

Werner Friehe und Wilhelm Schwenk, Duisburg

Korrosionsbeständigkeit von nachbehandelten Schweißverbindungen feuerverzinkter Stahlkonstruktionen bei atmosphärischer Beanspruchung

Mitteilung aus dem Forschungsinstitut der Mannesmann AG

Bericht Nr. 1983 des Werkstoffausschusses des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute*) und Bericht Nr. 80 des Gemeinschaftsausschusses Verzinken e.V. (GAV)**)

Herstellung von Schweißproben aus feuerverzinkten Rechteckprofilrohrabschnitten. Unterschiedliche Vorbehandlung (Handbürsten und Korundstrahlen) sowie Aufbringen eines Korrosionsschutzes durch Beschichten, Spritzverzinken oder Überlöten des durch das Schweißen geschädigten Bereiches. Zusätzlich Duplex-Beschichtung an einer Schmalseite der Proben. Vierjährige Bewitterung der Proben in Land-, Stadt-/Industrie- und Küstenklima. Vergleichende Beurteilung und Erörterung der Ergebnisse hinsichtlich Rostbildung und Veränderung der Beschichtung.

Résistance à la corrosion atmosphérique de soudures post-traitées des pièces de construction en acier galvanisé par trempé

Fabrication d'éprouvettes soudées à partir de coupons de tubes rectangulaires galvanisés par trempé. Différents traitements avant soudage (brossage manuel et grenailage au corindon) et application d'une protection anti-corrosion par peinture, zingage au pistolet ou recouvrement par brasage de la zone endommagée par le soudage. Revêtement duplex supplémentaire sur une petite face des éprouvettes. Exposition aux intempéries des éprouvettes pendant quatre ans sous des climats ruraux, urbains/industriels ou maritimes. Evaluation comparative et discussion des résultats aux points de vue formation de rouille et modification du revêtement.

Corrosion resistance of post-treated welded hot galvanized steel structures subjected to atmospheric exposure

Production of welded samples from hot galvanized rectangular tube lengths. Various preparations (hand brushing and corundum blasting) as well as corrosion protection of the zone damaged due to the welding process, by application of paint-coatings, sprayed zinc-coating or soldering. Also duplex coating on one narrow side of the samples. Four years weathering of the samples in rural, town (industrial) and coastal climates. Comparative assessment and discussion of the results regarding rust formation and deterioration of the coating-properties.

Durch diese Untersuchung sollten optimale Verfahren und/oder Systeme mit besonderer Eignung für den Korrosionsschutz von Schweißverbindungen an Stahlbauwerken aus feuerverzinkten Bauteilen ermittelt werden, die beispielsweise aus Abmessungsgründen in den zur Verfügung stehenden Verzinkungskesseln nicht in einem Stück verzinkt werden können. Ebenso sind Transport- und Montageprobleme Anlässe zur Verzinkung von Teilstücken.

Im Bereich der Schweißnaht erfährt der Zinküberzug durch Oxidation, Verdampfung oder strukturelle Umwandlung eine Minderung seiner Korrosionsschutzeigenschaften. Die Schweißnaht selbst ist zudem ohne Korrosionsschutz. Eine Nachbesserung ist unerlässlich; dabei ist eine der Güte der Feuerverzinkung gleichwertige Schutzwirkung anzustreben.

Das Untersuchungsprogramm wurde von einem Arbeitskreis im Unterausschuß für Korrosion des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute (VDEh) entworfen; die Einzelheiten sind nachfolgend erläutert.

Im Verlauf der zunächst für acht Jahre vorgesehenen Bewitterungsversuche auf den Versuchsständen des VDEh in Olpe (Landklima), Cuxhaven-Sahlenburg

*) Vorgetragen in der Sitzung des Unterausschusses für Korrosion am 14. August 1979 in Düsseldorf.

** Trägers des Gemeinschaftsausschusses Verzinken e. V.: Deutsche Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung und Oberflächenbehandlung e. V. (DFBO); Verein Deutscher Eisenhüttenleute (VDEh), Düsseldorf; Bundesverband Draht e. V., Düsseldorf; Verband Deutscher Feuerverzinkerien, Hagen; Preußag AG Metall, Goslar; Metallgesellschaft AG, Frankfurt; Technische Vereinigung für Schraubverbindungen und Gewinderöhre e. V., Düsseldorf.

Cette étude avait pour but de déterminer les procédés et/ou les systèmes convenant le mieux en particulier à la protection contre la corrosion des joints soudés dans les pièces de construction en acier galvanisées par trempé et qui ne peuvent pas être zinguées en un seul bloc dans les bacs de zingage disponibles, par exemple pour des raisons de dimensions. De même des problèmes de transport et de montage peuvent conduire à zinguer des pièces partielles.

Dans la zone du cordon de soudure, le revêtement de zinc perd une partie de son pouvoir anti-corrosion par suite d'une oxydation, d'une vaporisation ou d'une transformation de structure. La soudure elle-même est en outre sans protection contre la corrosion. Une amélioration après soudage est indispensable; on doit s'efforcer pour cela d'obtenir un effet de protection équivalent à celui de la galvanisation par trempé.

Le programme d'études a été établi par un groupe de travail de la sous-commission de la corrosion du Verein Deutscher Eisenhüttenleute (VDEh); ses particularités seront exposées plus loin.

Au cours des essais d'exposition aux intempéries, qui initialement étaient prévus pour huit ans, dans les stations expérimentales du VDEh à Olpe (climat rural), Cuxhaven-Sahlenburg (climat maritime) et Mülheim/Ruhr (climat urbain/industriel), on a observé au bout de quatre ans des résultats très concordants pour les divers systèmes de protection. Il nous a donc paru à propos de présenter dès maintenant les résultats obtenus.

(Küstenklima) und Mülheim/Ruhr (Stadt-/Industrieklima) zeigten sich nach vierjähriger Versuchsdauer gut übereinstimmende Beurteilungsergebnisse für die einzelnen Schutzsysteme. Danach erschien es geraten, die Erfahrungen bereits bekanntzugeben.

Versuchsdurchführung

Für eine gute betriebliche Aussagefähigkeit wurden die Proben aus Rechteckprofilrohren gefertigt, wie sie als Konstruktionswerkstoff vielfältig zur Anwendung gelangen. Rechteckrohrabschnitte wurden zunächst feuerverzinkt und anschließend zu Bewitterungsproben geeigneter Länge verschweißt.

Zum Korrosionsschutz der Schweiße und ihrer Umgebung, deren Feuerverzinkung durch die Schweißwärme beeinträchtigt wird, kamen Beschichtungen sowie Löt- und Metallspritzüberzüge nach unterschiedlicher Vorbehandlung des Untergrundes durch Bürsten oder Strahlen zur Anwendung (Tafel 1). Zusätzlich bot dieses Versuchsprogramm die Möglichkeit, das Korrosionsschutzverhalten einer „Duplex-Beschichtung“ (das heißt Feuerverzinkung + Beschichtung) auf einer Probenfläche unter den gegebenen Klimaverhältnissen zu überprüfen.

Werkstoffe und Probenfertigung

Für die längsnahtgeschweißten Rechteckprofilrohre der Abmessung 140 mm × 80 mm × 5 mm wurde ein RSt-35-Warmband verarbeitet. 200 mm lange Abschnitte wurden nach dem Trockenverzinkungsverfahren mit 3 min Tauchzeit, Badtemperatur 450°C, feuerverzinkt. Die dabei gebildeten Zinküberzüge von rd. 550 g/m² (entsprechend rd. 77 µm) waren reich an Fe-Zn-Legierungsphase mit teilweise nur dünner Reinzinküberdeckung. Auf großen Teilflächen waren die Zinkschichten mattgrau, weil die Fe-Zn-Phasen bis zur Oberfläche durchgewachsen waren.

Für die Fertigung einer 400 mm langen Probe wurden zwei 200-mm-Abschnitte miteinander verschweißt. Die Schweißverbindung wurde nach einer Y-Nahtvorbereitung durch Hobeln der Kante (70° Öffnungswinkel, 1 mm Steilkante, Luftspalt 2 mm) in folgender Weise hergestellt:

Schweißlage: waagrecht

Wurzellage: WIG-Argonarc, SG 1 (WIG = Wolfram-Inert-Gas)

1. und 2. Füllage: Lichtbogen-Handschweißung, Elektrode ETi VIII a s.

Damit sollte die Schweißwärmebeeinflussung gering bleiben, um die Beeinträchtigung der benachbarten Zinkschicht in Grenzen zu halten.

Das Aussehen der Proben ist aus Bild 1 ersichtlich. Die infolge durchgewachsener Fe-Zn-Legierungsphase grau gefärbten Teilflächen sind gut erkennbar, ebenso die der Schweiße benachbarte wärmebeeinflusste Zone; sie ist mit Oxiden des Zinks überdeckt. Die Zinkoxidbedeckung ist jedoch von untergeordnetem Einfluß, da sie bei der Vorbehandlung des Nahtbereiches für die anzuwendenden Korrosionsschutzmaßnahmen entfernt wird.

Als Folge der Wärmeeinwirkung veränderte sich die Verzinkungsstruktur bis zu rd. 4 mm Abstand vom Schweißübergang.

Tafel 1. Korrosionszustand der unterschiedlich vorbehandelten und korro-
Tableau 1. Etat de corrosion des zones affectées par le soudage et caracté-
Table 1. Corrosion condition of the weld seam zones with different pre-

Nr. No.	Vorbehandlung Traitement préalable	Korrosionsschutzsystem Système anticorrosif
1	ohne néant	Nullprobe Éprouvette neutre
2	handgebürstet brossage manuel	50 µm Zinkstaub 50 µm de poussières de zinc
3		50 µm Zinkstaub/Al-pigmentiert 50 µm de poussières de zinc/à pigmentation d'Al
4		50 µm Zink-Äthylsilikat 50 µm de silicate éthylique de zinc
5		50 µm Zink-Alkalisilikat 50 µm de silicate alcalin de zinc
6		80 bis 100 µm Zinkstaub 80 à 100 µm de poussières de zinc
7		80 bis 100 µm Zinkstaub/Al-pigmentiert 80 à 100 µm de poussières de zinc/à pigmentation d'Al
8		80 bis 100 µm Zink-Äthylsilikat 80 à 100 µm de silicate éthylique de zinc
9		80 bis 100 µm Zink-Alkalisilikat 80 à 100 µm de silicate alcalin de zinc
10		korngestrahlt grenillage au corindon
11	50 µm Zinkstaub/Al-pigmentiert 50 µm de poussières de zinc/à pigmentation d'Al	
12	50 µm Zink-Äthylsilikat 50 µm de silicate éthylique de zinc	
13	50 µm Zink-Alkalisilikat 50 µm de silicate alcalin de zinc	
14	80 bis 100 µm Zinkstaub 80 à 100 µm de poussières de zinc	
15	80 bis 100 µm Zinkstaub/Al-pigmentiert 80 à 100 µm de poussières de zinc/à pigmentation d'Al	
16	80 bis 100 µm Zink-Äthylsilikat 80 à 100 µm de silicate éthylique de zinc	
17	80 bis 100 µm Zink-Alkalisilikat 80 à 100 µm de silicate alcalin de zinc	
18	80 bis 100 µm Spritzverzinkung 80 à 100 µm de métallisation au zinc	
19	Spritzverzinkung + 100 µm Primer Métallisation au zinc + 100 µm de Primer	
20	Spritzverzinkung + 100 µm Zinkstaub/Al-pigmentiert Métallisation au zinc + 100 µm de poussières de zinc/à pigmentation d'Al	
21	Lötpulver Poudre à souder	
22	Lötstäbe, Zn-Sn Barres à souder, Zn-Sn	
23	Lötstäbe, Zn-Sn-Cd Barres à souder, Zn-Sn-Cd	
24	Lötstäbe, Zn-Sn-Cd Barres à souder, Zn-Sn-Cd	
25	Lötdraht, Sn-Pb-Cd Fil à souder, Sn-Pb-Cd	
26	Lötstäbe, Sn-Cd Barres à souder, Sn-Cd	

Conduite des essais

Afin que les résultats soient bien applicables industriellement, on a pris comme éprouvettes des tubes rectangulaires tels qu'on en emploie souvent dans les constructions. Des coupons en tubes rectangulaires ont été d'abord galvanisés par trempé et ensuite soudés de manière à constituer des éprouvettes de longueur appropriée aux essais de résistance aux intempéries.

Comme protection contre la corrosion de la soudure et de son voisinage, dont la couche de galvanisation par trempé a été endommagée par la chaleur de soudage, on a employé des peintures ou des revêtements par brasure ou métallisation au pistolet, après un pré-traitement du substrat par brossage ou grenillage (tableau 1). On a en outre contrôlé le comportement à la corrosion d'un «revêtement duplex» (c'est-à-dire une galvanisation par trempé + une peinture) sur une partie de l'éprouvette.

sionsgeschützten Schweißnahtbereiche nach Bewitterung auf den Versuchsständen

risées par divers traitements préalables et systèmes de protection contre la corrosion après l'exposition à l'action des intempéries aux stations d'essais
 treatments and corrosion protection after weathering on the test sites

Anzahl der Bewitterungsjahre Années d'exposition				Cuxhaven-Sahlenburg Küstenklima Climat côtier				Mülheim/Ruhr Stadt-/Industrieklima Climat urbain/industriel			
Olpe Landklima Climat rural	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
R5	R5	R5	R5	R5	R5	R5	R5	R5	R5	R5	R5
R1	R2	R2, K2	R4, K4	R2	R2	R2, B1	R3, B1, K5	R1	R3, K1	R4, K1	R5, K3
R1	R1	R2, A2, K2	R2, A4, K4	R2	R2	R2, B1, K1	R2, B1, K4	R3	R3, K1	R3, K1	R4, K3
RO, A1	RO, A1	R1, A1	R1, A1, K3	R1	R1	R1	R1, A1, K2	RO	RO, K1	RO, A2	R3, A3
RO	R2	R3, A2, K2	R4, A2, K4	R2, A1	R4, A1	R4, A1, K1	R5, K5	R1, A1	R2, A1, K1	R4, A2, K1	R5, A2, K4
R2, A1	R3, A1	R3, A2, K2	R5, A2, K4	R3	R4	R4, A2	R4, A2, K5	R3	R3, K1	R3, K1	R4, K3
R2, A2	R2, A2	R2, A2, K2	R2, A2, K4	R2	R4	R4, K1	R4, K5	R2	R2, K1	R4, K1	R5, K4
R1	R1	R1, K1	R1, K3	R1	R1, A1	R1, A1, K1	R1, A1, K2	RO	R2, K1	R2, K1	R4, K4
R4	R4	R5, A2, K2	R5, A2, K4	R1	R1, A1	R1, A1, K1	R2, A1, K3	R3, A2	R3, A2, K1	R3, A2, K1	R5, A2, K4
RO	RO	R1, A2, K2	R4, A2, K4	R1	R1	R2, K2	R3, K5	RO	R3, K1	R4, K1	R5, K4
R1	R2	R2, A2, K2	R3, A2, K4	R1	R3	R3, A1, K2	R5, A2, K5	R2	R2	R4, K2	R5, K4
RO, A2	RO, A2	RO, A2, K1	RO, A2, K3	RO	RO	RO, K2	RO, K2	RO	RO, A1, K1	R1, A1, K1	R4, A1, K4
RO, A2	R2	R3, A2, K2	R4, A2, K4	RO	RO, A1	RO, A1, K1	R1, A2, K4	RO, A2	RO, A2, K1	R2, A2, K1	R4, A2, K4
R1	R1	R1, A2, K2	R2, A2, K2	RO	R2	R2, K1	R5, K5	R1	R1, K1	R3, K1	R3, K3
RO	R1	R1, A2, K2	R2, A2, K2	RO	R1	R1, K2	R2, K2	R1	R2, K1	R4, K1	R5, K4
RO	RO	RO, A2, K1	RO, A2, K1	RO	RO	RO, K1	RO, K2	RO, A1	RO, A2	R1, A2	R3, A2, K4
RO	RO	R1, A2, K1	R2, A2, K1	RO, A2	RO, A2	R1, B2, A2	R2, A2, K3	R1, A2	R3, A2	R4, A2	R5, A2, K4
RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO
RO	RO	RO	RO	RO	RO	RO, K1	RO, K1	RO	RO	RO	RO, K4
RO	RO	RO, K2	RO, K4	RO	RO	RO, K1	RO, K4	RO	RO	RO, K1	RO, K3
R5	R5	R5	R5	R5	R5	R5	R5	R5	R5	R5	R5
R1	R1	R1	R2	R1	R2	R2	R2	R5	R5	R5	R5
R5	R5	R5	R5	R3	R5	R5	R5	R4	R5	R5	R5
R2	R2	R3	R4	RO	R1	R2	R5	R4	R5	R5	R5
R5	R5	R5	R5	R5	R5	R5	R5	R5	R5	R5	R5
R5	R5	R5	R5	R5	R5	R5	R5	R5	R5	R5	R5

Korrosionsschutzverfahren

Nach der Oberflächenvorbereitung durch Bürsten von Hand mit Stahldrahtbürste oder Druckluftstrahlen mit Korund eines rd. 50 mm breiten ringförmigen Schweißbereiches wurden zum Korrosionsschutz folgende Verfahren angewendet (Tafel 1):

Beschichten mit Stoffen auf Zinkstaubbasis, teilweise mit Aluminiumpulverzusatz, in Einkomponenten-Epoxi-Ester, Äthylsilikat oder Alkalisilikat als Bindemittel (nachfolgend bezeichnet als Zinksilikat organisch oder anorganisch);

Spritzverzinken (2-Draht-Lichtbogenverfahren), Schichtdicke rd. 80 bis 100 µm, ohne und mit zusätzlicher Beschichtung;

Überlöten mit speziellen Weichloten, die zur Reparatur von Verzinkungsfehlern angeboten werden. Die Lötarbeiten wurden gemäß Herstellervorschriften ausgeführt.

Matériaux et fabrication des éprouvettes

On a fabriqué des tubes rectangulaires de 140 × 80 × 5 mm soudés en long à partir d'une bande à chaud en acier RSt 35. Les coupons de 200 mm de longueur ont été galvanisés par trempé suivant le procédé du zingage sec avec une durée d'immersion de 3 min et une température du bain de 450°C. Les revêtements de zinc ainsi obtenus d'env. 550 g/m² (correspondant à env. 77 µm) étaient riches en phase d'alliage Fe-Zn avec parfois seulement un mince recouvrement de zinc pur. Les grandes surfaces de ces recouvrements partiels de zinc étaient gris mat parce que les phases de Fe-Zn les avaient traversé jusqu'en surface.

Les éprouvettes de 400 mm de longueur ont été fabriquées en soudant ensemble deux coupons de 200 mm. Le soudage a été effectué de la manière suivante après avoir préparé le joint en Y par une rabotage

Angaben zu den Loten und den Verarbeitungsergebnissen:

Probe Nr. 21: Lötpulver, mit Flußmittel (körnig) durchsetzt,

Verarbeitbarkeit: gut; ergab glatte mattgraue Überzüge, einzelne Tränen und Unebenheiten in folge örtlich schlechteren Fließverhaltens;

Probe Nr. 22: Lötstäbe, Zn-Sn-Lot, Schmelzpunkt rd. 320°C,

Verarbeitbarkeit: unbefriedigend; Flußmittel sollte nicht erforderlich sein, eine Vorbehandlung mit Zink-Ammoniumchlorid war jedoch unerlässlich; ergab helle, glänzende Überzüge, die sich durch Überschmelzen schlecht glätten ließen;

Probe Nr. 23: Zn-Sn-Cd-Lot in Stäben, Schmelzpunkt rd. 326 bis 334°C,

Verarbeitbarkeit und Flußmittel: etwa wie Nr. 22;

Probe Nr. 24: Zn-Sn-Pb-Lot in Stäben, mit Flußmittel durchsetzt,

Verarbeitbarkeit: gut; mattgraue Überzüge, leicht überschmelzbar;

Probe Nr. 25: Sn-Pb-Cd-Lötendraht, Schmelzpunkt rd. 145°C,

Flußmittel: flüssig, vorher aufgetragen;

Verarbeitbarkeit: gut; helle, glänzende Überzüge; glatt überschmelzbar;

Probe Nr. 26: Sn/Cd-Lötstäbe, Schmelzpunkt rd. 198°C,

Verarbeitbarkeit und Flußmittel: etwa wie Nr. 22;

Die in *Tafel 1* angegebene Bezifferung dient nachfolgend als Kurzzeichen für die einzelnen Schutzsysteme und als Probenkennzeichnung. Die Beschichtungen oder Überzüge wurden auf dem gesamten Probenumfang aufgebracht.

Sämtliche Beschichtungen wurden mit dem Pinsel aufgetragen. Die Innenflächen der Probenkörper blieben ohne Korrosionsschutz des Nahtbereiches.

Eine Duplex-Beschichtung erhielt nur die bei ausgelegter Probe nach Westen gerichtete Schmalseite. Dafür wurde ein Beschichtungsstoff auf PVC-Basis angewendet. Die Schicht war rd. 30 µm dick.

V Versuchsergebnisse und ihre Erörterung

Die Proben wurden im Herbst 1974 ausgelegt. Einzelheiten zu Lage und Aufbau der Versuchsstände sind bereits früher beschrieben worden¹⁾. Die Proben wurden, unter 45° nach Süden geneigt, mittels Porzellanisolatoren elektrisch isoliert auf den Untergestellen befestigt.

Im Frühjahr und Herbst der nachfolgenden vier Bewitterungsjahre wurden die Proben beurteilt. Dabei wurden folgende Bereiche getrennt bewertet:

Nahtbereich, das heißt Schweißraupe und benachbarte, rd. 50 mm breite Beschichtungsfläche auf wärme- und unbeeinflusstem Verzinkungsuntergrund.

Duplex-Beschichtung auf einer Seitenfläche. Die Innenflächen der offenen Hohlkörper wurden nur gelegentlich beurteilt. Dabei sollte überprüft werden, welche Veränderungen sich als

des arêtes (chanfrein de 70°, méplat de 1 mm, jeu de 2 mm):

position du soudage: horizontale

pas de fond: procédé TIG – arc sous argon, SG 1

1ère et 2ème passes de remplissage: soudage manuel à l'arc, électrode ETi VIII a s.

L'influence de la chaleur de soudage devrait ainsi rester faible afin que la détérioration de la couche de zinc voisine soit limitée.

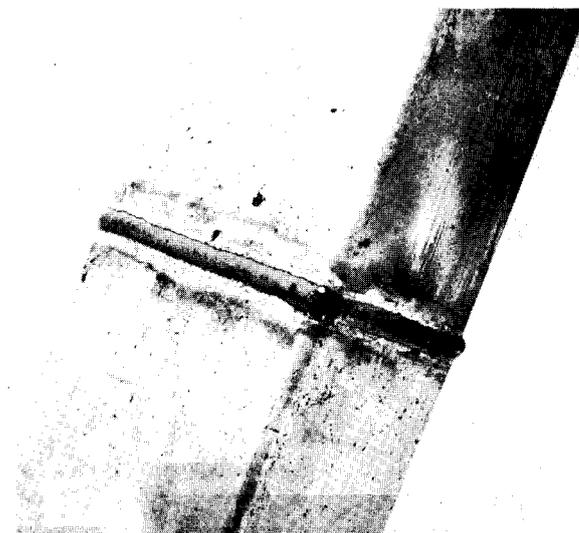


Bild 1. Verzinkte Rechteckprofilrohrprobe nach dem Schweißen und vor der Nachbehandlung (Verkleinerung rd. 1:4)

Figure 1. Eprouvette galvanisée en tube profilé rectangulaire après soudage et avant traitement ultérieur (réduction env. 1:4)

Figure 1. Galvanized rectangular tube sample after welding and prior to post-treatment (reduction approx. 1:4)

La *figure 1* montre l'aspect des éprouvettes. Les surfaces partielles colorées en gris par suite de la phase d'alliage Fe-Zn ayant traversé le zinc sont nettement reconnaissables de même que la zone thermiquement affectée voisine de la soudure, qui est recouverte d'oxydes de zinc. Le recouvrement d'oxydes de zinc n'a toutefois qu'une influence secondaire car il disparaît lors du prétraitement de la zone du cordon avant d'y appliquer les mesures anti-corrosion prévues.

Sous l'effet de la chaleur, la structure de galvanisation est modifiée jusqu'à 4 mm env. de la transition de la soudure.

Procédés de protection contre la corrosion

Après le prétraitement du substrat par brossage manuel avec une brosse métallique ou par grenailage à l'air comprimé avec du corindon sur une zone de soudage annulaire d'env. 50 mm de large, on a employé les procédés suivants contre la corrosion (*tableau 1*):

peinture avec des produits à base de poudre de zinc, parfois additionnée de poudre d'aluminium, dans un ester-époxyde monocomposant, un silicate d'éthyle ou un silicate alcalin comme liant (désigné dans ce qui suit comme silicate de zinc organique ou inorganique);

zingage au pistolet (procédé à l'arc à 2 fils), épaisseur de couche d'env. 80 à 100 µm, avec ou sans peinture supplémentaire;

Folge der Korrosionsbeanspruchung einstellen und ob sich eine „Fernschutzwirkung“ des Zinküberzuges auf die durchgeschweißte Wurzellage erkennen ließ.

Um die Auswertung auch vom Umfang her übersichtlich zu halten, wird nachfolgend nur auf die Aussagen der Herbstbeurteilung eingegangen.

Bewertungskenngrößen

Für die Beurteilung der Rostentwicklung, insbesondere auf den Schweißraupen, später aber auch auf den Duplex-Flächen, wurden folgende Bewertungskriterien verwendet [DIN 53 210²):

- R 0 = ohne Rost
- R 1 = kleine Rostpunkte
- R 2 = große Rostpickel
- R 3 = kleine, isolierte Rostflächen
- R 4 = ineinandergehende Rostflächen
- R 5 = 50% verrostet und mehr

Die Veränderungen der Beschichtungen wurden in folgender Weise kurzbezeichnet:

- K = Kreiden
- B = Blasenbildung
- A = Abhebungen, Abplatzungen (meist nach vorausgegangener Unterwanderung oder Blasenbildung)

Zur Kennzeichnung der Größenordnung dienten die Noten 1 bis 5

- 1 = vereinzelt, schwach, beginnend
- 2 = deutlich, verstärkt
- 3 = auf mehr als 10% der Beurteilungsfläche
- 4 = auf mehr als 30% der Beurteilungsfläche
- 5 = auf mehr als 50% der Beurteilungsfläche

Beurteilungsergebnisse

Verhalten der Beschichtungen und Überzüge im Schweißnahtbereich

In *Tafel 1* sind die Korrosionszustände der Nahtbereiche in Abhängigkeit von der Zeit beschrieben. Stets stand die der Bewitterung zugekehrte „Oberseite“ im Vordergrund der Beurteilung; in allen Fällen verhielten sich die Schutzsysteme auf den Seitenflächen und der Unterseite etwas günstiger.

Bei einer vergleichenden Betrachtung des Verhaltens der Beschichtungen auf dem Nahtbereich und im Duplexsystem ist zu bedenken, daß erstere zur Untersuchung der Korrosionsschutzwirkung auf teilweise freiliegendem Stahluntergrund (Schweiße), letztere jedoch zur Prüfung des Haftvermögens und der Schutzwirkung auf Zink aufgetragen wurden. Aus diesem Grunde sind sie nachfolgend getrennt beschrieben.

In Ergänzung zu den in *Tafel 1* enthaltenen Beurteilungen soll mit den *Bildern 2 und 3* die Rostbildung im Bereich der Schweißnähte in Landklima gezeigt werden. Der Vergleich der *Bilder 2a und b* verdeutlicht die nicht ausreichende Wirkung einer Einfachbeschichtung. *Bild 3* zeigt die gute Korrosionsschutzwirkung einer Spritzverzinkung, während die Behandlung mit Überlötungen völlig unzureichend ist. Ähnliche Bildbelege liegen für alle anderen Proben und Versuchsstände vor.

Das Ergebnis der Auswertungen kann wie folgt zusammengefaßt werden:

brasage de couverture avec des métaux d'apport tendres spéciaux vendus pour la réparation des défauts de zingage. Les travaux de brasage ont été effectués selon les prescriptions du fournisseur.

Indications sur le brasage et les résultats du traitement:

Eprouvette n° 21 = poudre de brasage, appliquée avec un fondant (en grains).

aptitude au traitement: bonne; a donné des revêtements gris mats lissés, des soufflures de peau et des défauts de planéité isolés par suite d'un écoulement localement plus mauvais;

Eprouvette n° 22: baguettes de brasage, métal d'apport Zn-Sn, point de fusion d'env. 320°C,

aptitude au traitement: non satisfaisante; un fondant ne devrait pas être nécessaire, néanmoins un prétraitement au chlorure d'ammonium-zinc était indispensable; a donné des revêtements brillants clairs qui étaient mal lissés par une fusion;

Eprouvette n° 23: métal d'apport Zn-Sn-Cd en baguettes, point de fusion d'env. 326 à 334°C,

aptitude au traitement et fondant: à peu près comme le n° 22;

Eprouvette n° 24: métal d'apport Zn-Sn-Pb en baguettes, appliqué avec un fondant,

aptitude au traitement: bonne, revêtements gris mats, faciles à refondre;

Eprouvette n° 25: fil de brasage en Sn-Pb-Cd, point de fusion d'env. 145°C, fondant liquide, appliqué d'avance;

aptitude au traitement: bonne; revêtements clairs brillants; peuvent être rendus lisses par refusion;

Eprouvette n° 26: baguettes de brasage Sn-Cd, point de fusion d'env. 198°C,

aptitude au traitement et fondant: à peu près comme le n° 22.

Les numéros indiqués au *tableau 1* serviront dans la suite comme sigles des divers systèmes de protection et comme signes distinctifs des éprouvettes. Les peintures et les revêtements ont été appliqués sur toute la surface des échantillons.

Toutes les peintures ont été appliquées au pinceau. Les surfaces internes des éprouvettes ont été laissées sans protection contre la corrosion dans la zone du cordon de soudure.

Un revêtement duplex a protégé seulement la petite face dirigée vers l'ouest des éprouvettes en place. On a employé pour cela une peinture à base de P.V.C. en couche d'env. 30 µm d'épaisseur.

Résultats des essais et discussion

Les éprouvettes ont été mises en place à l'automne 1974. Des détails sur leurs emplacements et sur la structure des bancs d'essai ont déjà été publiés¹⁾. Les éprouvettes, inclinées vers le sud de 45°, étaient fixées sur leurs supports et isolées électriquement par des isolateurs en porcelaine.

Les éprouvettes ont été examinées au printemps et à l'automne des quatre années suivantes d'exposition. Les zones ci-après ont été étudiées séparément:

Zone de soudure, c'est-à-dire le cordon de soudure et la surface voisine du revêtement sur env. 50 mm de largeur sur un substrat galvanisé

1. Die Zweifach-Beschichtungen sind den einschichtigen längere Zeit überlegen; mit zunehmender Beanspruchungsdauer erweisen sich jedoch auch die höheren Schichtdicken als unzureichend; die letztlich vorliegenden Durchrostungen sind bei beiden Beschichtungen vom Erscheinungsbild her oftmals vergleichbar;
2. Die Bürstenbearbeitung ist als Untergrundvorbehandlung unzureichend; hinsichtlich der Korrosionsschutzwirkung der Beschichtungen erbringt das Korundstrahlen Vorteile;
3. In der ersten Versuchszeit scheint eine leichte Überlegenheit der Korrosionsschutzwirkung des Al-pigmentierten Zinkstaubbeschichtungstoffes (Proben Nr. 3, 7, 11 und 15) gegenüber dem reinen Zinkstaubtyp (Proben Nr. 2, 6, 10 und 14) vorzuliegen; ein Vergleich der Angaben in *Tafel 1* zeigt eine nur begrenzte Verallgemeinerungsfähigkeit dieser Aussage;
4. Von den Zinksilikat-Beschichtungen zeigt die auf Basis Äthylsilikat (organisch, Proben Nr. 4, 8, 12 und 16) gegenüber der auf Basis Alkalisilikat (anorganisch, Proben 5, 9, 13 und 17) Vorteile.

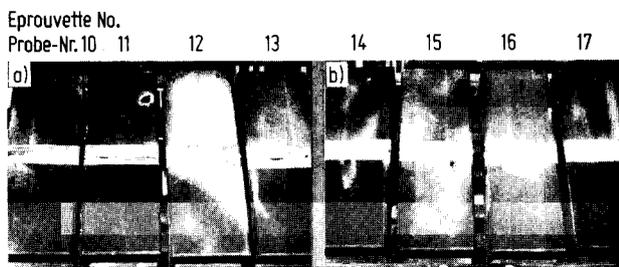


Bild 2. Proben, korundgestrahlt, nach vier Jahren Auslagerung in Olpe (Landklima); a) einfach beschichtet, b) zweifach beschichtet

Figure 2. Eprouvettes grenillées au corindon après 4 ans d'exposition à Olpe (climat rural); a) à revêtement simple, b) à revêtement double

Figure 2. Corundum blasted samples after 4 years exposure in Olpe (rural climate); a) single coating, b) double coating

Bei einer Bewertung der Beschichtungstoffe darf nicht übersehen werden, daß sie zwar zu Zwecken der Grundbeschichtung auf Stahl oder Zink (im vorliegenden Fall auf Schweißraupe oder Feuerverzinkung) gute Eignung besitzen mögen, aber in Korrosionsschutzsysteme mit Deckbeschichtungen einbezogen gehören.

Von den spritzverzinkten Proben (Nr. 18, 19 und 20) blieben bereits die ohne zusätzliche Beschichtung (Nr. 18) frei von Rosterscheinungen. Eine zusätzliche positive Wirkung der Beschichtung mit einem Korrosionsschutz-Primer (3fach, rd. 100 µm, Probe Nr. 19) oder einem Al-pigmentierten Zinkstaubbeschichtungstoff (3fach, rd. 100 µm, Probe Nr. 20) konnte daher nicht erkennbar werden.

Nach diesen Ergebnissen ist die Spritzverzinkung mit rd. 100 µm Schichtdicke, insbesondere mit Duplex-Beschichtung (Proben Nr. 19 und 20), das optimale Schutzverfahren für Anwendungsfälle der beschriebenen Art. Es ist in seiner Schutzdauer der Feuerverzinkung weitgehend vergleichbar.

Die Lötverfahren (Proben Nr. 21 bis 26) zeigen auf allen Versuchsständen unbefriedigende Korrosionsschutzwirkungen. Im Industrieklima sind sämtliche Lötüberzüge bereits nach einem Jahr zu rd. 30 bis 50%

grenailté et affecté ou non par la chaleur de soudage.

Revêtement duplex sur une face latérale.

Les surfaces intérieures des éprouvettes creuses ouvertes n'ont été étudiées qu'occasionnellement. On a cherché dans ces cas à déterminer les variations dues à la corrosion et à déceler un «effet de protection à distance» du revêtement de zinc sur la passe de fond du soudage.

Pour des raisons de clarté, nous ne traiterons dans ce qui suit que des résultats des examens d'automne.

Caractéristiques d'évaluation

Les critères suivants (DIN 53210)²⁾ ont été employés pour évaluer l'extension de la rouille, en particulier sur les cordons de soudure mais aussi sur les surfaces à revêtement duplex:

- R 0 = sans rouille
- R 1 = petits points de rouille
- R 2 = grosses taches de rouille
- R 3 = petites surfaces de rouille isolées
- R 4 = surfaces de rouille s'interpénétrant
- R 5 = rouillé sur 50% et plus.

Les modifications des peintures ont été désignées en abrégé comme suit:

- K = farinage
- B = cloquage
- A = décollements, écaillages (généralement après une migration par en dessous ou un cloquage antérieur).

On a caractérisé les ordres de grandeur par des notes de 1 à 5:

- 1 = isolé, faible, commençant
- 2 = net, fort
- 3 = plus de 10% de la surface examinée
- 4 = plus de 30% de la surface examinée
- 5 = plus de 50% de la surface examinée.

Résultats des évaluations

Comportement des peintures et des revêtements dans la zone du cordon de soudure

Le *tableau 1* indique la variation au cours du temps de la corrosion des zones du cordon. La «face supérieure» recevant en plein les intempéries a toujours été au premier rang de l'évaluation; dans tous les cas les systèmes de protection se sont un peu mieux comportés pour les faces latérales et pour la face inférieure.

Lorsqu'on cherche à comparer le comportement des peintures sur la zone de la soudure et dans le revêtement duplex il faut considérer qu'elles ont été appliquées dans des conditions et des intentions totalement différentes. C'est pourquoi nous les décrivons séparément dans ce qui suit.

En complément des évaluations indiquées sur le *tableau 1*, nous avons cherché à représenter sur les *figures 2 et 3* la formation de la rouille dans la zone de soudure en climat rural. La comparaison des *figures 2a et b* montre clairement l'insuffisance d'une couche unique. La *figure 3* montre la bonne protection contre la corrosion donnée par un zingage au pistolet alors qu'un recouvrement de brasure est parfaitement insuffisant. Toutes les autres éprouvettes et tous les bancs d'essais ont donné des figures analogues.

und mehr durchgerostet; das trifft ebenfalls im Land- und Küstenklima zu, mit Ausnahme der Lötüberzüge Nr. 22 und Nr. 24. Letztere folgten jedoch in der Rostbildung nach; sie zeigten nach vier Jahren ebenfalls „R4“ bzw. „R5“. Die Proben Nr. 22 erreichten nach dieser Zeit erst „R2“, im Stadt-/Industrieklima jedoch nach einem Jahr ebenfalls „R5“.

Verhalten der Duplexbeschichtungen

Im Landklima und im Stadt-/Industrieklima hat sich die PVC-Duplexbeschichtung während der vier Prüffahre nicht merkbar verändert. Es sind weder Kreiden noch Blasenbildung oder Abhebungen aus den möglichen vielfältigen Ursachen aufgetreten. Dementsprechend haben sich auch keine Untergrundeinflüsse von den Unregelmäßigkeiten im Oberflächenzustand der Zinküberzüge bemerkbar gemacht; sie sind offenbar ohne Einfluß. Im Land- und Stadt-/Industrieklima führten sämtliche Beurteilungen zu „R0“.

Als wesentlich korrosionsaggressiver für das Duplex-System erwies sich das Küstenklima (Tafel 2). Im ersten Prüffahr entstanden an den meisten Proben Abhebungen des Beschichtungsfilms auf bis zu rd. 10% der Versuchsfläche; an einigen Proben war etwa gleichlaufend eine Blasenbildung zu erkennen. Bereits im zweiten Prüffahr entwickelten sich deutliche Rostfärbungen (R2 bis R3) auf fast allen Duplex-Flächen; Blasenbildung und Abhebungen dehnten sich auf 30 bis 50% der Prüffläche aus. Dieses Erscheinungsbild verstärkte sich während der folgenden Beanspruchung. Nach vier Jahren waren meist mehr als 50% der Duplex-Beschichtungsfläche rostverfärbt und die Beschichtungsfilme größtenteils durch aufgeplatzte Bläschen und Abhebungen zerstört.

Die untere Zeile in Tafel 2 enthält die Durchschnittswerte aus den 26 Proben. Die Abweichungen der Einzelproben vom Durchschnittswert sind gering; sie werden auf Zufälligkeiten im Oberflächenzustand des Zinküberzuges und bei der Beschichtung zurückzuführen sein.

Als mögliche Ursache der besonderen Schädigung des Duplex-Systems im Küstenklima kommt die erhöhte ultraviolette Strahlung (UV-Strahlung) in Frage. So wurde auch bei einer anderen Bewitterungsversuchsreihe des VDEh³⁾ beobachtet, daß Beschichtungssysteme in Cuxhaven wesentlich stärker als in Olpe und Mülheim geschädigt werden. Dort zeigten jedoch die Proben in Olpe auch eine deutlich stärkere Schädigung als in Mülheim, was bei den vorliegenden Versuchen nicht beobachtet wurde. Somit müssen noch andere Einflußgrößen eingewirkt haben.

Als solche können Salzwasserebel vom Meer in Frage kommen, die bei den verhältnismäßig dünnen Beschichtungen schädigend wirken, im Gegensatz zu den dickeren Beschichtungen des obengenannten VDEh-Programms³⁾.

Von Tausalzbeanspruchungen her ist bekannt, daß NaCl durch Beschichtungen migriert korrosiv wirkt. Hierbei hat die Beschichtungsdicke einen wesentlichen Einfluß⁴⁾.

Die Reaktionsprodukte des Zinküberzuges waren bereits bei niedrigen Fe³⁺-Gehalten intensiv rostbraun gefärbt; das Eisen entstammt den Legierungsphasen der

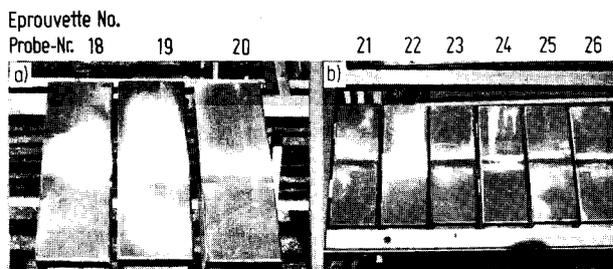


Bild 3. Proben, korundgestrahlt, nach vier Jahren Auslagerung in Olpe (Landklima); a) Zinkspritzüberzüge; b) Lötüberzüge

Figure 3. Eprouvettes grenillées au corindon après 4 ans d'exposition à Olpe (climat rural); a) revêtements par métallisation au zinc, b) revêtements par soudage

Figure 3. Corundum blasted samples after 4 years exposure in Olpe (rural climate); a) sprayed zinc coating, b) solder coating

On peut résumer comme suit le résultat de ces études:

1. Les revêtements à deux couches sont à la longue supérieurs à ceux à une couche; toutefois lorsque la durée des sollicitations augmente, même les couches épaisses se révèlent insuffisantes; les traversées de rouille finalement observées sont souvent comparables comme aspects pour ces deux types de peintures.
2. Le brossage est insuffisant comme traitement du substrat; le grenillage au corindon est avantageux au point de vue protection contre la corrosion des peintures.
3. Au cours de la première durée des essais, les peintures en poudres de zinc avec pigment d'Al (éprouvettes n^{os} 3, 7, 11 et 15) semblent présenter une légère supériorité sur les peintures en poudres de zinc pures (éprouvettes n^{os} 2, 6, 10 et 14);
4. Parmi les peintures au silicate de zinc, celle à base de silicate d'éthyle (organique) (éprouvettes n^{os} 4, 8, 12 et 16) présente des avantages par rapport à celle à base de silicate alcalin (inorganique) (éprouvettes n^{os} 5, 9, 13 et 17).

Lorsqu'on évalue les peintures il faut penser non seulement à leurs possibilités d'emploi comme couches de fond sur l'acier ou le zinc (dans le cas présent sur un cordon de soudure ou une galvanisation par trempé) mais surtout à leur incorporation dans des systèmes anti-corrosion comprenant des couches de finition.

Parmi les éprouvettes zinguées au pistolet (n^{os} 18, 19 et 20) même celles exemptes de peinture supplémentaire (n^o 18) n'ont pas montré de signes de rouille. Il n'a pas été possible de déceler un effet positif supplémentaire de l'emploi d'une couche de fond anti-corrosion (3 passes env. 100 µm, éprouvette n^o 19) ni d'une peinture à la poudre de zinc à pigment d'Al (3 passes, env. 100 µm, éprouvette n^o 20).

D'après ces résultats, le zingage au pistolet avec une épaisseur de couche d'env. 100 µm, en particulier avec un revêtement duplex (éprouvettes n^{os} 19 et 20) est le procédé optimal de protection pour les emplois ici considérés. Il est largement comparable comme durée de protection à la galvanisation par trempé.

Les procédés de brasage (éprouvettes n^{os} 21 à 26) ont donné une protection contre la corrosion insuffisante à tous les bancs d'essais. En climat industriel, au bout d'un an tous les revêtements de brasures étaient déjà rouillés sur env. 30 à 50% et plus de leur surface; il

Tafel 2. Korrosionsverhalten der Duplex-Beschichtungen auf dem Versuchsstand Cuxhaven-Sahlenburg (Küstenklima)
 Tableau 2. Comportement en corrosion des revêtements duplex à la station d'essais de Cuxhaven-Sahlenburg (climat côtier)
 Table 2. Corrosion behaviour of the duplex coatings on the test site at Cuxhaven-Sahlenburg (coastal climate)

Nr. No.	Vorbehandlung Traitement préalable	Korrosionsschutzsystem Système anticorrosif	Anzahl der Prüffahre Années d'exposition			
			1	2	3	4
1	ohne néant	Nullprobe Éprouvette neutre	R4, A4	R4, B5, A4	R4, B5, A4	R4, B5, A4
2	handgebürstet brossage manuel	50 µm Zinkstaub 50 µm de poussière de zinc	RO, B4, A4	RO, B5, A5	R1, B5, A5	R2, B5, A5
3		50 µm Zinkstaub/Al-pigmentiert 50 µm de poussières de zinc/à pigmentation d'Al	RO, B5, A4	RO, B5, A5	R1, B5, A5	R2, B5, A5
4		50 µm Zink-Äthylsilikat 50 µm de silicate éthylique de zinc	RO, B3, A4	R2, B5, A5	R3, B5, A5	R3, B5, A5
5		50 µm Zink-Alkalisilikat 50 µm de silicate alcalin de zinc	RO, B4, A4	R1, B5, A5	R3, B5, A5	R3, B5, A5
6		80 bis 100 µm Zinkstaub 80 à 100 µm de poussières de zinc	RO, A4	R1, B3, A4	R3, B3, A4	R4, B5, A5
7		80 bis 100 µm Zinkstaub/Al-pigmentiert 80 à 100 µm de poussières de zinc/à pigmentation d'Al	RO, B2, A4	R1, B3, A4	R3, B3, A4	R3, B4, A4
8		80 bis 100 µm Zink-Äthylsilikat 80 à 100 µm de silicate éthylique de zinc	RO, A3	R1, B5, A5	R1, B5, A5	R2, B5, A5
9		80 bis 100 µm Zink-Alkalisilikat 80 à 100 µm de silicate alcalin de zinc	RO, A3	R2, B3, A4	R4, B3, A4	R4, B4, A4
10		korundgestrahit grenaille au corindon	50 µm Zinkstaub 50 µm de poussières de zinc	RO, A1	R2, B4, A4	R3, B4, A4
11	50 µm Zinkstaub/Al-pigmentiert 50 µm de poussières de zinc/à pigmentation d'Al		RO, A1	R2, B5, A5	R3, B5, A5	R4, B5, A5
12	50 µm Zink-Äthylsilikat 50 µm de silicate éthylique de zinc		RO, A2	R2, B3, A3	R3, B4, A3	R4, B4, A4
13	50 µm Zink-Alkalisilikat 50 µm de silicate alcalin de zinc		RO, A4	R2, B4, A5	R2, B5, A5	R2, B5, A5
14	80 bis 100 µm Zinkstaub 80 à 100 µm de poussières de zinc		RO, A3	R2, B4, A4	R2, B4, A4	R3, B5, A5
15	80 bis 100 µm Zinkstaub/Al-pigmentiert 80 à 100 µm de poussières de zinc/à pigmentation d'Al		RO, A4	R2, B4, A5	R2, B4, A5	R3, B5, A5
16	80 bis 100 µm Zink-Äthylsilikat 80 à 100 µm de silicate éthylique de zinc		RO, A3	R3, B5, A5	R3, B5, A5	R4, B5, A5
17	80 bis 100 µm Zink-Alkalisilikat 80 à 100 µm de silicate alcalin de zinc		RO, A1	R3, B4, A4	R3, B4, A4	R4, B5, A5
18	80 bis 100 µm Spritzverzinkung 80 à 100 µm de métallisation au zinc		RO, A1	R3, B2, A2	R3, B2, A2	R4, B4, A4
19	Spritzverzinkung + 100 µm Primer Métallisation au zinc + 100 µm de Primer		R2, A2	R3, B4, A4	R3, B4, A4	R4, B5, A4
20	Spritzverzinkung + 100 µm Zinkstaub/Al-pigmentiert Métallisation au zinc + 100 µm de poussières de zinc/à pigmentation d'Al		RO, A2	R3, B2, A3	R3, B2, A3	R5, B5, A5
21	Lötpulver Poudre à souder		RO, A3	R3, B4, A4	R4, B4, A4	R5, B5, A5
22	Lötstäbe, Zn-Sn Barres à souder, Zn-Sn		RO, A3	RO, B4, A4	R2, B4, A4	R3, B5, A5
23	Lötstäbe, Zn-Sn-Cd Barres à souder, Zn-Sn-Cd		RO, A3	R3, B5, A5	R3, B5, A5	R5, B5, A5
24	Lötstäbe, Zn-Sn-Cd Barres à souder, Zn-Sn-Cd		RO, A3	R3, B4, A4	R3, B4, A4	R4, B5, A5
25	Lötdraht, Sn-Pb-Cd Fil à souder, Sn-Pb-Cd		RO, A3	R3, B5, A5	R3, B5, A5	R5, B5, A5
26	Lötstäbe, Sn-Cd Barres à souder, Sn-Cd	RO, A2	R3, B4, A4	R3, B4, A4	R5, B5, A5	
Durchschnittswerte Valeurs moyennes			R B A 0,23 0,7 2,9	R B A 2,1 3,9 4,3	R B A 2,7 4,2 4,5	R B A 3,6 4,9 4,8

Zinküberzüge, die bei den verwendeten Proben verbreitet bis an die Verzinkungsoberfläche reichten. Die vorgetauchte Rostbildung war unschwer mit einer Kratzprobe nachweisbar; der Zinküberzug war in fast unveränderter Dicke erhalten.

Auf den unbeschichteten Probenteilflächen ist es zu einer Rostverfärbung dieser Art nicht gekommen; offenbar werden die Korrosionsprodukte von den Niederschlägen abgewaschen.

Für das Duplex-System ist aus diesen Ergebnissen zu folgern, daß im Landklima und Stadt-/Industrieklima bereits mit wenig aufwendigen, dünnen Beschichtungen günstige Korrosionsschutzwirkungen erzielbar sind. Im Küstenklima sind hingegen höherwertige Beschichtungsstoffe mit vergleichsweise dickeren Schichten einzusetzen, die dem beschriebenen Korrosionsmechanismus zu widerstehen vermögen.

en était de même en climat rural ou maritime, à l'exception des revêtements n° 22 et 24. Ces derniers venaient toutefois juste après au point de vue formation de rouille; au bout de quatre ans eux-aussi avaient atteint les degrés R4 ou R5. Les éprouvettes n° 22 n'avaient atteint au bout de ce temps que le degré R2 mais en climat urbain/industriel ils étaient déjà à R5 au bout d'un an.

Comportement des revêtements duplex

En climat rural et en climat urbain/industriel le revêtement duplex avec du PVC n'a pas sensiblement varié pendant les quatre années d'essai. Il ne s'est produit ni farinage ni cloquage ou décollements du fait des multiples causes possibles. De ce fait on n'a pas remarqué d'effets du substrat venant des irrégularités de la surface des revêtements de zinc; celles-ci sont visiblement

Schlußfolgerungen

Von den untersuchten Verfahren ist die Spritzverzinkung, insbesondere bei zusätzlicher Anwendung von Deckbeschichtungen, der Feuerverzinkung hinsichtlich der Korrosionsschutzwirkung am ehesten vergleichbar.

Auf beschichtungsgerecht vorbehandeltem Untergrund, vorzugsweise einer Strahlreinigung Sa 2½ nach DIN 55928, Teil 4²), weisen Grundbeschichtungen des Typs Zinkstaub-Äthylsilikat bei Schichtdicken um 80 bis 100 µm eine gute Schutzwirkung auf; sie läßt sich mit ergänzenden Deckbeschichtungen weiter verbessern.

Dünne Beschichtungen, zumal auf nicht einwandfrei vorbereitetem Untergrund, und Überlötungen beinhalten die Gefahr frühzeitigen Versagens.

* * *

Die Arbeiten wurden zusammen mit dem Gemeinschaftsausschuß Verzinken e. V. (GAV), Düsseldorf, und dem Verein Deutscher Eisenhüttenleute (VDEh), Düsseldorf, durchgeführt.

An der Gemeinschaftsarbeit waren neben den obengenannten Organisationen beteiligt: Firma Wiederhold, Hilden, Fachbereich Korrosionsschutzbeschichtungen, Hoesch-Hüttenwerke AG, Dortmund, Abt. Werkstoffentwicklung und Anwendungstechnik, Mannesmannröhren-Werke AG, Zentrallaboratorium, Mülheim/Ruhr.

Allen Beteiligten sei an dieser Stelle für die Mitarbeit gedankt.

Zusammenfassung

An Schweißverbindungen aus feuerverzinkten Profilrohrabschnitten wurde die Korrosionsschutzwirkung von unterschiedlichen Nachbehandlungen (Beschichten, Spritzverzinken, Überlöten) – vorausgegangen waren Oberflächenvorbehandlungen durch Handbürsten oder Korundstrahlen – nach vierjähriger Auslagerung in verschiedenen Klimabereichen untersucht.

Aus dem Zustand der Versuchsflächen auf den Proben des zunächst für acht Jahre geplanten Untersuchungsprogramms sind bereits nach vier Jahren wichtige Schlußfolgerungen möglich, die der betrieblichen Anwendung zugänglich gemacht werden sollen.

Die angewendeten Korrosionsschutzmaßnahmen führten zu folgenden Bewertungen:

Bürstenbearbeitung mit Handbürsten als Oberflächenvorbehandlung für nachfolgende Korrosionsschutzbeschichtungen ist einer Strahlbearbeitung mit Korund deutlich unterlegen;

Einfachbeschichtungen erbringen einen unzureichenden Korrosionsschutz; von den Beschichtungsstoffen zeigt eine Grundierung auf Basis Zink-Äthylsilikat das günstigste Verhalten; zusätzliche Deckbeschichtungen sind empfehlenswert;

die Korrosionsschutzwirkung der Lötüberzüge ist unbefriedigend und der Feuerverzinkung nicht annähernd vergleichbar;

sans influence. En climat rural et urbain/industriel toutes les évaluations ont donné R 0.

Le climat maritime s'est révélé particulièrement agressif pour le système duplex (*tableau 2*). Au cours de la première année d'essais on a eu sur la plupart des éprouvettes des décollements du film de peinture sur env. 10% au maximum de la surface d'essai; on a observé sur quelques éprouvettes à peu près simultanément un cloquage. Dès la deuxième année des colorations nettes de rouille (R2 à R3) se sont développées sur presque toutes les surfaces duplex; le cloquage et les décollements se sont étendus sur 30 à 50% de la surface d'essai. Ce phénomène s'est aggravé durant la suite des essais. Après quatre ans, plus de 50% en général de la surface des revêtements duplex avaient des couleurs de rouille et les films de peinture étaient en majeure partie endommagés par des cloques et des décollements ayant crevé.

La ligne du bas du *tableau 2* porte les moyennes des 26 éprouvettes. Les écarts des diverses éprouvettes par rapport à la moyenne sont faibles; ils s'expliquent par les fluctuations aléatoires de l'état de surface du revêtement de zinc et de la peinture.

L'endommagement particulièrement fort du système duplex en climat maritime peut s'expliquer par les forts rayonnements ultra-violets. On a aussi observé lors d'une autre série d'essais du VDEh de résistance aux intempéries³) que les peintures étaient beaucoup plus abîmées à Cuxhaven qu'à Olpe et à Mülheim. Toutefois dans ce dernier cas les éprouvettes de Olpe étaient nettement plus endommagées que celles de Mülheim, ce qu'on n'a pas observé lors des essais actuels. Donc d'autres facteurs ont dû aussi agir.

Il se peut que ce soient aussi les brumes d'eau de mer qui endommagent les couches de peinture relativement minces, contrairement aux couches plus épaisses du programme du VDEh cité ci-dessus³). On sait d'après les effets du sel déposé par condensation que NaCl produit un effet corrosif en migrant à travers les peintures. L'épaisseur de la peinture a là une forte influence⁴).

Les produits de réaction du revêtement de zinc ont la couleur brun rouille foncé même pour de faibles teneurs en Fe³⁺; le fer provient des phases d'alliage des revêtements de zinc qui dans les éprouvettes considérées atteignaient la surface de zingage. Cette fausse rouille est facile à reconnaître en grattant; le revêtement de zinc conserve son épaisseur presque intacte.

Sur les surfaces non peintes des éprouvettes on n'observe pas de couleur rouille de ce genre; manifestement les produits de corrosion ont été lavés par les dépôts.

On peut conclure de ces résultats pour le système duplex, qu'en climat rural et urbain-/industriel, des couches minces et peu coûteuses donnent déjà une bonne protection contre la corrosion. En climat maritime par contre on doit employer des peintures plus coûteuses en couches relativement plus épaisses, afin de résister au mécanisme de corrosion que nous avons décrit.

Conclusions

Parmi les procédés étudiés le zingage au pistolet, en particulier complété par des peintures de finition, est celui qui se compare le mieux à la galvanisation par trempé au point de vue résistance à la corrosion.

Zinkspritzüberzüge kommen in ihrer Schutzwirkung der Feuerverzinkung am nächsten, insbesondere bei Anwendung von Deckbeschichtungen. Da als Oberflächenvorbehandlung ohnehin Korundstrahlen bevorzugt werden sollte, dürfte sich gegenüber anderen Verfahren eine vergleichbare Wirtschaftlichkeit ergeben.

Zusätzlich auf einer Schmalseite der Proben aufgebraute Duplex-Beschichtungen verhielten sich im Land- und Stadt-/Industrieklima hervorragend, während im Küstenklima bereits nach einem Jahr Bewitterung Abhebungen der Beschichtung auftraten. Die Bewitterungsversuche werden weitere vier Jahre fortgesetzt. Sollten sich ergänzende Erkenntnisse ergeben, wird darüber berichtet.

Summary

Investigations were carried out on the effectiveness of corrosion protection by various post-treatments paint-coating, sprayed zinc-coating, soldering on welded joints of hot galvanized square-tubes during 4 years exposure in various climatic regions. Surface treatments were hand brushing or corundum shot-blasting.

Although the original test programme was planned for 8 years, the condition of the test surfaces of the samples enabled important conclusions to be made after only 4 years and these should be made accessible now for practical application.

The applied methods of corrosion protection led to the following evaluations:

Preparation by hand brushing, as a pre-treatment for subsequent corrosion protection, is clearly inferior to shot-blasting with corundum;

single coatings provide insufficient corrosion protection; priming with zinc ethyl silicate shows the most favourable behaviour as a coating material; additional top coatings are to be recommended;

the corrosion protection of the solder coatings is unsatisfactory and in no way comparable with hot galvanizing; sprayed zinc coatings come closest to the protection provided by hot galvanizing, especially when a top coating is applied. In view of the fact that surface treatment by corundum blasting is always preferable, it seems that it will be economical by comparison with other processes.

Duplex coatings additionally applied on one narrow side of the samples behaved excellently in rural and town (industrial) climates, whereas separation of the coating occurred after only 1 year of weathering in the coastal climate. The weathering tests will be continued for another 4 years and any supplementary information will be reported when and if it becomes available.

Schrifttum

- ¹⁾ Friche, W., B. Meuthen u. W. Schwenk: Stahl u. Eisen 88 (1968) S. 477/84; 89 (1969) S. 88/89.
- ²⁾ DIN 53 210. Ausg. Febr. 1978.
- ³⁾ Bewitterungsversuche mit Beschichtungen auf feuerverzinkten, spritzverzinkten und elektrolytisch verzinkten Stahlblechen. Stahl u. Eisen demnächst.
- ⁴⁾ Hildebrand, H., u. W. Schwenk: Werkst. u. Korrosion 30 (1979) S. 542/550.
- ⁵⁾ DIN 55 928. T. 4. Ausg. Jan. 1977.

Des couches de fond de 80 à 100 µm d'épaisseur du type poudre de zinc-silicate d'éthyle ont un bon effet de protection pour un substrat préparé à cet effet, de préférence par un grenailage Sa 2½ selon la norme DIN 55 928 partie 4⁵); on peut encore les améliorer par des couches de peinture de finition.

Des couches de peintures minces, surtout sur un substrat imparfaitement préparé ou des brasures de recouvrement risquent de se détériorer prématurément.

* * *

Les travaux ont été effectués avec la Gemeinschaftsaus-schuß Verzinken e. V. (GAV), Düsseldorf, et le Verein Deutscher Eisenhüttenleute e. V. (VDEh), Düsseldorf.

En plus de ces organismes, les sociétés suivantes ont participé à ces travaux: Fa. Wiederhold, Hilden, spécialisée dans les peintures anti-corrosion, Hoesch-Hüttenwerke AG, Dortmund, Service Développement des Matériaux et Techniques d'Utilisation, Mannesmann-Röhren-Werke AG, Laboratoire Central, Mülheim/Ruhr.

Qu'elles soient ici remerciées de leurs efforts.

Résumé

On a étudié sur des joints de soudure dans des coupons de tubes profilés galvanisés par trempé, la protection contre la corrosion apportée par différents traitements (peintures, zingage au pistolet, recouvrement par brasage), après avoir soumis le substrat à un brossage manuel ou un grenailage au corindon. Cette étude a été faite après une exposition de quatre ans sous différents climats.

Bien que le programme d'étude ait été prévu initialement pour huit ans, il est déjà possible après quatre ans de tirer de l'état des surfaces des éprouvettes des conclusions importantes, applicables industriellement.

Les mesures appliquées de protection contre la corrosion ont conduit aux résultats suivants:

Le prétraitement du substrat par brossage manuel avant application de peintures anti-corrosion est nettement inférieur à un grenailage au corindon; les peintures monocouches assurent une protection insuffisante contre la corrosion; parmi les peintures celle de zinc-silicate d'éthyle est la mieux pour les couches de fond; des couches de finition supplémentaires sont recommandées;

la protection contre la corrosion des revêtements par brasage n'est pas satisfaisante et n'est pas comparable à la galvanisation par trempé;

le zingage au pistolet se rapproche le plus de la galvanisation par trempé au point de vue protection, en particulier lorsqu'on le complète par des peintures de finition. Comme pour le prétraitement du substrat, le grenailage au corindon doit de toute façon avoir la préférence, on devrait avoir ainsi un prix de revient comparable à d'autres procédés.

Des revêtements duplex appliqués en outre sur une petite face des éprouvettes se sont remarquablement comportées en climat rural ou urbain/industriel alors qu'en climat maritime déjà après un an d'exposition la peinture s'écaillait. Les essais d'exposition continuent pendant encore quatre ans. S'ils donnent des connaissances complémentaires, nous les publierons.