FC 15

GEMEINSCHAFTSAUSSCHUSS
VERZINKEN E.V.

Franz Nieth, Alexander Hofmann und Uwe Kolb

Verfahren zur quantitativen Bestimmung der Haftfestigkeit von Feuerverzinkungsüberzügen

Bericht Nr. 117 des Gemeinschaftsausschuß Verzinken e.V.

Sonderdruck aus der Fachzeitschrift
BLECH ROHRE PROFILE 37 (1990) 7/8, Seiten 471–473
und BLECH ROHRE PROFILE 37 (1990) 9, Seiten 555–557

Die Untersuchungen wurden von der Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschungsvereinigungen e.V. (AIF) gefördert.

Verfahren zur quantitativen Bestimmung der Haftfestigkeit von Feuerverzinkungsüberzügen

Franz Nieth, Alexander Hofmann und Uwe Kolb

1 Ausgangslage

In der Praxis der Feuerverzinkung treten immer wieder Unregelmäßigkeiten in der Qualität der Zinküberzüge auf, deren Ursachen bislang noch nicht geklärt sind. Die meisten Probleme gibt es dabei an kaltverformten Bauteilen. Die typischen Fehler sind unregelmäßige Verdickungen, Riefen (vor allem in Ziehrichtung) und besonders Abplatzungen. Diese Fehler führen zu aufwendigen Nacharbeiten oder – bei entsprechendem Schadensumfang – zu einer Neuverzinkung. Es erscheint notwendig, ein objektives Verfahren zur Prüfung der Haftfestigkeit zu entwickeln, das quantitative Ergebnisse zu liefern vermag. Zur Zeit ist ein solches Verfahren nicht verfügbar.

2 Bisherige Prüfung der Haftfestigkeit

Die einzelnen Prüfverfahren sind nicht zerstörungsfrei, sie unterscheiden sich hinsichtlich dem Umfang der Zerstörung. Die meiste Anwendung finden heute der in DIN 50978 genormte Haftfestigkeitsprüfer (HFP) und der Gelenkhammertest nach ASTM.

2.1 ASTM-Gelenkhammertest

Hierbei fällt ein drehbar gelagerter Hammer mit einer 90°-Schneide und einem definierten Gewicht aus der oberen Totpunktlage auf die waagrechte Zinkoberfläche. Auf diese Weise werden in einem festgelegten Abstand mehrere nebeneinanderliegende Kerben in die Zinkschicht eingebracht. Die Haftfestigkeit gilt als ausreichend, wenn die Zinkschicht zwischen den Kerbstellen nicht abplatzt. Es handelt sich um ein qualitatives Verfahren.

2.2 Haftfestigkeitsprüfer nach DIN 50978

Hier wird ein unter Federspannung stehender Schlagbär mit definierter Schlagenergie auf die Prüffläche geschleudert und hinterläßt die gleichen Eindrücke wie der Pendelhammer nach ASTM. Die Aussage ist nur qualitativ.

2.3 Reibversuch und Polierversuch

Bei diesen Verfahren wird durch Reiben mit einem zylindrischen Stift oder durch Reiben an einer Poliertrommel Wärme in die verzinkte Oberfläche eingebracht. Durch das unterschiedliche Ausdehnungsverhalten Eisen/Zink hebt sich bei schlechter Haftfestigkeit die Zinkschicht von ihrem Untergrund, vorwiegend bei dünnen Schichten.

2.4 Dehnungsversuch

Hier können Prüfstreifen, die aus dem Werkstück herausgeschnitten wurden, solange gestreckt werden, bis die ersten Risse oder Abplatzungen in der Zinkschicht sichtbar werden.

2.5 Wickelversuch

Drahtproben von 400 bis 500 mm Länge werden in dicht nebeneinanderliegenden Windungen zehnmal mit konstanter Wickelgeschwindigkeit um einen zylindrischen Dorn gewickelt. Dabei sollen an der Überzugsschicht keine Abplatzungen auftreten. Das in DIN 51213 beschriebene Verfahren ist nur auf Drähte anwendbar.

2.6 Biege- und Falzprüfung

Diese Verfahren werden hauptsächlich bei Blechen und Drähten angewendet. Bei der Biegeprüfung wird das Stück um 90°, bei der Falzprüfung um 180° gebogen. Die Haftfestigkeit ist ausreichend, wenn die Zinkschicht nicht abplatzt.

2.7 Querfaltversuch an Stahlrohren

Hier werden Rohrabschnitte von gleicher Länge wie der Rohrdurchmesser, aber nicht länger als 50 mm zwischen zwei parallelen Druckplatten auf ein Maß zusammengedrückt, das sich aus der Multiplikation des Rohraußendurchmessers mit einem von der Rohrnennweite abhängigen Faltbetrag ergibt.

Gemessen werden hierbei:
- d_1 = Ausgangsdurchmesser
- d_2 = Erste Überschiebungen innen
- d_3 = Erste Risse außen
- d_4 = Erste Abplatzungen

2.8 Drei-Körner-Prüfung

Dieses noch in der Erprobung befindliche Gerät benutzt drei in einem gleichschenkligen Dreieck angeordnete Körner aus gehärtetem Stahl als Eindringkörper in die Zinkoberfläche. Mit Hilfe eines Hydraulikzylinders wird die Probe in einem Spannrahmen gegen die drei Körner gedrückt. Beim Eindringen der Körnerspitzen wird beobachtet, bei welchem Öldruck die ersten Abplatzungen eintreten. Bei Versuchen an Rohrabschnitten aus St 35 drangen die Körnerspitzen voll in die Oberfläche, ohne daß Abplatzungen beobachtet wurden. Für weiche Stähle (St 35 und St 37) scheint sich demnach dieses Verfahren nicht zu empfehlen.

3 Quantitative Prüfung der Haftfestigkeit

3.1 Die Notwendigkeit

In der Praxis der Feuerverzinkung stellt das Erreichen der von DIN 50978 geforderten Haftfestigkeit im allgemeinen kein Problem dar. Allerdings zeigt die Erfahrung, daß zwar der in den meisten Fällen für die Feuerverzinkung verwendete allgemeine Baustahl St 37-2 relativ problemlos zu verzinken ist, höherfestere Werkstoffe jedoch zur Bildung von Zinkschichten mit schlechterer Haftfestigkeit neigen. Außerdem vermehrten sich in den letzten Jahren Haftfestigkeitsprobleme, die sich auf die Verwendung von Stahlsorten zurückführen lassen, die für die Feuerverzinkung ungeeignet sind. Insbesondere sind hier Stähle mit kritischen Siliziumgehalten zu nennen. Bei der Beurteilung von Haftfestigkeitsproblemen ist die der Häufigkeit des Auftretens von Schäden nur ein Aspekt; mindestens ebenso wichtig ist die Beurteilung der möglichen Tragweite einer Schädigung. Das derzeit genormte Prüfverfahren mit dem soge-

nannten Nieth-Hammer befriedigt hier nur zum Teil (DIN 50978). Das Verfahren ist auf die Prüfung von Zinkschichten beschränkt, die maximal eine Dicke von 150 μm aufweisen, was in der für größere Schichtdicken nicht ausreichenden Schlagenergie begründet ist. Zum anderen ergibt sich eine Einschränkung bezüglich der zu prüfenden Materialien, die eine vorgeschriebene Mindestwandstärke von 6 mm nicht unterschreiten dürfen. Bei geringeren Wandstärken würde die stoßartige Belastung auch eine dynamische Schwingung des Grundwerkstoffes im Kerbgrund nach sich ziehen und somit die Meßergebnisse verfälschen. Im Hinblick auf wissenschaftliche Belange und die Erfordernisse der Praxis (insbesondere für Schiedsverfahren) ist es wünschenswert, über ein Prüfverfahren zu verfügen, das mit hinreichender Genauigkeit reproduzierbare und quantitative Aussagen über die Haftfestigkeit einer Zinkschicht zuläßt.

3.2 Werkstoffkennwert und Belastungskollektiv

Für den Werkstoffkennwert bietet sich die Haftfestigkeit mit einer Zugspannung als quantitativer Ausdruck an. Zum Ablösen von Zinküberzügen wird es dann kommen, wenn die Haftfestigkeit des Überzugs auf dem Grundwerkstoff nicht ausreichend ist. Dieser Schadensfall soll möglichst vermieden und der Zeitpunkt unmittelbar vor dessen Eintreten als gerade noch zulässiger Grenzzustand akzeptiert werden. Die quantitative Ausprägung des Werkstoffkennwertes durch eine Zugspannung bietet den Vorteil einer reproduzierbaren Kenngröße, die sich als Resultat eines gut meßbaren einachsigen Spannungszustandes ermitteln läßt. Unter dem Begriff Haftfestigkeit soll das Verharren der Zinkschicht auf dem Grundwerkstoff bei einem noch zu definierendem Belastungskollektiv verstanden werden. Dem Werkstoffkennwert kann auf der Seite des Belastungskollektivs der Belastungskennwert gegenüberstehen, dessen Größe beispielsweise aus einer herkömmlichen Transport- und Montagebelastung auf experimentellem Wege mittels Simulation bestimmt und ebenfalls auf eine einachsige Zugbelastung reduziert werden könnte.

3.3 Entwurf eines Prüfverfahrens

Das zu entwickelnde Prüfverfahren muß neben der Fähigkeit, den Werkstoffkennwert ermitteln zu können, auch für den praktischen Einsatz tauglich sein; es muß in der Lage sein, entsprechende Kennwerte von herkömmlichen Bauteilen auf relativ einfache Weise zu liefern, ähnlich wie es der Nieth-Hammer für die genannten Anforderungen realisiert. Das hierfür von Bablik[1] entwickelte Verfahren ist für die Praxis ungeeignet, da die Versuchsvorbereitungen kompliziert sind und ausschließlich spezielle Probenmaterialien verwendet werden können: Bablik und Mitarbeiter haben die Haftfestigkeit von Zinküberzügen dadurch getestet, daß sie Probeblättchen aus Stahl gleichzeitig mit zwei Spannzylindern verzinkten. Die Spannköpfe und die jeweiligen Probenblättchen wurden dabei in flüssigem Zink in einer Vorrichtung zusammengepreßt. Nach dem Erkalten konnten die durch das Probeblättchen verbundenen Spannzylinder in einer Zerreißmaschine auseinandergezogen werden. Die aufgebrachte Kraft, bezogen auf die Rißfläche, ergab sodann den Haftfestigkeitswert in der entsprechenden Dimension. Auf einer ähnlichen Methodik basiert das Stirnabzugsverfahren, das beispielsweise zur Prüfung von Lackschichten verwendet wird. Bei dem Stirnabzugsverfahren wird ein zylindrischer Prüfstempel mit definierter Fläche auf die zu prüfende Schicht aufgeklebt und mit einer senkrecht zur Abzugsfläche aufgebrachten Kraft abgezogen. Die Art der Ergebnisse sind denen von Bablik gleich; man erhält hier ebenfalls eine Kraft bezogen auf eine definierte Fläche (Zugspannung). Diese Versuchsmethodik soll als Grundlage für die Entwicklung eines neuen Prüfverfahrens dienen. Für das Stirnabzugsverfahren existieren bereits geeignete Versuchsapparaturen, die allerdings für die Belange der Haftfestigkeitsprüfung von feuerverzinkten Überzügen modifiziert werden müßten.

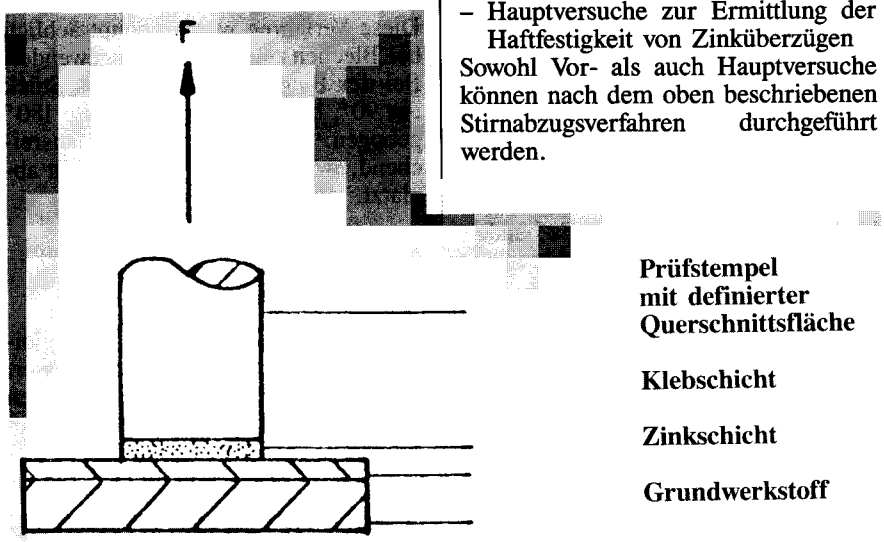

Bild 1. Versuchsanordnung schematisch

4 Verfahren zur Prüfung der Haftfestigkeit

4.1 Versuchsmethodik

Die Haftfestigkeitsprüfung basiert auf dem Prinzip des Stirnabzugsverfahrens. Ein zylindrischer Prüfstempel wird auf die zu untersuchende Zinkschicht aufgeklebt und durch eine senkrecht zur Abzugsfläche aufgebrachten Kraft mit einer Kraftanstiegsgeschwindigkeit von 500 N/s belastet (Bild 1). Dieses Prinzip erlaubt die Ermittlung einer Kraft F, die zum Abtrennen der Zinkschicht vom Grundwerkstoff benötigt wird. Bezogen auf die Querschnittsfläche A des Prüfstempels kann somit die Haftfestigkeit H der überprüften Zinkschicht in der zutreffenden Maßeinheit bestimmt werden.

$$H = F/A \qquad [N/mm^2]$$

4.2 Versuchsgliederung

Da bei der gewählten Versuchsmethodik der Klebstoff unter Umständen eine Schwachstelle darstellen kann, ist für den erfolgreichen Verlauf der Versuche die Zugfestigkeit des Klebstoffs ausschlaggebend. Der Auswahl der Klebstoffe kommt damit eine entscheidende Bedeutung zu. Deshalb wird die Haftfestigkeitsprüfung in zwei Versuchsabschnitte untergliedert:

- Vorversuche zur Bestimmung des Klebstoffes mit der besten Zugfestigkeit
- Hauptversuche zur Ermittlung der Haftfestigkeit von Zinküberzügen

Sowohl Vor- als auch Hauptversuche können nach dem oben beschriebenen Stirnabzugsverfahren durchgeführt werden.

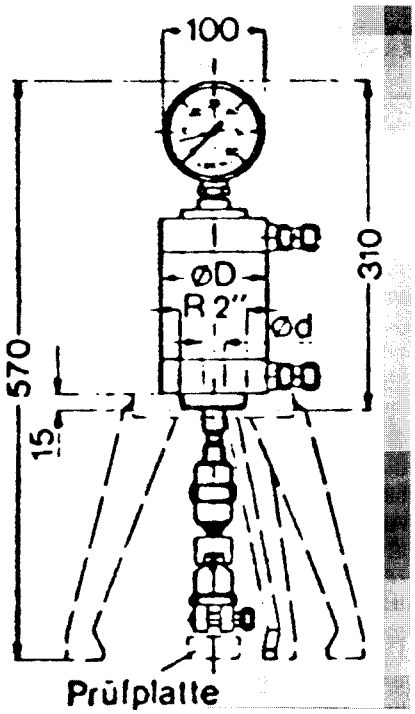

Bild 2. Prüfgerät zum Abziehen der aufgeklebten Plättchen

4.3 Beschreibung des Prüfstandes und der technischen Kenngrößen

Es wurde ein Haftprüfgerät verwendet, das von der Firma Herion in Verbindung mit dem Otto-Graf-Institut der Universität Stuttgart entwickelt wurde und zur Ermittlung der Haft- bzw. Zugfestigkeit der verschiedensten Werkstoffe verwandt werden kann. Für die speziellen Anforderungen der Haftfestigkeitsprüfung von feuerverzinkten Überzügen mußte die Apparatur modifiziert werden. Das Haftprüfgerät ist nach dem Baukastenprinzip konstruiert und kann durch eigene Zusatzkonstruktionsteile auf spezielle Anforderungen erweitert werden. Es besteht im wesentlichen aus der Druckerzeugereinheit, dem Zugkolben und dem Gestell (Bild 2). Für die Haftfestigkeitsbestimmung von Zinküberzügen wurde ein Dreibein benutzt.

4.4 Versuchsablauf

4.4.1 Materialbeschaffung und Auswahl

Die Materialbeschaffung und -auswahl umfaßte zwei Bereiche:
- Klebstoffbeschaffung und Auswahl
- Prüfmaterialbeschaffung und Auswahl

Klebstoffbeschaffung und Auswahl
Mit dem Ziel, einen Klebstoff mit größtmöglicher Zugfestigkeit zu finden, wurden 23 Klebstoffe deutscher Hersteller untersucht. Die Klebstoffe sollten dabei für folgende Einsatzbedingungen geeignet sein:
- Reine Zugbelastung
- Rein statische Belastung
- Raumtemperatur 20 °C bei gewöhnlicher Luftfeuchtigkeit
- Keine agressiven Umgebungsmedien
- Erwünscht: Einfache Verarbeitbarkeit des Klebstoffs

Prüfmaterialbeschaffung und Auswahl.
Wichtig war die Auswahl eines Zinküberzugs mit guter Haftfestigkeit, da bei den Vorversuchen eine Trennung in der Klebstoffschicht angestrebt wurde und ein Abziehen von Zinkschichtteilen vermieden werden sollte. Da dies nicht vorab ausgeschlossen werden konnte, wurden für den Fall, in dem wesentliche Zinkpartikel abgezogen wurden, Bauteile aus St 37-2 als ergänzendes Prüfmaterial verwendet. Hiermit standen bei Bedarf weitere Zugfestigkeitswerte zur Verfügung. Für die Vorversuche wurden feuerverzinkte Bleche sowie unverzinktes Profilmaterial aus Lagerbeständen des Instituts für Werkstoffkunde der TH-Darmstadt verwendet.

Wesentlich aufwendiger waren Beschaffung und Auswahl der Prüfstücke für die Hauptversuche. Aus dem Umstand, daß bis heute noch kein Klebstoff auf dem Markt existiert, der annähernd die Zugfestigkeit erreicht, die optimale Zinküberzüge besitzen [2], richtete sich bei der Beschaffung und Auswahl der Prüfungsmaterialien das Augenmerk zunächst auf solche Prüfstücke, von denen angenommen werden konnte, daß sie qualitativ schlechte Zinküberzüge besaßen und eine Trennung in der Zinkaufbauschicht zu erwarten war. Zu diesem Zweck wurde eine erste Vorauswahl nach solchen Kriterien getroffen, die auf eine mangelnde Haftfestigkeit schließen ließen.

Als Vorauswahlkriterien kamen somit in Betracht:
- Herstellerhinweise auf Qualität der Haftfestigkeit
- Haftfestigkeitsprüfungsergebnisse nach DIN 50978
- Gesamterscheinungseindruck des Zinküberzugs (Farbe, Glanz, Rauhigkeit, Oberflächenstruktur, Risse)

In einem weiteren Schritt wurde eine Differenzierung nach
- Profilform
- Wandstärke
- Zinkschichtdicke

vorgenommen.

Die Bestimmung der Zinkschichtdicke wurde nach der Methode des zerstörungsfreien Meßverfahrens, basierend auf dem elektromagnetischen Meßprinzip, durchgeführt [1]. Hierzu wurde ein Meßgerät der Firma Helmut Fischer & Co. Maichingen mit der Bezeichnung Permascope, Typ ES 4d314a verwendet.

4.4.2 Versuchsdurchführung

Vorbehandlung
Profilstücke wurden auf eine Länge von ungefähr 30 bis 40 cm zugeschnitten und mittels einer Schleifbürste geschliffen, die in das Spannfutter einer Standbohrmaschine eingespannt war. Angelegt wurde ein Kreuzschliff. Die von vielen Klebstoffherstellern geforderte rauhe Prüfstückoberfläche aller Proben wurde im Ultraschallreiniger mit Trichloräthan entfettet.

Aufkleben der Prüfstempel
Hier ergaben sich bezüglich der verwendeten Klebstoffe unterschiedliche Auftragsmethoden. Je nach Verarbeitungsvorschrift härteten die Klebstoffe warm oder kalt aus. Bei den Hauptversuchen wurde ein bei 180 °C aushärtender Klebstoff verwendet, der nach Herstellerangaben nach rund 40 min seine angegebene Zugfestigkeit erreichte. Da eine konstante Dicke der Klebstoffschicht nicht gewährleistet werden konnte, wurden die Proben grundsätzlich einer längeren Ofenzeit ausgesetzt. Negative Einflüsse auf die Haftfestigkeit der Klebeverbindung, bedingt durch längere Aushärtzeiten, konnten ausgeschlossen werden. Vergleichsklebungen mit unterschiedlichen Aushärtzeiten haben dies bestätigt. Die Prüfstücke kühlten bei Raumtemperatur ab.

Fräsen
Das Fräsen einer Ringnut um den Prüfstempel war nötig, um eine definierte Abzugsfläche zu erzielen. Die Nut dient als Auflagefläche für das Führungsrohr und muß im rechten Winkel zur Prüfstempelachse liegen, um Biegemomente zu vermeiden.

5 Schrifttum

[1] Nieth, F.
Die Haftfestigkeit feuerverzinkter Überzüge
Bänder Bleche Rohre 1973, S. 95–102

[2] Bablik, B.; Krystof, J.; Götzl, F.
Die Haftfestigkeit von Zinküberzügen, 6. Internationale Verzinkertagung, Interlaken 1961

Verfahren zur quantitativen Bestimmung der Haftfestigkeit von Feuerverzinkungsüberzügen – Meßergebnisse

Franz Nieth, Alexander Hofmann, Uwe Kolb

Zur praxisnahen Prüfung der Haftfestigkeit von Zinküberzügen, die durch Feuerverzinken aufgetragen wurden, ist eine Prüfmethode entwickelt worden*. Diese Haftfestigkeitsprüfung beruht auf dem Prinzip des Stirnabzugsverfahrens. Dabei wird ein zylindrischer Prüfstempel auf die zu untersuchende Zinkschicht aufgeklebt und durch eine senkrecht zur Abzugsfläche aufgebrachte Kraft belastet. Das Prinzip erlaubt die Ermittlung der Kraft, die zum Abtrennen der Zinkschicht von dem Grundwerkstoff benötigt wird.

1 Versuchsergebnisse

1.1 Die Vorversuche

Vorversuchsreihen dienten der Ermittlung eines optimalen Klebstoffs für die Haftfestigkeitsprüfung. In einigen Versuchen wurde teilweise Zink abgelöst, so daß die zugehörigen Klebstoffe für die Haftfestigkeitsprüfung nicht in Betracht kamen. Aufgrund der guten Verarbeitungs- und Festigkeitseigenschaften wurde schließlich ein Klebstoff für alle weiteren Versuche ausgewählt.

1.2 Die Hauptversuche

Die Hauptversuchsreihen wurden auf verzinkten Blechen durchgeführt, deren Zinkschicht bis zu 500 μm war. Die beiden Versuchsreihen unterschieden sich durch die Verweildauer der Prüfstücke im Trockenofen: 40 min und 160 min bei einer Temperatur von je 150 °C. Eine längere Trockenzeit führte zu besseren Zugfestigkeiten des Klebstoffes. Während der Hauptversuche wurden die Prüfstücke 2 Stunden lang der maximal zulässigen Trockentemperatur von 180 °C ausgesetzt. Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse derjenigen Hauptversuche, die bei den späteren Auswertungen Verwendung fanden.

2 Auswertung

2.1 Eignung des Prüfverfahrens

Das entwickelte Prüfverfahren ist dann als geeignet zu bezeichnen, wenn es einerseits durchführbar und praktikabel ist und andererseits aussagefähige Ergebnisse zu liefern vermag. Diese drei Anforderungen werden im folgenden in der genannten Reihenfolge behandelt; daraus resultierend wird der Anwendungsbereich des Verfahrens abgegrenzt.

2.1.1 Durchführbarkeit

Das Prüfverfahren ist durchführbar, wenn die vorhandenen Apparaturen und Hilfsmittel für den Verfahrens-

Tabelle 1. Ergebnisse der Hauptversuchsreihen

Versuchs-Nr.	Klebstoff Nr.	mittlere Abriß-spannung [N/mm²]	Streuung [N/mm²]	Kürzel für den Rißort	Anzahl der Messungen
H 155	1	35,60	9,20	K	10
H 156	1	33,31	6,86	K	10
H 159	1	29,38	8,46	KZ	10
H 161	1	28,35	14,01	KZ	10
H 162	1	16,55	2,61	Z	10
H 117	1	23,91	15,01	K;Z	7
H 150	1	14,24	3,78	Z	7
H 163	1	8,05	2,64	K	7
H 129	1	7,15	1,50	KZ	10
H 120	1	10,90	3,45	K;Z	10
H 121	1	7,25	2,58	Z	10
H 122	1	11,04	3,74	Z	10
H 125	1	9,77	2,91	Z	10
H 127	1	9,40	2,72	Z	10
H 128	1	10,49	2,36	Z	10
H 130	1	8,92	2,52	Z	10
H 137	1	4,43	1,80	Z	10
H 131	1	–	–	–	–
H 134	1	14,49	4,67	KZ	10
H 114	1	8,65	1,59	Z	9
H 138	1	3,52	2,81	KZ	10
H 140	1	13,53	3,78	Z	10
H 133	1	24,69	7,79	Z	10
H 142	1	19,38	5,56	Z	10
H 146	1	21,88	4,58	Z	10
H 148	1	24,98	6,93	Z	10
H 164	1	–	–	–	–

Z: Rißort Zink
K: Rißort Klebstoff
KZ: Rißort zwischen Klebstoff und Zinkoberfläche
K;Z: Rißort sowohl Klebstoff als auch Zinkschicht

* BLECH ROHRE PROFILE 37 (1990) 7/8, Seite 471–473

zweck geeignet sind. Das beschriebene Prüfgerät ist für den Zweck, eine axiale Zugbelastung aufzubringen, grundsätzlich geeignet und wurde bei ähnlichen Anwendungen (Prüfung von organischen und anorganischen Beschichtungsstoffen wie Beton, Bitumen, Mörtel, Farb- und Lackschichten, Klebstoffen und Kunststoffbeschichtungen) bereits eingehend erprobt. Durch ausführliche Vorversuchsreihen zur Klebstoffauswahl konnte ein Klebstoff ausgewählt werden, der eine hinreichende Zugfestigkeit hinsichtlich der Anforderungen der Haftfestigkeitsprüfungen aufwies. Obwohl die Leistungen des ausgewählten Klebstoffs dem Stand der Technik entsprechen, sind sie dennoch als noch nicht optimal zu bezeichnen. Zinkschichten mit guter Haftfestigkeit lassen sich zwar kaum abziehen, sehr wohl aber Zinkschichten mit geringerer Haftfestigkeit. Die Durchführbarkeit des Verfahrens ist also grundsätzlich als gegeben zu bezeichnen.

2.1.2 Praktikabilität

Als praktikabel ist das Verfahren dann zu bezeichnen, wenn es sich, gemessen an dem Verfahrenszweck, mit vertretbarem Aufwand durchführen läßt. Die mit den Versuchsstanderweiterungen ausgerüstete Prüfapparatur ist einfach handhabbar, da aufwendige Zentriervorgänge bezüglich der drei Raumachsen entfallen. Das entwickelte Haftfestigkeitsprüfverfahren insgesamt ist hingegen nur mit relativ großem Aufwand durchführbar, da wegen unerläßlicher Vorarbeiten eine Vielzahl von Verarbeitungsschritten durchzuführen ist. Insbesondere sind folgende Fehlerquellen zu beachten:
Unterschiedliche Kleberchargen weisen zum Teil starke Schwankungen bezüglich ihrer Festigkeitswerte auf. Neue Chargen müssen daher grundsätzlich vor ihrem Einsatz überprüft werden. Als ausschlaggebend für die Qualität der Verklebung hat sich die Oberflächenbeschaffenheit und deren Vorbehandlung erwiesen. Des weiteren zeigte sich, daß die von den Klebstoffherstellern angegebenen Aushärtezeiten sich eher an der unteren Grenze als im Mittel des Bereichs der optimalen Aushärtedauer orientierten. Eine Überprüfung wird angeraten. Längere Verweilzeiten im Härteofen zeigten tendenziell positive Auswirkungen auf die Bindefestigkeit der Klebstoffe. Bei umluftbetriebenen oder unter Schwingungseinfluß stehenden Härteöfen muß das Fixieren der Prüfstempel empfohlen werden, da diese aufgrund der nach der Verklebung noch geringen Viskosität der Klebschicht zum Abschwimmen neigen. Im Falle eines Abschwimmens kann keine ausreichend feste Klebeverbindung erzielt werden. Für Betriebsprüfungen im Rahmen einer Fertigungs- und Qualitätskontrolle ist demgemäß der Aufwand als nicht vertretbar, das Prüfverfahren somit als wenig geeignet zu bezeichnen. Gut geeignet erscheint hingegen das Verfahren für Laborprüfungen zu wissenschaftlichen Zwecken und bei Schiedsverfahren. Allgemeiner formuliert läßt sich der Aufwand stets dann rechtfertigen, wenn hinreichend exakte qualitative Aussagen über die Haftfestigkeit benötigt werden. In anderen Fällen empfiehlt sich eher der Einsatz schnell durchführbarer, herkömmlicher qualitativer Prüfverfahren.

2.1.3 Aussagefähigkeit

Hinsichtlich der Beurteilung der Aussagefähigkeit der gewonnenen Versuchsergebnisse als Kennwert für die Haftfestigkeit der Zinküberzüge sollen zwei unterschiedliche Fragen behandelt werden. Zum einen wird untersucht, ob die prinzipielle Verfahrensmethodik, die durch das Aufbringen einer einachsigen Zugbelastung bis zur Trennung beschrieben wird, grundsätzlich geeignet ist, relevante Versuchsergebnisse zur Beurteilung der Haftfestigkeit zu liefern. Zum anderen wird die Aussagekraft der gewonnenen Ergebnisse als Kennwert für die Haftfestigkeit mittels statistischer Verfahren überprüft. Vorab ist noch zu bemerken, daß sich ein Vergleich des derzeit genormten Haftfestigkeitsprüfverfahrens (Nieth-Hammer) mit dem entwickelten Verfahren nicht durchführen ließ, da hierfür nur eine unzureichende numerische Basis vorhanden war: nur bei zwei Prüfstücken war die Haftfestigkeit bei der Prüfung mit dem Nieth-Hammer nicht gegeben.

3 Zusammenfassung

Im Hinblick auf die Belange wissenschaftlicher Zwecke und die Erfordernisse der Praxis ergab sich die Forderung, über Prüfverfahren zu verfügen, die mit hinreichender Genauigkeit reproduzierbare, quantitative Aussagen über die Haftfestigkeit der Zinkschicht zulassen. Die Entwicklung eines verbesserten Verfahrensprinzipes zur Prüfung der Haftfestigkeit basiert darauf, daß die Funktion feuerverzinkter Überzüge nicht versagen darf. Ein Versagen tritt immer dann ein, wenn je nach Kombination von Eigenschafts- und Belastungskollektiv sich ein ganz bestimmtes Beanspruchungskollektiv ergeben wird. Einen definierten Zinküberzug, der allen Belastungsfällen in gleicher Weise gerecht wird, wird es nicht geben. Komplexeigenschaft und Komplexbelastung können aber analysiert, gemessen und normiert werden, so daß für das vollständige Eigenschaftskollektiv im Idealfall ein Kennwert zu Verfügung steht, der im Vergleich mit einem Kennwert des Belastungskollektivs eine quantitative Aussage über das Beanspruchungskollektiv, und damit über das Eintreten oder Nichteintreten eines Schadenfalls zuläßt. Für den Werkstoffkennwert bietet sich die Haftfestigkeit mit einer Zugspannung als quantitativer Ausdruck an. Die quantitative Ausprägung des Werkstoffkennwertes durch eine Zugspannung bietet den Vorteil einer reproduzierbaren Kenngröße, die sich als Resultat eines gut meßbaren einachsigen Spannungszustandes ermitteln läßt. Dem Werkstoffkennwert kann auf der Seite des Belastungskollektivs der Belastungskennwert gegenüberstehen, dessen Größe beispielsweise aus einer herkömmlichen Transport- und Montagebelastung auf experimentellem Wege mittels Simulation bestimmt und ebenfalls auf eine einachsige Zugbelastung reduziert werden könnte. Die Versuchsmethodik des Stirnabzugsverfahrens diente als Grundlage für die Entwicklung eines neuen Prüfverfahrens; zusätzlich wurden die praktische Tauglichkeit des neuen Verfahrens und die Aussagefähigkeit der gewonnenen Kennwerte berücksichtigt. Die Versuchsdurchführung wurde nach zwei Gesichtspunkten vollzogen:

- Bestimmung eines Klebstoffs mit der besten Bindefestigkeit
- Ermittlung von Haftfestigkeitswerten feuerverzinkter Überzüge.

Das beschriebene Prüfgerät ist für den Zweck des Aufbringens einer einachsigen Zugbelastung grundsätzlich geeignet. Durch ausführliche Vorversuchsreihen zur Klebstoffauswahl konnte ein Klebstoff ausgewählt werden, der eine hinreichende Zugfestigkeit hinsichtlich der Anforderungen der Haftfestigkeitsprüfungen aufwies. Zinkschichten mit guter Haftfestigkeit lassen sich zwar kaum, Zinkschichten mit geringerer Haftfestigkeit aber verhältnismäßig gut abziehen. Die mit den Versuchsstand-

erweiterungen ausgerüstete Prüfapparatur ist einfach handhabbar, da aufwendige Zentriervorgänge bezüglich der drei Raumachsen entfallen. Das entwickelte Haftfestigkeitsprüfverfahren ist nur mit relativ großem Aufwand durchführbar, da wegen unerläßlicher Vorarbeiten eine Vielzahl von Verarbeitungsschritten durchzuführen ist. Für Betriebsprüfungen im Rahmen einer Fertigungs- und Qualitätskontrolle ist demgemäß der Aufwand als nicht vertretbar, das Prüfverfahren somit als wenig geeignet zu bezeichnen. Gut geeignet erscheint es hingegen für Laborprüfungen, zu wissenschaftlichen Zwecken und bei Schiedsverfahren. Der hohe Aufwand läßt sich immer dann rechtfertigen, wenn hinreichend exakte quantitative Aussagen über die Haftfestigkeit benötigt werden. In anderen Fällen empfiehlt sich eher der Einsatz schnell durchführbarer, herkömmlicher qualitativer Prüfverfahren.

Der Versuch, aus den gewonnenen Versuchsergebnissen wichtige Einflußparameter auf die Haftfestigkeit feuerverzinkter Überzüge abzuleiten, führte nur teilweise zum Erfolg. Als problematisch erwies sich einerseits der – für statistische Auswertungen – relativ geringe Stichprobenumfang und andererseits das Fehlen von wichtigem Datenmaterial (fertigungstechnische Vorgeschichte, Oberflächenvorbehandlung, Verzinkungsbedingungen). Signifikante Einflüsse aus der Dicke und dem Oberflächenaussehen der Zinkschicht sowie aus den Parametern der verwendeten Profile ließen sich nicht ableiten. Für einen größeren Anwendungsbereich des Stirnabzugsversuchs als Haftfestigkeitsprüfung von Zinkschichten wäre eine wesentlich höhere Zugfestigkeit der Klebverbindungen wünschenswert. Bei den Vorversuchen wurde als Optimalwert aus 23 verschiedenen Klebstoffen 30 N/mm^2 Zugfestigkeit im Klebstoff selbst ermittelt. Die Hauptversuche erbrachten 35 N/mm^2 Zugfestigkeit bei Bruch im Klebstoff. In der Zinkschicht wurden Brüche bei maximal 25 N/mm^2 Zugspannung erreicht. Demgegenüber ermittelten Bablik, Krystof und Götzl [2] an Zugproben, die im Zinkbad zusammengewachsen sind Haftfestigkeiten zwischen 40 und 120 N/mm^2. Die derzeit verfügbaren Klebstoffe erlauben nach den vorliegenden Versuchsergebnissen Haftfestigkeitsprüfungen bis zu 35 N/mm^2 Haftfestigkeit der Zinkschicht. Bessere Haftfestigkeiten sind noch nicht quantitativ prüfbar.

4 Schrifttum

[1] Nieth, F.
Die Haftfestigkeit feuerverzinkter Überzüge
Bänder Bleche Rohre 1973, 95–102

[2] Bablik, B.; Krystof, J.; Götzl, F.
Die Haftfestigkeit von Zinküberzügen
6. Internationale Verzinkertagung, Interlaken 1961