによるアグレッシブな研磨プロセスにより、アクリルウレタンコーティングが急速に摩耗し、基材に質量損失が生じ、塗料の重量損失の計算に重大な誤差が生じる可能性があります。摩耗試験中に塗料に研磨粒子が注入されることも誤差の原因となります。したがって、再現性の高い塗料の摩耗評価を確実に行うには、適切に制御され定量化可能で信頼性の高い測定が不可欠です。さらに、スクラッチテストにより、実際の用途における早期の接着/凝集破壊を評価できます。

## 使用した測定機

この研究では、ナノピア・トライボメーターと機械試験機が工業用コーティングの評価と品質管理に最適であることを紹介します。さまざまなトップコートを使用したアクリルウレタン床塗料の摩耗プロセスは、NANOVEA トライボメーターを使用して制御および監視された方法でシミュレートされます。マイクロクラッチ試験は、塗装に凝集破壊または接着破壊を引き起こすのに必要な荷重を測定するために使用しました。



**NANOVEA T100**

コンパクトな空圧式トライボメーター



**NANOVEA PB1000**

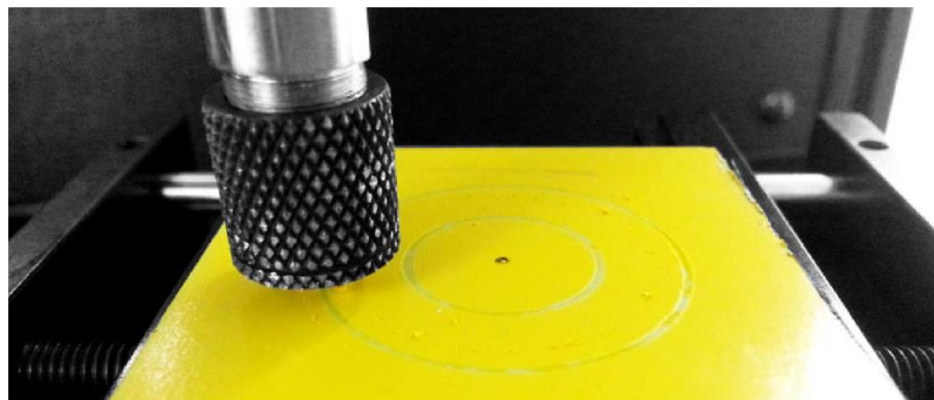
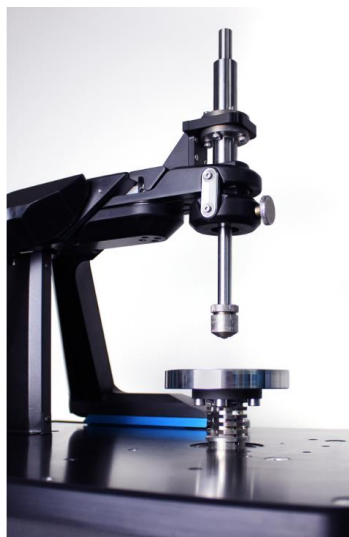
大きな測定領域をもつ機械式試験機

## 測定方法

この研究では同じプライマー（ベースコート）と同じ配合の異なるトップコートを使用し、耐久性を高める目的で添加剤の配合を少し変えた四つの市販の水性アクリル床コーティング材を評価します。これら 四つのコーティングはサンプル A、B、C、D とします。

## 耐摩耗性試験

ナノピア・トライボメーターは、トライボロジー挙動を評価するために使用しました。摩擦係数、COF、耐摩耗性の評価。SS440 ボールチップ (直径 6 mm、グレード100) を試験対象の塗料に適用しました。COFはその場で記録されました。摩耗量 $K$ 、垂直荷重 $F$ 、滑り距離 $s$ 、摩耗跡断面積 $A$ 、回転数 $n$ より、 $K=V/(F \times s)=A/(F \times n)$ により摩耗率 $K$ を評価しました。表面粗さと摩耗痕跡プロファイルはナノピア・リアルナノ 3D表面計によって評価され、摩耗痕跡形態は光学顕微鏡を使用して検査されました。

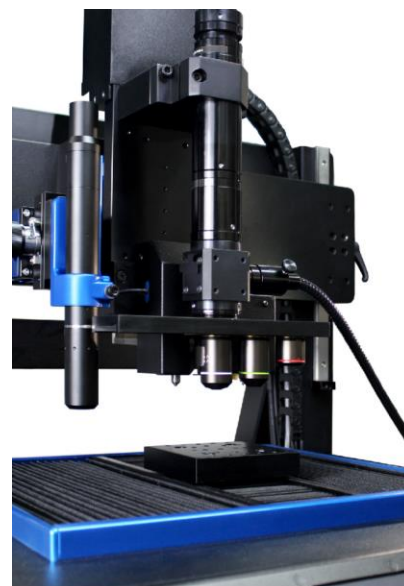


## 耐摩耗性試験パラメーター

使用パラメーター： 垂直荷重 20N、速度： 15m/min、 サイクル数：100、150、300、800回

## スクラッチ耐性試験

Rockwell C ダイヤモンドスタイラス (半径  $200\ \mu\text{m}$ ) を備えたナノピア・メカニカルテスターを使用して、マイクロスクラッチ テスターモードを使用して塗装サンプルに対して漸進荷重負荷スクラッチテストを実行しました。二つの到達荷重を使用してプライマーからの塗料の剥離を調査する場合は5 N、金属基材からのプライマーの剥離を調査する場合は35 Nです。結果の再現性を確保するために、各サンプルに対して同じテスト条件で3回のテストを繰り返しました。スクラッチ全体の長さのパノラマ画像が自動的に生成され、システム ソフトウェアによって重大な破損箇所が適用された荷重と関連付けられました。このソフトウェア機能により、ユーザーはスクラッチテストの直後に顕微鏡で臨界荷重を決定する必要がなく、いつでもスクラッチトラックの分析を実行できます。



## スクラッチ耐性試験パラメーター

荷重タイプ	荷重増加式
初期負荷	0.01 mN
到達負荷	5 N / 35 N
荷重増加率	10 / 70 N/min
スクラッチ長さ	3 mm
スクラッチ速度, dx/dt	6.0 mm/min
インデーター形状、大きさ	120° cone
インデーターチップ材料	Diamond
インデーターチップ径	200 $\mu\text{m}$

## 耐摩耗性試験結果

摩耗の進行を監視するために、各サンプルに対して異なる回転数 (100、150、300、および 800 サイクル) で四つのピンオンディスク摩耗テストを実行しました。摩耗試験を行う前に、サンプルの表面形態をナノピア・リアルナノ3Dプロファイラーで測定し、表面粗さを定量化しました。図1に示すように、すべてのサンプルの表面粗さは約 $1\mu\text{m}$ で同等でした。

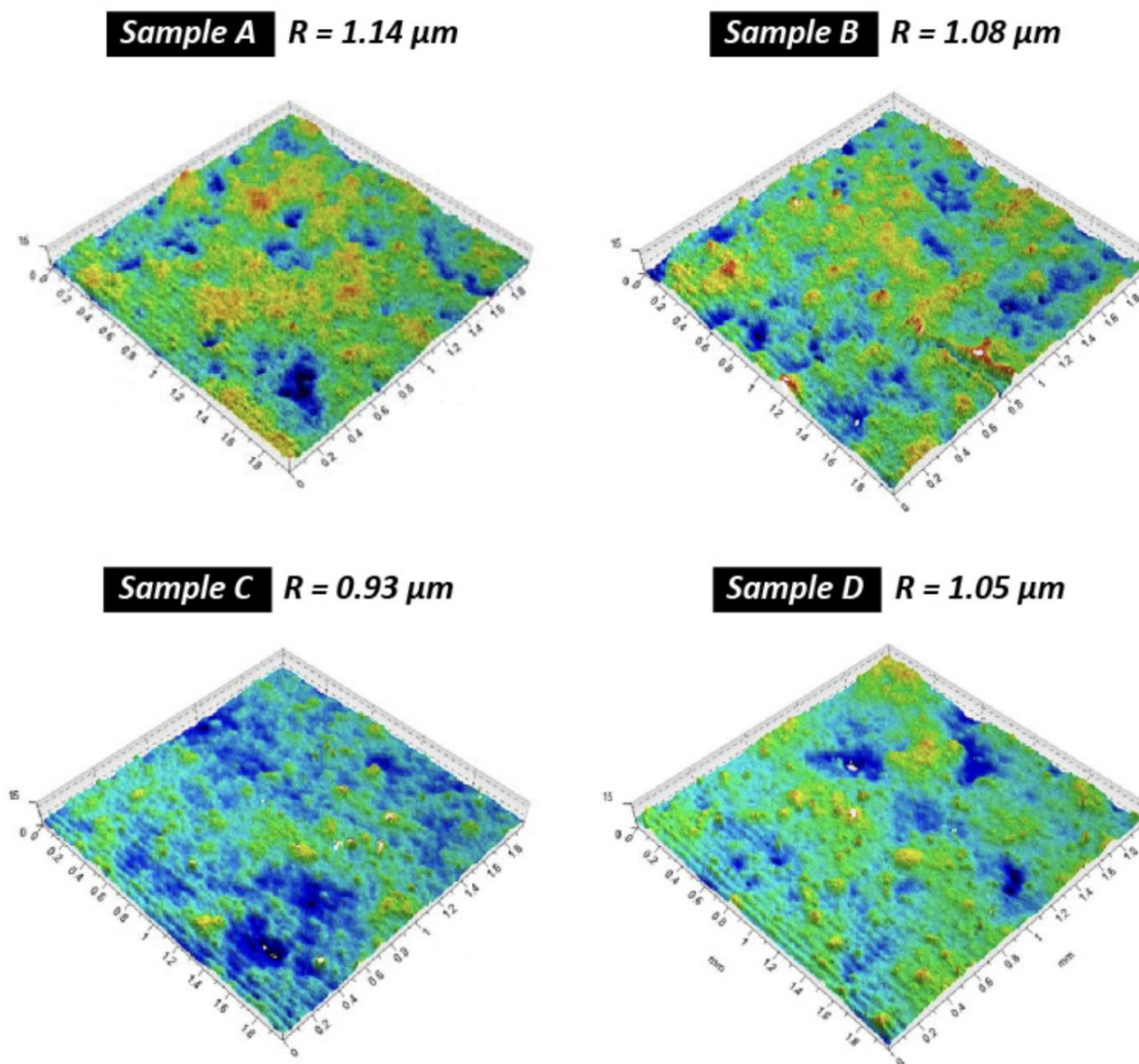


図1 リアルナノ3Dプロファイラーによる表面計測

摩耗の進行を監視するために、各サンプルに対して異なる回転数 (100、150、300、および 800 サイクル) で四つのピンオンディスク 摩耗テストを実行しました。摩耗試験を行う前に、サンプルの表面形態をナノピア・リアルナノ3Dプロファイラーで測定し、表面粗さを定量化しました。図1に示すように、すべてのサンプルの表面粗さは約 $1\mu\text{m}$ で同等でした。

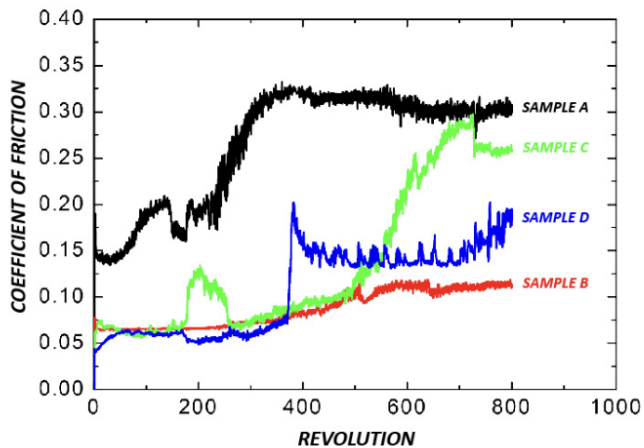


図2 ピンオンディスク試験中のCOF

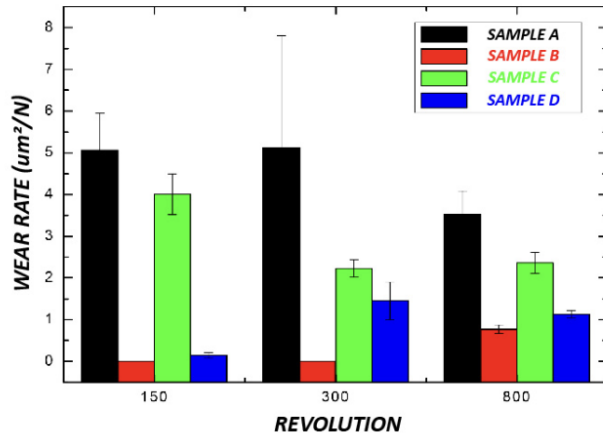


図3 各サンプルの摩耗率の変化

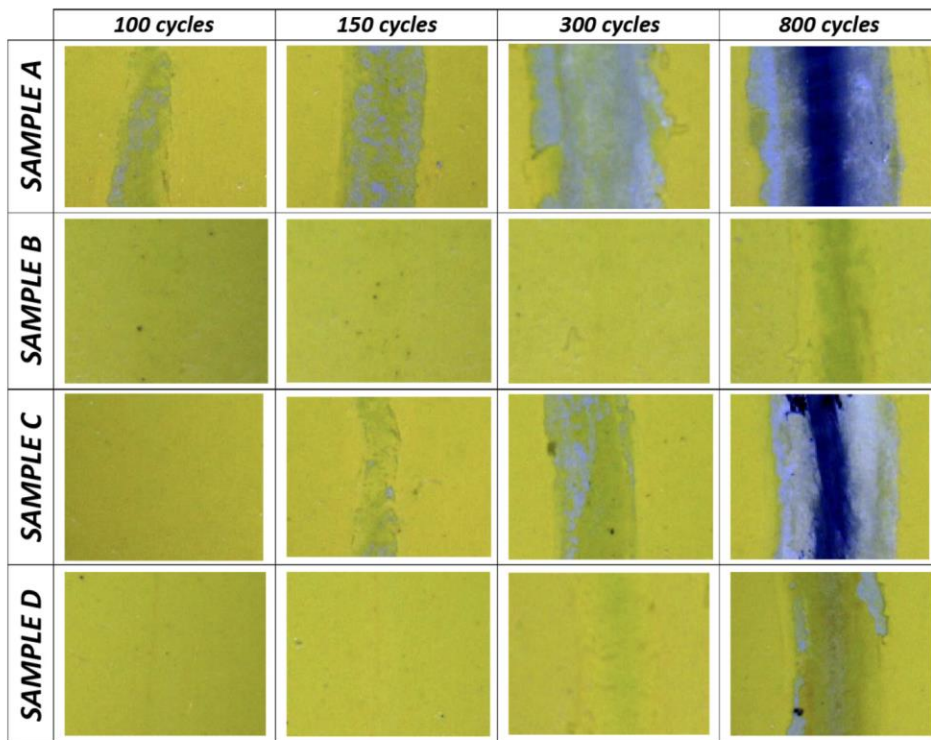


図4 ピンオンディスク試験中の摩耗トラックの変化

他の3個のサンプルのCOF値が約0.07であるのと比較すると、サンプルAは最初はCOFが約0.15と非常に高く、徐々に増加し、300回の摩耗サイクル後には約0.3で安定しました。このような高いCOFは摩耗プロセスを加速し、図4の写真のとおりかなりの量の塗料の破片を生成します。サンプルAのトップコートは最初の100回転で除去され始めています。図3にあるように、サンプルAは最初の300サイクルで最大摩耗率およそ $5 \mu\text{m}^2/\text{N}$ を示しますが、金属基板の耐摩耗性が優れているため、わずかに減少しておおよそ $3.5 \mu\text{m}^2/\text{N}$ になります。図4に示すように、サンプルCのトップコートは150回の摩耗サイクル後に劣化し始めます。これは、図2のCOFの増加によっても示されています。比較すると、サンプルBとサンプルDは改善したトライボロジー特性を示します。サンプルBはテスト全体を通じて低いCOFを維持しました。COFは約0.05から約0.1にわずかに増加します。このような潤滑効果により、耐摩耗性が大幅に向上します。トップコートは、800回の摩耗サイクル後も下層のプライマーに優れた保護を提供しています。サンプルBの800サイクルで測定された平均摩耗率は、わずか約 $0.77 \mu\text{m}^2/\text{N}$ でした。図2のCOFの急激な増加に反映されているように、サンプルDのトップコートは375サイクル後に剥離し始めます。サンプルDの平均摩耗率は800サイクルで約 $1.1 \mu\text{m}^2/\text{N}$ です。従来のテーバー摩耗測定と比較して、ナノピア・トライボメーターは、適切に制御された定量化が可能で、信頼性の高い摩耗評価を提供し、市販の床/自動車塗料の再現可能な評価と品質管理を保証できます。さらに、その場でのCOF測定機能により、ユーザーは摩耗プロセスのさまざまな段階をCOFの進化と関連付けることができます。これは、さまざまな塗装コーティングの摩耗メカニズムとトライボロジー特性の基本的な理解を向上させる上で重要です。

## スクラッチ耐性試験結果

摩耗の進行を監視するために、各サンプルに対して異なる回転数(100、150、300、および800サイクル)で四つのピンオンディスク摩耗テストを実行しました。摩耗試験を行う前に、サンプルの表面形態をナノピア・リアルナノ3Dプロファイラーで測定し、表面粗さを定量化しました。図1に示すように、すべてのサンプルの表面粗さは約 $1 \mu\text{m}$ で同等でした。

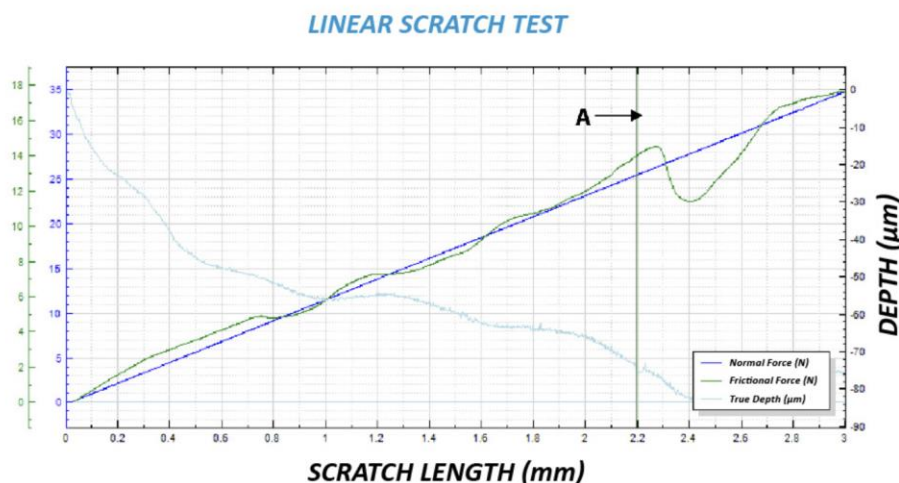


図5 最大荷重5 NでのサンプルAスクラッチ試験における垂直力、摩擦力、および真の深さを傷の長さの関数としたグラフ

図6と図7は、それぞれ到達荷重5 Nと35 Nでテストした4個の塗装サンプルすべてのスクラッチの写真です。サンプルDでは、プライマーを剥離するために50 Nというより高い負荷が必要でした。最終荷重5 Nでのスクラッチテスト(図6)はトップペイントの凝集/接着破壊を評価し、35 Nでのスクラッチテスト(図7)はプライマーの層間剥離を評価できます。顕微鏡写真中の矢印は、トップコーティングまたはプライマーがプライマーまたは基材から完全に除去され始める点を示しています。この時点での荷重、いわゆる臨界荷重  $L_c$  は、表1にまとめられているように、塗料の凝集性または接着性を比較するために使用できます。

	PAINT DELAMINATION (N)				PRIMER DELAMINATION (N)			
	Test 1	Test 2	Test 3	Average	Test 1	Test 2	Test 3	Average
<b>SAMPLE A</b>	3.01	3.21	3.27	3.16 ± 0.14	25.55	25.44	25.21	25.40 ± 0.17
<b>SAMPLE B</b>	3.45	3.36	3.53	3.45 ± 0.08	27.58	27.80	28.62	28.00 ± 0.55
<b>SAMPLE C</b>	1.61	1.09	1.57	1.42 ± 0.29	22.91	24.02	24.25	23.73 ± 0.72
<b>SAMPLE D</b>	3.94	4.02	4.17	4.04 ± 0.12	37.98	36.08	35.77	36.61 ± 1.20

表1 臨海荷重

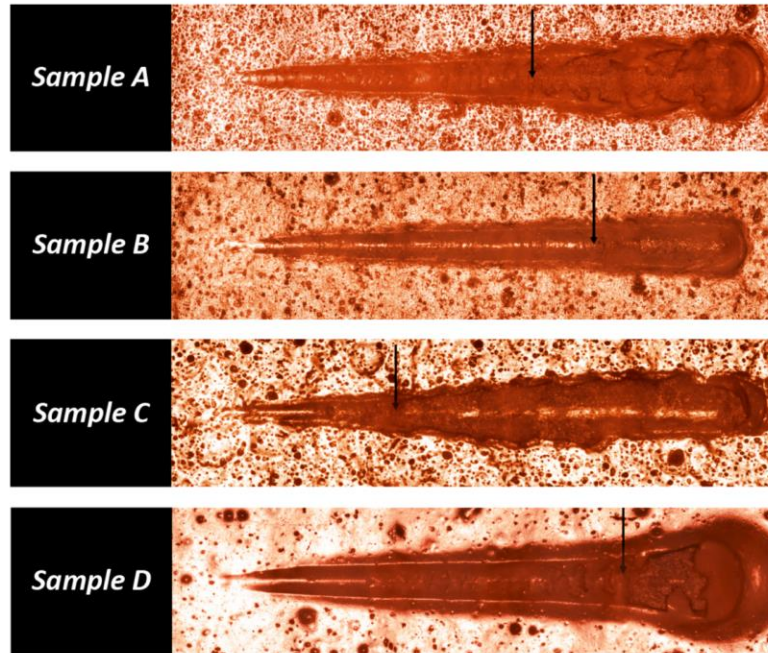


図6 到達荷重5Nでのスクラッチ

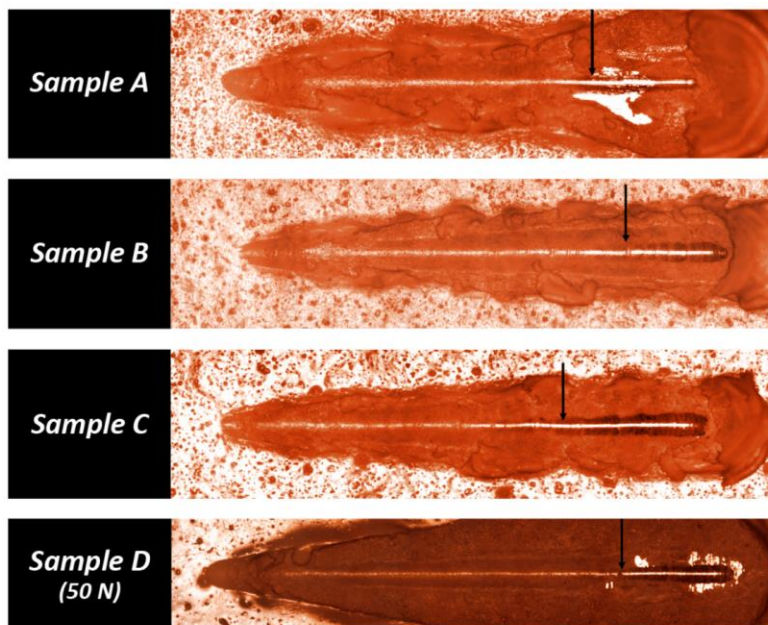


図7 到達荷重35Nでのスクラッチ

図6と図7は、それぞれ到達荷重5 Nと35 Nでテストした4個の塗装サンプルすべてのスクラッチの写真です。サンプルDでは、プライマーを剥離するために50 Nというより高い負荷が必要でした。最終荷重5Nでのスクラッチテスト(図6)はトップペイントの凝集/接着破壊を評価し、35 Nでのスクラッチテスト(図7)はプライマーの層間剥離を評価できます。顕微鏡写真中の矢印は、トップコーティングまたはプライマーがプライマーまたは基材から完全に除去され始める点を示しています。この時点での荷重、いわゆる臨界荷重  $L_c$  は、表1にまとめられているように、塗料の凝集性または接着性を比較するために使用できます。

## おわりに

従来のテーパー摩耗測定と比較して、ナノピア・メカニカルテスターおよびトライボメーターは、商用の床および自動車コーティングの評価と品質管理に優れた新しいツールといえます。ナノピア・メカニカルテスターのスクラッチモードでは、コーティングシステムの接着/凝集を再現性よく評価できます。ナノピア・トライボメーターは、塗料の耐摩耗性と摩擦係数に関して、適切に制御された定量化が可能で再現性のあるトライボロジー分析を提供します。この研究ではテストした水性アクリル床コーティングの包括的な摩擦学および機械的分析に基づいて、サンプルBが最も低いCOFと摩耗率、および2番目に優れた引掻耐性を有し、一方、サンプルDが最高の引掻耐性と2番目に優れた耐摩耗性を示すことがわかりました。この評価方法により、さまざまなアプリケーション環境のニーズに合わせた最適な特性を評価し、選択することができます。ナノピア・メカニカルテスターのナノモジュールとマイクロモジュールには、ISOおよびASTM準拠のインデント試験機、傷試験機、摩耗試験機モードが含まれており、単一モジュールでの塗装評価に利用できる最も幅広い試験を提供します。ナノピア・トライボメーターは、ISOおよびASTM準拠の回転および直線モードを使用した、正確で再現性のある摩耗および摩擦試験を提供します。また、オプションの高温摩耗、潤滑、摩擦腐食モジュールも1つの事前統合システムで利用できます。ナノピアの比類のない製品範囲は、硬度、ヤング率、破壊靱性、接着性、耐摩耗性などを含む、薄いまたは厚い、柔らかいまたは硬いコーティング、フィルム、および基材の機械的/摩擦学的特性の全範囲を決定するための理想的なソリューションです。オプションでナノピア・リアルナノ3D非接触光学プロファイラーは、粗さなどの他の表面測定に加えて、傷や摩耗跡の高解像度3Dイメージングに使用いただけます。

装置仕様など詳細はアイ・ティー・エス・ジャパン株式会社までお問い合わせください。



〒274-0812 千葉県船橋市三咲7-22-7  
TEL:047-449-2961 FAX:047-449-2926