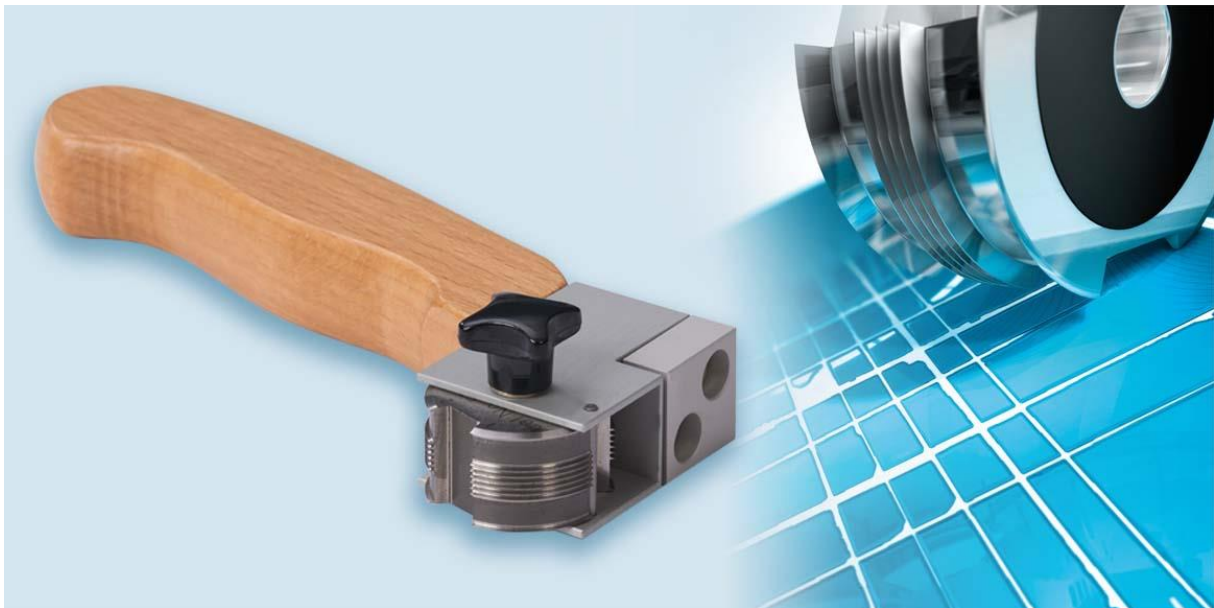


Haftfestigkeit

Abstrakt

Die Haftfestigkeit einer Beschichtung auf dem Untergrund ist von besonderer Bedeutung für das mechanische Verhalten wie auch für den Korrosionsschutz. In der Praxis werden verschiedene Prüfverfahren zur Ermittlung der Haftfestigkeit angewandt.



Inhaltsverzeichnis

1	Definition Haftung.....	2
2	Funktionsweisen der Haftfestigkeit	2
3	Probenvorbereitung.....	3
4	Gitterschnitt Prüfung.....	3
4.1	Gitterschnitt Methode nach DIN EN ISO und ASTM	3
4.2	Auswertung der Gitterschnittbilder.....	4
5	Ritzhärte Prüfung	5
6	Abreißversuch – Pull-Off Prüfung.....	6
6.1	Pull-Off Testgerät	6
6.2	Auswertung der Pull-Off Ergebnisse.....	6
7	Genauigkeit der Prüfmethoden.....	7
7.1	Genauigkeit des Gitterschnittverfahrens DIN EN ISO 2409.....	7
7.2	Genauigkeit der Ritzhärte-Prüfung ASTM D3359.....	7
7.3	Genauigkeit des Abreiversuchs EN ISO 16276-1.....	7
8	Zusammenfassung.....	8
9	Literatur und Normen	8

1 Definition Haftung

Die Haftfestigkeit auch Adhäsion genannt ist neben der Härte und der Schichtdicke ein wichtiges Merkmal einer Beschichtung. Denn ist diese nicht ausreichend, kann es zum Schichtversagen bei z.B. Biegebeanspruchung eines Bauteils kommen und damit ist der Korrosionsschutz nicht mehr gewährleistet. Haftfestigkeit ist das Maß für den Widerstand einer Beschichtung gegen ihre mechanische Trennung vom Untergrund. [1]

In der Praxis werden verschiedene Prüfverfahren zur Ermittlung der Haftfestigkeit angewandt. Die Haftfestigkeitsprüfung erfolgt beim Fertigungsprozess auf mitlaufenden lackierten Prüfblechen oder am Objekt selbst.

2 Funktionsweisen der Haftfestigkeit

Die Haftfestigkeit von Lacken ist der Verbund der fertigen Beschichtung mit dem Untergrund und wird durch verschiedene Faktoren beeinflusst (Abb. 1 und Abb.2):

- Schwerkraft
- Mechanische Verklammerung
- Zwischenmolekulare Kräfte zwischen dem Substrat und der Beschichtung (Wasserstoffbrückenbindung, Van der Waal'sche Kräfte ...)
- Chemische Bindungen (Matz, Kolk)

Gemeinsam bei allen Modellen ist, dass die Wirkung der Kräfte nur über sehr kurze Entfernungen reicht. Die Benetzbarkeit des Substrats durch den Lack ist abhängig von der Oberflächenspannung des Untergrundes. Der Untergrund ist benetzbar, wenn die Oberflächenspannung des Substrates größer ist wie die des Beschichtungstoffes.

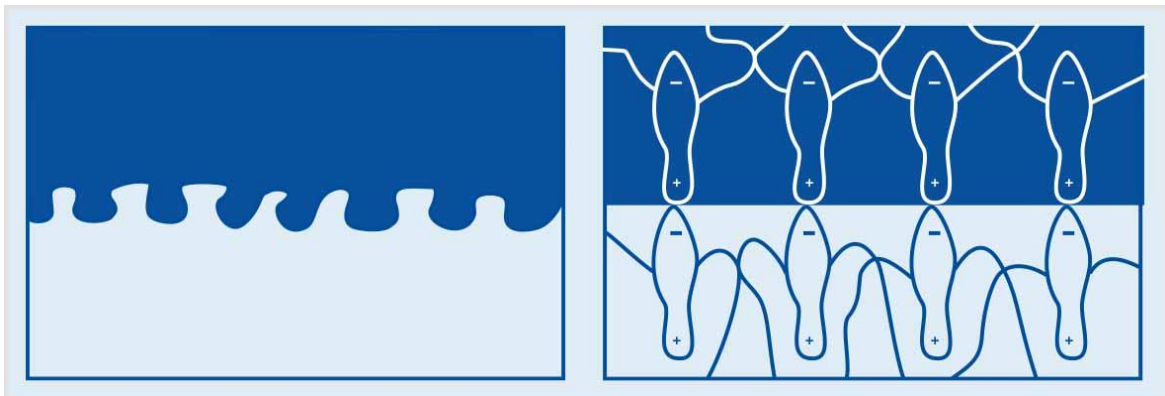


Abb. 1: Mechanische Verankerungen

Dipol-Dipol / van der Waal Wechselwirkungen

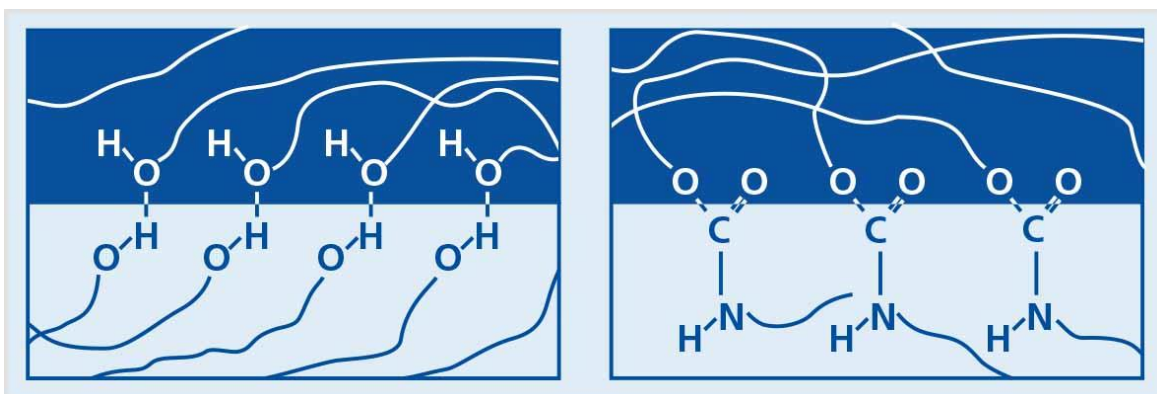


Abb. 2: Wasserstoffbrückenbindungen

Chemische Bindungen

3 Probenvorbereitung

Um ein konstantes, wiederholbares und vergleichbares Ergebnis zu erzielen, ist es notwendig Schichtstärke, Vorbehandlung, Trocknung (Luft, Ofen, IR etc.), Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Alterung des Lackes immer gleich zu halten und zu dokumentieren. DIN EN ISO 2409 erläutert sowohl Probenvorbereitung als auch Messbedingungen im Detail. Außerdem empfiehlt sie Parameter, die wichtig sind, um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, im Prüfbericht zu dokumentieren [1].

4 Gitterschnitt Prüfung

4.1 Gitterschnitt Methode nach DIN EN ISO und ASTM

Die Prüfung wird entweder mit Schneidwerkzeugen mit 1-Schneidkante (Abb. 3) oder 6-Schneidkanten (Abb. 4) durchgeführt. Dabei ist wie folgt nach DIN EN ISO 2409 vorzugehen:

Mit einer scharfen Klinge 5-mal senkrecht bis zum Untergrund im definierten Abstand durch die Beschichtung schneiden. Anschließend 5-mal waagrecht über den bereits vorher getätigten Schnitt, so dass ein Kreuz entsteht. Dann in diagonaler Richtung mit einer Handbürste bürsten und mit einem definierten Klebeband innerhalb von 5 min gleichmäßig über den Schnitt kleben und in einem Zug unter 60° Winkel innerhalb von einer Sekunde abziehen (Abb. 5). Dabei ist darauf zu achten, dass immer das gleiche Klebeband verwendet wird. [1,2,3,10]

Der Abstand der Schneiden muss in beide Richtungen gleich sein und ist wie folgt definiert:

- Bis zu 60 µm: 1 mm Abstand, für harte Substrate wie z.B. Metall und Kunststoff
- Bis zu 60 µm: 2 mm Abstand, für weiche Substrate wie z.B. Holz und Putz
- 61 µm bis 120 µm: 2 mm Abstand für weiche und harte Substrate
- 121 µm bis 250 µm: 3 mm Abstand für weiche und harte Substrate

Alternativ kann nach ASTM D3359 [3] verfahren werden. Dabei ist zu beachten, dass bereits nach 90 Sekunden +/- 30 Sekunden das Klebeband gleichmäßig in einem 180° Winkel abzuziehen ist (Abb. 6).

Die Schneiden des Gitterschnittgerätes sind aus hochwertigem Werkzeugstahl, um eine dauerhafte qualitative Messung auch auf harten Untergründen gewährleisten zu können. Der schwenkbare Schneidekopf ist zur optimalen Ausrichtung auf der Prüffläche einfach zu handhaben. Das Gitterschnitt-Set wird mit allem nötigem Zubehör geliefert, welches für die Durchführung eines qualitativen Gitterschnitts erforderlich ist.



Abb. 3: 1-Schneidkante



Abb. 4: 6-Schneidkanten

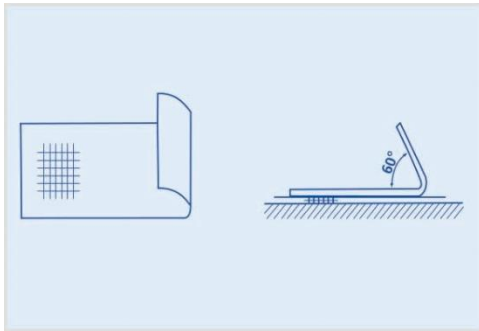


Abb.5: DIN ISO Standard 60° Winkel

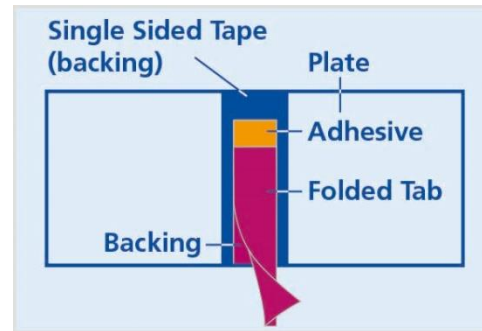


Abb. 6: ASTM Standard 180° Winkel

Praktische Tipps:

- Beim Gitterschnittverfahren ist darauf zu achten, dass die Schneiden scharf sind und plan auf dem Substrat aufliegen.
- Beim Auswerten muss ein definiertes Klebeband (gleicher Hersteller) verwendet werden, da Klebebänder von unterschiedlichen Herstellern eine andere Klebekraft aufweisen und daher die Messergebnisse beeinflussen.

4.2 Auswertung der Gitterschnittbilder

ISO Klassifizierung	ASTM Klassifizierung	Description
0	5B	Die Schnittränder sind vollkommen glatt Kein Teilstück der Beschichtung ist abgeplatzt
1	4B	An den Schnittpunkten der Gitterlinie sind kleine Splitter des Anstriches abgeplatzt Die abgeplatzte Fläche beträgt ungefähr 5% der Teilstücke
2	3B	Der Anstrich ist längs der Schnittränder und/oder an den Schnittpunkten der Gitterlinie abgeplatzt Die abgeplatzte Fläche bewegt sich zwischen 5% und 15% der Teilstücke.
3	2B	Der Anstrich ist längs teilweise oder ganz abgeplatzt Die abgeplatzte Fläche liegt zwischen 15% und 35% vom Ganzen
4	1B	Der Anstrich ist längs der Schnittkanten in breiten Streifen oder sogar in einzelnen Teilstücken ganz abgeplatzt Die abgeplatzte Fläche bewegt sich zwischen 35% und 65% der Teilstücke.
5	0B	Jeglicher Grad von abgeplatzten Flächen, der nicht mehr mit ISO 4 oder ASTM 1B beschrieben werden kann

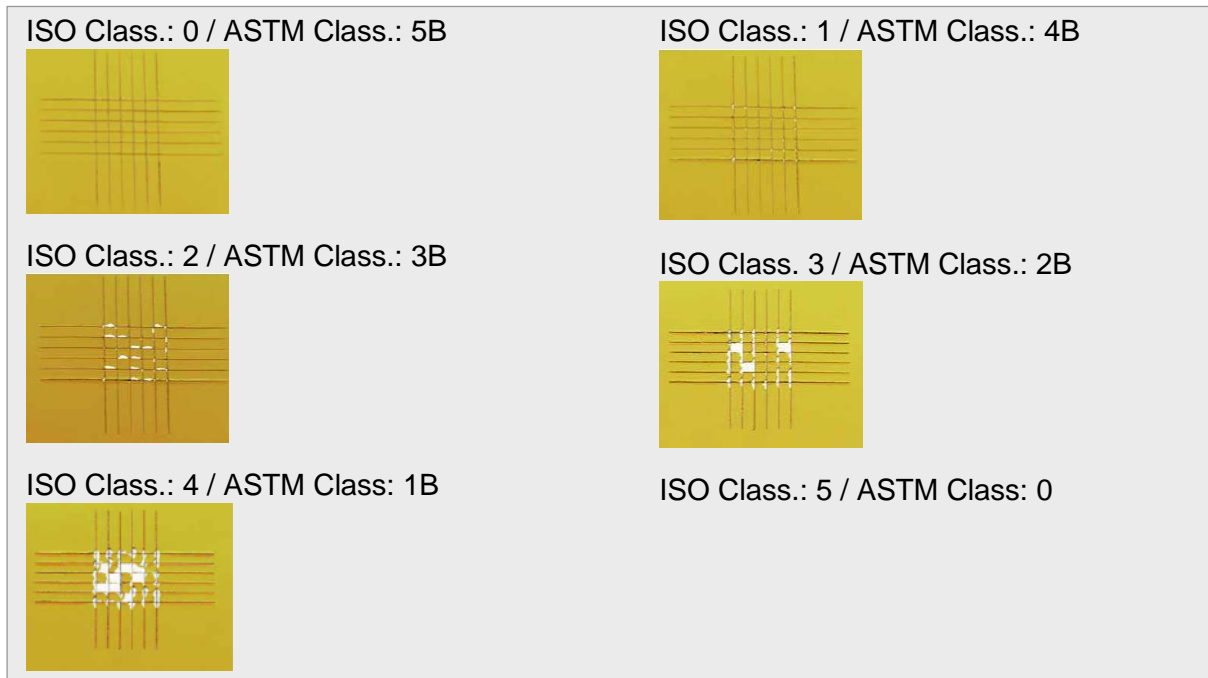


Abb. 7: Auswertung von Gitterschnittbildern

5 Ritzhärte Prüfung

Diese Prüfmethode dient zur Beurteilung der Haftfestigkeit von Schichtsystemen, wie z.B. Lacke und Anstrichstoffe auf ebenen und glatten Probenplatten. Das Probenmaterial wird mit einheitlicher Schichtdicke auf mehrere ebene Prüfbleche mit gleicher Oberflächenbeschaffenheit aufgetragen. Nach dem Trocknen wird die Haftfestigkeit bestimmt, indem die Bleche gegen einen abgerundeten Stift oder Meißel geführt werden, der mit Gewichten belastet werden kann, bis sich die Lackschicht vom Untergrund löst. [4,5]

Die Auswertung des Ritzhärte tests wird in erster Linie visuell durchgeführt. Die Ritzhärte Prüfungen simulieren dabei im Labor Belastungen, denen eine Oberfläche im Alltag ausgesetzt sein kann (Abb. 8, Abb. 9).

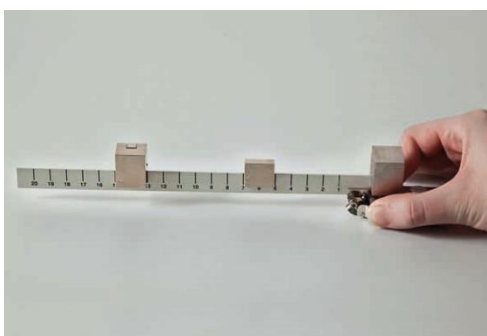


Abb. 8: Hoffman Ritzhärteprüfung



Abb. 9: Balanced Beam Scrape & Mar Tester

6 Abreißversuch – Pull-Off Prüfung

Der Pull-Off Test bestimmt die Lackhaftung auf einer Vielzahl von Substraten. Sowohl die Haftung auf dem Substrat, zwischen mehreren Lackschichten als auch innerhalb einer Lackschicht werden objektiv und mit minimalem Anwendereinfluss beurteilt. Bei diesem sogenannten Abreißtest oder Stempeltest werden Prüfstempel mit einer planen und sauberen Kontaktfläche auf die Beschichtung mit einem 2K-Kleber aufgebracht (Abb. 10). Unmittelbar nach Ablauf der Härtungsdauer des Klebstoffes wird die Prüfanordnung mit dem Haftfestigkeits-Prüfgerät beurteilt, das sowohl als manuelle als auch automatisierte Version erhältlich ist (Abb. 11). Dabei müssen die Prüfstempel so ausgerichtet sein, dass die Zugkraft gleichmäßig über die Prüffläche ohne Biegemoment aufgebracht wird. Anschließend wird die Zugspannung mit einer Geschwindigkeit, die höchstens 1 MPa/s betragen darf, senkrecht zur Ebene des beschichteten Substrates so erhöht, dass der Bruch innerhalb von 90 s nach Beginn der Spannungsaufnahme erfolgt. Es wird die Zugspannung beim Bruch der Klebeverbindung gemessen. [6,7,8,9]

6.1 Pull-Off Testgerät

Der Pull-off Tester bietet einige Vorteile (Abb. 11). Es ist handlich und hat eine einfache Bedienung in jeder Position. Es kann mit einem Akku betrieben werden und ist ideal für Labor- und Außenanwendungen. Das große, einfach abzulesende LCD-Display in den Einheiten PSI und MPa ist einfach zu verstehen. Durch die günstigen Einweg-Stempel entstehen keine hohen Folgekosten. Selbstausrichtende Stempel ermöglichen Messungen auf glatten und unebenen Flächen, ohne das Messergebnis zu verfälschen. Die Hydraulikpumpe bietet ein Sicherheitsventil und der 2-Komponenten Spezialkleber kann für eine Vielzahl von Beschichtungen und Schichtdicken verwendet werden. Im internen Speicher können bis zu 200 Messergebnisse mit Angabe von maximaler Zugkraft, Zugeschwindigkeit und Testdauer abgespeichert werden. Unterschiedliche Stempelgrößen mit Durchmessern von 10, 14, 20 und 50 mm sind erhältlich.

6.2 Auswertung der Pull-Off Ergebnisse

Im Prüfbericht sind Angaben zur Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Datum und verwendeten Klebers aufzuführen. Angaben des Gerätes mit Hersteller und Typennummer sind ebenso wichtig wie eine Beschreibung des Lacksystems (Bindemittelbasis und Anzahl der Schichten). Die Zeitspanne und Bedingungen zwischen Verklebung, Prüfung und Durchmesser des verwendeten Prüfstempels sind zu beachten und bei Vergleichen immer gleich durchzuführen. Außerdem ist die Bruchstelle (in welcher Schicht) des Abrisses in % anzugeben (Abb. 12).

Praktischer Tipp:

- Es sollte die Verträglichkeit des Klebers mit dem Lackmaterial getestet werden. Bei einer Verfärbung oder einem Anlösen muss ein kompatibler Klebstoff verwendet werden.



Abb. 10: Stempel und Werkzeuge

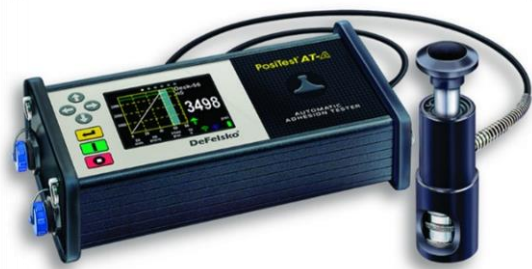


Abb. 11: PosiTest - Pull-off Tester

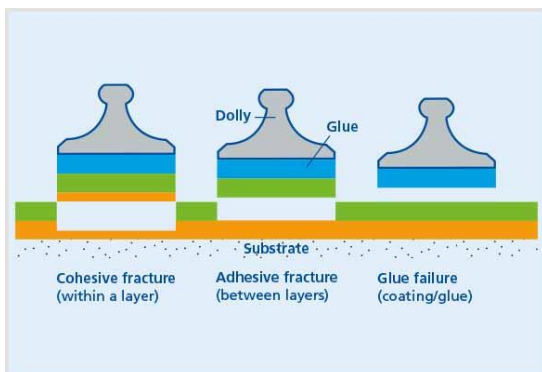


Abb. 12: Art des Bruches

7 Genauigkeit der Prüfmethode

7.1 Genauigkeit des Gitterschnittverfahrens DIN EN ISO 2409

Die Wiederholbarkeit r und Vergleichbarkeit R , liegen jeweils bei 95%. Dabei ist zu beachten, dass es sich um die gleiche Person, Substrat, Zeit (Probenalter und Zeitpunkt des Gitterschnitts) und Umgebungsbeschaffenheit (Temperatur und Luftfeuchtigkeit) handeln muss. [1,2,3,10]

- Die Wiederholgrenze r beträgt nach Norm 1 Gitterschnitt-Kennwert.
- Die Vergleichsgrenze R beträgt nach Norm 2 Gitterschnitt-Kennwerte.

7.2 Genauigkeit der Ritzhärte-Prüfung ASTM D3359

Beim Ritzhärte-Test ist das Ritzwerkzeug ein Verbrauchsgegenstand. Dieses nutzt sich besonders bei harten Schichten schnell ab. Um eine gleichbleibende Qualität zu gewährleisten, sollte das Ritzwerkzeug regelmäßig unter dem Mikroskop kontrolliert werden. Als Richtwert gilt, dass ein Diamantindenter ca. 100 - 200 Messungen bei harten Beschichtungen aushält. [3,4]

7.3 Genauigkeit des Abreißversuchs EN ISO 16276-1

Die Geräte sind kalibriert und zertifiziert auf $\pm 1\%$ Genauigkeit mit einer NIST- rückführbaren Wägezelle und werden inklusive eines Kalibrierungszertifikat, das die Rückführbarkeit auf NIST belegt ausgeliefert. Die selbstausrichtenden Stempel ermöglichen eine genaue Messung. [5,6,7,8]

Beim Pull-Off Test sind Angaben zum Mischungsverhältnis, Trocknung, Lackchemie, Umgebungstemperatur, Luftfeuchtigkeit und Schichtdicke zu machen.

8 Zusammenfassung

Die Lackhaftung bestimmt, wie gut die Schutzschicht auf einer Oberfläche ihren Aufgaben gerecht wird. Das zugehörige Qualitätskriterium für die Haftung der Oberflächenbeschichtung wird als Haftfestigkeit bezeichnet. Für die Bestimmung dieser Eigenschaft kommen unterschiedliche Prüfmethode zum Einsatz. Das Ergebnis entscheidet darüber, ob ein Kunde beschichtete Teile akzeptiert oder die Lieferung zurückweist.

Der Gitterschnitt und der Ritzhärte-Test bieten die Möglichkeit eines schnellen Ergebnisses, wobei es wichtig ist, dass der Anwender Erfahrung hat in der Testausführung und die Testbedingungen definiert sind.

Der Stempelabriss ist zeitaufwendiger, bietet aber ein zuverlässiges und genaues Ergebnis. Die Bruchstelle und Schwachstelle des Lacksystems ist eindeutig definierbar und bietet dem Anwender eine hohe Sicherheit.

9 Literatur und Normen

- [1] DIN EN ISO 2409 Beschichtungsstoffe — Gitterschnittprüfung
- [2] DIN EN 927-3 Beschichtungssysteme für Holz im Außenbereich
- [3] ASTM D3359 Measuring Adhesion by Tape Test
- [4] ASTM D2197 Adhesion of Organic Coatings by Scrape Adhesion
- [5] ASTM D5178 Mar Resistance of Organic Coatings
- [6] DIN EN ISO 4624 Abreißversuch zur Bestimmung der Haftfestigkeit
- [7] EN ISO 16276-1 Beurteilung der Adhäsion/Kohäsion einer Beschichtung
- [8] ASTM D4541 Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers
- [9] ASTM D7234 Pull-Off Adhesion Strength of Coatings Portable Pull-Off Adhesion Testers
- [10] ASTM D3002 Evaluation of Coatings Applied to Plastics