

**SCHRIFTENREIHE GALVANOTECHNIK
UND OBERFLÄCHENBEHANDLUNG**

Das Tampongalvanisieren

von Dr. Marvin Rubinstein

mit 143 Abbildungen und 22 Tabellen



EUGEN G. LEUZE VERLAG · D-7968 SAULGAU/WÜRTT.

Verlag der Fachzeitschrift „Galvanotechnik“

Vorwort

Nachdem die Industrie und vor allem der Wartungs- und Reparaturssektor in den letzten zwei bis drei Jahrzehnten entdeckt hatten, daß es möglich ist, galvanische Schichten nicht nur im Tauchverfahren, sondern auch durch „Bestreichen“ aufzubringen, hat das früher nur zum Ausbessern fehlerhafter Schichten benutzte Tampon-, Pinsel- oder Bürstverfahren eine erhebliche Weiterentwicklung erfahren. Es wurde eine Serie von Hochleistungselektrolyten entwickelt, die das schnelle Abscheiden von Metallen und Legierungen mit definierten und steuerbaren chemischen und physikalischen Eigenschaften ermöglichen. Verfeinert wurden auch die Werkzeuge und Vorrichtungen zum Auftragen der Schichten und eine durchrationalisierte Anlagentechnik brachte die Methode auf das Niveau eines industriellen Verfahrens.

Inzwischen hat das Tampongalvanisieren weite Anwendung zur Reparatur und zum Ausbessern von beschädigten und verschlissenen Teilen in der Luft- und Schifffahrt, im Eisenbahnwesen, in der Druck- und chemischen Industrie, im Bergwerksbetrieb, in der Militärtechnik und auf vielen anderen Gebieten gefunden. Zu den neuesten Einsatzgebieten gehört die Leiterplatten-Fertigung und -Instandsetzung sowie die Fertigung kleiner Serien und von Prototypen gedruckter Schaltungen.

Bis vor kurzem gab es in der Literatur keine zusammenfassende Übersicht dieses Verfahrens und seiner Anwendungsmöglichkeiten. Deshalb rief die in der Fachzeitschrift „Galvanotechnik“ in den Jahren 1982 bis 1985 veröffentlichte Aufsatzserie von Dr. Rubinstein großes Interesse nicht nur in der galvanischen Fachwelt, sondern vor allem bei den Nutzern dieses Verfahrens in den erwähnten Industriezweigen hervor.

Um allen Interessenten, vor allem aber Ingenieuren, Technikern und leitenden Mitarbeitern in diesen Branchen, in denen die „Galvanotechnik“ üblicherweise nicht regelmäßig gelesen wird, zusammenfassende Unterlagen über das Tampongalvanisieren und seine Anwendung zur Hand zu geben, hat sich der Eugen G. Leuze entschlossen, die Aufsatzreihe als Buch zu verlegen. Die einzelnen Aufsätze wurden als Kapitel übernommen und weitere kleinere Änderungen durchgeführt, die die Buchform erforderlich macht.

Bei der Übersetzung mußte auf den Umstand Rücksicht genommen werden, daß die Terminologie dieses sehr spezifischen Gebietes zum größten Teil im angelsächsischen Raum entstanden ist. Es wurde daher versucht, möglichst zutreffende deutsche Ausdrücke zu finden und notfalls wurden Termine beschrieben. Dr. Rubinstein nennt das Verfahren „Selective (brush) Plating“, um eine der Anwendungsmöglichkeiten zu verdeutlichen. Aus Verständlichkeitsgründen wurde im Deutschen dagegen der Ausdruck „Tampongalvanisieren“ gewählt, der die Verfahrensdurchführung kennzeichnet und das Verfahren unserer Meinung nach besser beschreibt.

1 Geschichtliches, Vorteile und Nachteile

1.1 Einleitung

In der Vergangenheit wurde das Tampongalvanisieren ausschließlich zum Ausbessern fehlerhafter Überzüge benutzt. Man nannte es auch *Pinsel-, Berührungs-, Kontakt- oder Punktgalvanisieren*. Solange es ausschließlich dem erwähnten Zweck diente, überschritt es die Bedeutung eines sehr beschränkt anwendbaren Verfahrens nicht.

Galvanotechniker benutzten es gelegentlich, um ihren Chef oder einen Kunden zu täuschen, während Laien darin einen Kunstgriff zum „veredeln“ von Humpen, Schmuck oder Tafelsilber sahen. Die Einrichtung war primitiv und der Elektrolyt wurde entweder einem normalen Bad entnommen oder aufgrund von Angaben in Handbüchern oder ähnlicher Literatur zusammengestellt.

Das „alte“ Tampongalvanisieren gehört heute der Vergangenheit an. Ältere Aufsätze wie z. B. im *Metal Finishing Guidebook* beschreiben eine veraltete Technik, die nur zu den oben beschriebenen Zwecken verwendet werden kann.

In den letzten 20 Jahren hat sich die Situation radikal geändert. Die bisher beschriebenen Methoden sind nur noch in etwa 10% der Fälle anwendbar; 90% aller Anwendungsfälle, in denen heute Überzüge auf genau abgegrenzte Flächen aufgebracht werden müssen, werden von modernen Verfahren bestritten, die sich sowohl in der Durchführung als auch Wartung und Instandhaltung von den bisherigen unterscheiden.

Verfahren, die für diese Zwecke geeignet sind, zeichnen sich durch hohe Abscheidungsgeschwindigkeiten aus; sie arbeiten in einem weiten Stromdichte- und Temperaturbereich; die Haftfestigkeit, metallurgischen und mechanischen Eigenschaften der Überzüge entsprechen den an sie gestellten hohen Anforderungen.

Um den Unterschied zwischen dem alten „*Berührungsgalvanisieren*“ und dem mo-

dernen Hochleitungsverfahren herauszustellen, benutzt der Autor schon seit mehreren Jahren die Bezeichnung „*Selektivgalvanisieren*“. Sie birgt selbstverständlich die Gefahr der Verwechslung mit dem Selektivgalvanisieren im galvanischen Bad, bei dem mit Abdeckungen oder nach der Methode des teilweisen Eintauchens gearbeitet wird. Trotzdem spricht für diese Bezeichnung, daß sie schon zwanzig Jahre lang üblich und auf jeden Fall besser ist als die vorausgegangene.

Die ersten drei oder vier Kapitel der Serie beschäftigen sich mit dem eigentlichen Tampongalvanisieren: den angewandten Methoden, den Vor- und Nachteilen, den Einrichtungen und Chemikalien, der Vorbehandlung und eigentlichen Abscheidung. In den weiteren Kapiteln wird die Anwendung auf folgenden Gebieten beschrieben: Luft- und Seefahrt, gedruckte Schaltungen, hydraulische Einrichtungen, Transporteinrichtungen, Druckgewerbe, Formen für Glas und Kunststoff, Papierindustrie, Eisenbahn, Bergbau, Einrichtungen für Erdölbohrungen, dekorative Anwendungen usw.

1.2 Die Praxis des Tampongalvanisierens

Auf den ersten Blick sieht die Praxis des *Tampongalvanisierens* dem Schweißen ähnlicher als dem Galvanisieren. Das Werkstück ist durch ein flexibles Kabel mit dem kathodischen Ausgang einer Stromquelle verbunden. Das ebenfalls flexible anodische Kabel hat an seinem freien Ende meistens einen Bananenstecker, der in eine Vorrichtung zum Tampongalvanisieren eingeschoben wird. In diesen Vorrichtungen, auch Sonden genannt, sind Anoden verschiedener Größe und Form angeordnet.

Die Anoden sind mit einer Abdeckung aus Polyester (Dacron) versehen, oder mit einem Ballen aus Baumwolle oder einem anderen absorbierenden Material umwickelt;

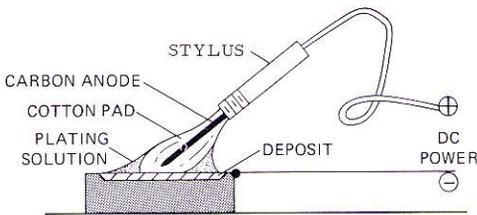


Abb. 1: Prinzip des Tampong galvanisierens

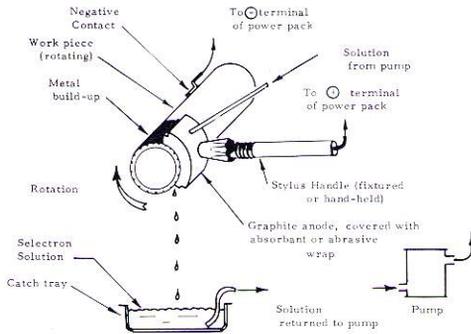


Abb. 2: Der Elektrolyt wird in den Handgriff gepumpt

sie werden entweder in ein kleines Gefäß mit dem Elektrolyten getaucht oder auf eine andere Weise mit Elektrolyten getränkt. Der Stromkreis wird dadurch geschlossen, daß die zu galvanisierende Fläche mit der umwickelten Anode bestrichen wird. Es ist selbstverständlich auch möglich, die Vorrichtung festzustellen und das Werkstück zu bewegen oder rotieren zu lassen.

Anstelle des Eintauchens der Anode in die Lösung, kann man diese auch aus einem Trichter oder einer zusammendrückbaren Flasche auf den Ballen tropfen lassen oder aufspritzen. Auch die Zugabe mit Hilfe einer kleinen Dosierpumpe ist möglich und sogar sehr empfehlenswert (Abb. 1 und 2).

1.3 Geschichtliches

Das Tampong galvanisieren ist so alt wie das Galvanisieren selbst. Man kann sich leicht vorstellen, daß ein Galvaniseur z.B. eine Teekanne aus dem Bad nahm und feststellte, daß eine kleine Fläche nicht bedeckt war. Um den Überzug nicht von der ganzen Kanne abziehen und noch einmal galvanisieren zu müssen, verband er einen Draht mit der Anodenstange und berührte mit dessen anderen Ende eine mit einem Lap-

pen umwickelte Anode. Die Teekanne wurde an die Kathodenstange gehalten; die eingehüllte Anode tauchte er in den Elektrolyten und strich mit ihr über die auszubessernde Fläche.

So hergestellte Schichten waren selbstverständlich dünn und hafteten schlecht. Es dauerte nicht lange und der Artikel begann zu korrodieren.

Der Beginn der Tampong galvanisierung war danach eigentlich mit Betrug am Kunden verbunden und so wunderte es nicht, daß das Verfahren in Verruf geriet. Trotzdem werden aber auch heute noch in sehr vielen Galvaniken Reparaturen auf diese Weise vorgenommen.

Moderne Hochleistungsverfahren sind seit ungefähr 30 Jahren bekannt. Das erste Lehrbuch über diese Methode wurde 1950 [1] geschrieben, der erste Aufsatz mit Einzelheiten über das Verfahren erschien allerdings erst 1957 in einer amerikanischen Zeitschrift. Der Autor selbst veröffentlichte einen Aufsatz zu diesem Thema zur Konferenz der *American Electroplater's Society (AES)* im Jahre 1956 [3]. Es war die erste Mitteilung an diesen Fachverband, obwohl zwischen 1950 und 1960 schon Mitteilungen an die englischen und französischen Fachverbände ergangen waren [2].

Zwischen 1948 und 1960 wurden in Frankreich, England und in den USA mehrere Patente über Vorrichtungen und Elektrolyte erteilt. Sie waren die ersten Veröffentlichungen zu diesem Thema, das sich als „Kunst“ bis in das Jahr 1899 verfolgen läßt. Patente über mechanisierte und automatisierte Verfahren, die heute als „Beflutungsgalvanisieren“ bekannt sind, wurden in den USA in den Jahren 1965 und 1967 erteilt [4,5].

1.4 Moderne Entwicklungen

Drei grundlegende Neuerungen waren notwendig, bevor das Verfahren zu anderen Zwecken als zum Ausbessern von Teilen angewandt werden konnte.

In erster Reihe wurden neue *Spezialelektrolyte* entwickelt, in denen die Metalle in der Form gelöster organischer Chelate vorhanden waren. Sie hatten einen höheren Metallgehalt, als in den normalen Elektrolyten üblich ist. Cyanide wurden keine verwendet oder man hielt ihre Konzentration so gering wie möglich. Ebenso vermied man extreme pH-Werte; die praktisch angewandten Lösungen liegen im Bereich von $\text{pH} = 4 - 10$.

Die zweite Neuerung betraf die Konstruktion einer Reihe von *Vorrichtungen*, die in Frankreich Tampon, in England und den USA stylus (in Deutschland Galvanisierstab) genannt werden und Kühlrippen zur Wärmeverteilung haben. Am Ende des Handgriffes des Galvanisierstabes war eine Anode aus speziellem hitzebeständigem Graphit angebracht. Der Graphit mußte besonders reiner Qualität sein, damit er den Elektrolyten nicht verunreinigt.

Die dritte Stufe betraf spezielle *Schaltkästen*, die außer Stromquellen sehr präzise Amperestundenzähler zur Kontrolle der abgeschiedenen Menge (Dickenkontrolle) und weitere Einrichtungen und Geräte zur Vereinfachung und Kontrolle des Verfahrens enthielten.

Diese drei Entwicklungen ermöglichten den Durchbruch zum modernen Tampongalvanisieren. Man erhielt nun höhere Abscheidungsgeschwindigkeiten, die Dicke der Überzüge war steuerbar; die Schichten selbst wiesen eine ausgezeichnete Haftfestigkeit, minimale Porösität und die erforderlichen mechanischen Eigenschaften auf. Die Entwicklung eröffnete auch Möglichkeiten, das Verfahren dort einzusetzen, wo Galvanisieren durch Eintauchen nicht möglich, zu kompliziert oder zu teuer war.

Ein weiteres interessantes Ergebnis dieser Entwicklung besteht darin, daß das Tampongalvanisieren öfters von Nichtgalvanisierern als von Galvanisierern benutzt wurde. Die Mehrzahl der modernen Einrichtungen zum Tampongalvanisieren steht nicht in Galvaniken, sondern in Maschinenfabriken, in Instandhaltungswerkstätten, Forschungslaboratorien, in der Elektronikmontage oder in Abteilungen zur Wärmebehandlung. Die Bedienung führen meistens nicht Galvaniseure, sondern angelegerte Arbeiter durch.

Ein Umstand, der die Benutzung dieses Verfahrens in vielen Galvaniken verhinderte, bestand in der Abneigung der Lohngalvaniseure. Trotzdem einfach bewiesen werden kann, daß die Kosten für das Aufbringen von Masken und die Entfernung des Maskierungsmaterials oder für die Demontage und Montage der Teile beim Tauchverfahren viel höher sind als bei der Tampongalvanisierung, hält die große Mehrzahl der Galvaniseure an den alten und erprobten Verfahren fest. Was für den Großvater gut genug war, reicht ihnen angeblich auch. Wahrscheinlich gibt es mehrere Gründe für dieses Verhalten.

Viele Galvaniseure denken noch in den Begriffen des „alten“ Tampongalvanisierens: „Schon mein Vater versuchte es und erhielt niemals ein Ergebnis“. Sie stören sich an den höheren Preisen für die Speziallösungen, wenn sie sie mit konventionellen Elektrolyten vergleichen. Da sie selten etwas mit mechanischen Aspekten des Galvanisierens zu tun haben, entwickeln sie kein Gefühl für die Mehrkosten, die durch Demontage, Montage, Maskieren, Entfernung der Masken, Aufstecken auf Gestelle usw. entstehen. Folgerichtig sind sie also nicht in der Lage, einen fairen Kostenvergleich zwischen den beiden Methoden durchzuführen.

Schließlich sind viele Galvaniseure daran gewöhnt, während der Arbeit zu stehen oder von Wanne zu Wanne zu gehen. Müßten sie auf dem Stuhl sitzen und selektiv Nickel auf ein Teil auftragen, würden sie sich – einerlei wie produktiv die Arbeit ist – bald langweilen. Sie würden Schrott machen und ihn dem Verfahren zuschreiben. Ein Schlosser dagegen, der gewohnt ist auf einer Stelle zu sitzen und Material zu entfernen, kann sich schneller daran gewöhnen, beim Tampongalvanisieren zu sitzen und das Metall aufzutragen.

1.5 Vorteile und Grenzen

Welches sind nun die spezifischen Vorteile des Tampongalvanisierens im Vergleich zu konventionellen galvanischen Methoden? Einige sind unverkennbar: Wenn nur eine kleine Fläche des galvanisierten Teiles beschädigt ist, ist es einfacher sie auszubessern, als den ganzen Teil zu entmetallisieren und von neuem zu galvanisieren. Verschiedene Teile müssen vor dem Galvanisieren demontiert werden, während andere für die bestehenden Einrichtungen zu groß sind. Selbst wenn genügend große Behälter vorhanden sind, entstehen Kosten für die teure Verpackung, Versand und Administration sowie Zeitverlust.

Zusammengesetzte Teile dürfen oft nicht in Lösungen getaucht werden, da dadurch bestimmte Materialien beschädigt werden können. Typische Beispiele sind fertige elektronische (gedruckte Schaltungen), gewickelte und verdrahtete elektrische Bauteile (Elektromotoren und Kommutatoren), Gummimetall- und Kunststoffmetall-Verbundwerkstoffe oder nahtgeschweißte und genietete Teile. In allen diesen Fällen bietet das Tampongalvanisieren eine echte Alternative (*Abb. 3,4,5*).

3 Vorbehandlung und Verfahrenstechnik

3.1 Vorbehandlung des Grundwerkstoffes

Lösungen und Präparate zum Tampongalvanisieren werden von Fachfirmen in der Regel in kompletten Packungen geliefert, die auch die Hilfsmittel zum Entmetallisieren, Reinigen und zum Auftragen von Zwischenschichten enthalten. Die Präparate sind aufeinander abgestimmt und es empfiehlt sich, sie in der Lieferform zu verwenden, um Schwierigkeiten vorzubeugen.

Die Vorbehandlung vor dem Tampongalvanisieren besteht meistens aus vier Verfahrensstufen: dem Vorreinigen, elektrolytischen Reinigen, Aktivieren und dem Auftragen einer Zwischenschicht. Während die ersten beiden Schritte in jedem Fall notwendig sind, hängt es bei den beiden anderen vom Grundwerk-

stoff und dem Überzugsmaterial ab, ob sie angewandt werden müssen. Näheres ist aus der in *Tabelle 3* [1] aufgeführten Übersicht zu entnehmen.

3.2 Vorreinigung

Öl und Fette werden am besten in organischen Lösemitteln beseitigt. Starke Korrosionsprodukte, Rost oder Anlaufschichten sollten auf mechanischem Wege durch Bürsten mit Stahldraht und Stahlwolle, Behandeln mit Schmirgelpapier oder am besten durch Sandstrahlen entfernt werden. So vorbehandelte Teile können dann den weiteren Vorbehandlungsstufen, d. h. der elektrolytischen Reinigung, dem Aktivieren, unterworfen und es kann, falls nötig, eine Zwischenschicht aufgetragen werden.

Tabelle 3: Vorbehandlung für das Tampongalvanisieren

Grundmetall	elektrolytische Reinigung	Aktivieren	Zwischenschicht
Messing, Kupfer, Kupferlegierungen Gold, Silber, ungehärtete Stähle	elektr. reinigen 8-12 V, spülen		Vergoldung: evtl. Nickel als Diffusionssperre. Versilberung: Gold oder Palladium als Zwischenschicht
Aluminium	elektr. reinigen 8-12 V, spülen	saurer Spezialaktivator, 8-12 V, Stromumkehr, spülen	Nickel (ca. 8 µm), 6-14 V, spülen
Aluminiumlegierungen mit hohem Siliziumgehalt	elektr. reinigen, 8-12 V, spülen	saurer Spezialaktivator, 8-14 V, Stromumkehr, spülen. Elektr. reinigen, 8-12 V, Stromumkehr, spülen	Nickel: (ca. 8 µm), 8-14 V, (ca. 10 µm) spülen
Nickel, Chrom, rostfreier Stahl, Nickel- u. Chromlegierungen	elektr. reinigen 10-15 V, spülen	saurer Spezialaktivator, 10-12 V, nicht spülen	Nickelschlagbad, 8-14 V, spülen
Stähle mit hohem Kohlenstoffgehalt	elektr. reinigen, 10-20 V, spülen	saurer Spezialaktivator, 10-15 V, Stromumkehr, spülen. Neutraler Spezialaktivator, 10-20 V, Stromumkehr, spülen	ca. 8 µm Nickel (ca. 8 µm), 6-14 V, spülen
Hochlegierte Kohlenstoff-, Nickel- und Chromstähle	elektr. reinigen 10-15 V, spülen	saurer Spezialaktivator, 10-15 V, Stromumkehr, spülen. Neutraler Spezialaktivator, 10-12 V, Stromumkehr, spülen. Saurer Spezialaktivator, 10-15 V, keine Stromumkehr, nicht spülen	Spezieller Nickelelektrolyt, 8-14 V, spülen
ultra-hochfeste Stähle	Trockenstrahlen, nicht spülen		sofort vergolden
Graphit für elektrotechnische Anwendungszwecke	nur Lösemittelreinigung		in alkalischen oder neutralen Elektrolyten galvanisieren
Hochhitzebeständige Metalle	Strahlen mit Al ₂ O ₃ unter Inertgas		bis zu 30 sec in einem Spezialnickelbad bei 8-14 V vorgalvanisieren, spülen
Blei, Zinn, Lötmetalle, Cadmium, Zinkdruckguß	leicht abstrahlen, elektr. reinigen, 5-8 V, spülen		bei Weichmetallauftrag mit gleichem Metall vorgalvanisieren, für harte Metalle und Kupfer „neutrales“ Nickel aufbringen

6 Luftfahrtindustrie, Wartung und Überholung

Die Luftfahrt kann als eine Art Prüfstein für das Tampongalvanisieren gewertet werden. Einmal wegen der hohen Anforderungen an Haftung, mechanische und metallurgische Eigenschaften, die die Schichten erfüllen müssen, um hier zum Einsatz zu kommen. Zum anderen, weil das Tampongalvanisieren ohne dieses Anwendungsgebiet niemals das heutige technische Niveau und damit auch seine Verbreitung in vielen anderen Anwendungsgebieten erreicht hätte. Die Fachfirmen, die Chemikalien und Vorrichtungen zum Tampongalvanisieren anboten, fanden in der Luftfahrtindustrie, den Einrichtungen zum Warten und Überholen von Fluggerät nahezu ideale Partner, die nicht nur zahlreiche Probleme hatten, die mit Hilfe dieses Verfahrens gelöst werden konnten, sondern auch bereit und in der Lage waren, neue unkonventionelle Verfahren zu prüfen und weiter zu entwickeln.

Eines der ersten Probleme, das durch Tampongalvanisieren gelöst werden konnte, war das Verzinken von Flächen an Propellerblättern, die an die Gummiverkleidung der Befestigung grenzen. Wurde das ganze Propellerblatt im Elektrolyten verzinkt, klebte der Gummi nicht. Verzinkte man erst nach dem Aufbringen der Gummiverkleidung, blieben Badreste im Spalt und blühten nachträglich aus. Mit Hilfe des Tampongalvanisierens wurde folgende Lösung gefunden (Abb. 37): die freie Fläche wurde im Elektrolyten galvanisiert, dann die Gummiverkleidung auf den nichtverzinkten Stellen aufgebracht und die zwischen Gummi und Zinkschicht verbliebene nicht geschützte Fläche tamponverzinkt. Da das Teil dazu nicht eingetaucht werden mußte und kein hydrostatischer Druck vorhanden war, gelangte auch kein Elektrolyt in den Spalt.

Die Erfahrungen mit dem Tampongalvanisieren in der Luftfahrtindustrie wurden schon frühzeitig veröffentlicht. So erschien ein Aufsatz über die Lösung eines Friktionsproblems durch Tamponverzinnen schon im Jahre 1964 [1]. Mehrere Vorträge, die zu diesem Thema Ende der sechziger Jahre gehalten wurden, erschienen 1972 [2] als Berichtsband. Eine zusammenfassende Übersicht enthält der Berichtsband des Jahressympos-

iums zur Wartung in der Luftfahrt aus demselben Jahr [3].

Das Tampongalvanisieren ist heute bei 75 Luftfahrtgesellschaften eingeführt und wird in den Instandhaltungs- und Wartungswerkstätten der Luftstreitkräfte vieler Staaten benutzt.

6.1 Normen und Spezifikationen

Eine Besonderheit der Luftfahrtindustrie besteht darin, daß alle Verfahren, die zur Wartung oder Reparatur zugelassen sind, nur aufgrund schriftlich festgelegter Spezifikationen oder erprobter Technologien durchgeführt werden dürfen. Alle Reparaturen am Fluggerät der Amerikanischen Luftwaffe müssen beispielsweise den *MIL-STD 865* [4] entsprechen. Bei zivilen Fluglinien muß entweder ein entsprechendes Dokument des Bundesluftfahrtamtes (FAA) vorliegen oder muß das Verfahren in den Gebrauchsanweisungen und Spezifikationen des Flugzeugherstellers vorgeschrieben sein. Methoden zum Tampongalvanisieren sind heute in mehr als 100 Spezifikationen und Unterlagen enthalten. Beispiele sind in *Tabelle 8* aufgeführt.

Ein Umstand war für die Anwendung der Tamponverfahren auf diesem Gebiete besonders wichtig. Die Kaufverträge für die *Boeing 747* und *Douglas DC 10* sehen vor, daß bestimmte Teile bei vorzeitigem Verschleiß ersetzt werden, vorausgesetzt die Instandhal-

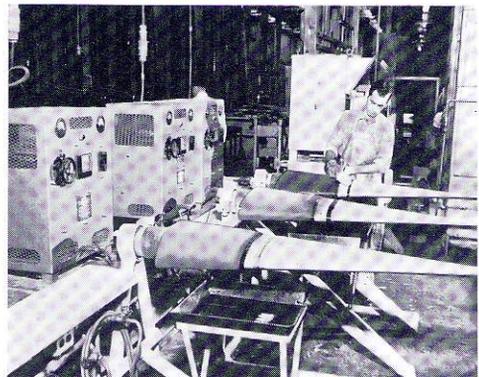


Abb. 37: Tamponverzinken eines 10-15 cm breiten Streifens auf Propellerblättern