

Gruppe C

Nr. 683

Einfluß der Herstellbedingungen auf die Verwendbarkeit verzinkter Stahldrähte

Von Rolf Nünninghoff in Köln-Mülheim

Bericht Nr. 121 des Ausschusses für Drahtverarbeitung des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute und Bericht Nr. 52 des Gemeinschaftsausschusses Verzinken e.V.**)**)

Einfluß der Hartzinkschicht und des Nachziehens auf die Eigenschaften feuerverzinkter Drähte. Vergleich der mechanischen Eigenschaften von feuerverzinkten und elektrolytisch verzinkten Drähten. Abhängigkeit der Eigenschaften des Zinküberzuges von den Herstellbedingungen. Schlußfolgerungen.

Effect of manufacturing conditions on the applicability of zinc-coated steel wire. Effect of the dross layer and of redrawing on the properties of hot-galvanized steel wire. Comparison of the mechanical properties of hot-galvanized and electrolytically galvanized wires. Properties of the zinc coat as dependent on the manufacturing conditions. Conclusions.

Influence des conditions de fabrication sur l'applicabilité des fils d'acier galvanisés. Influence de la couche de zinc dur et du repassage sur les propriétés de fils galvanisés à chaud. Comparaison des propriétés mécaniques de fils galvanisés à chaud et de fils galvanisés par le procédé électrolytique. Propriétés de la couche de zinc en fonction des conditions de fabrication. Conclusions.

Beim Verzinken von Draht im flüssigen Zinkbad werden Zinkauflagen bis rd. 350 g/m² aufgebracht, die im allgemeinen einen ausreichenden Korrosionsschutz bieten. Jedoch fallen durch die damit verbundene Wärmeeinwirkung die Hin- und Herbiege- und Verwindezahlen ab. Da aber zur Be-

urteilung der Drahtgüte häufig nur diese Werte herangezogen werden, bleiben große Anwendungsgebiete den so verzinkten Stahldrähten verschlossen. Erschwerend wirken in diesem Zusammenhang noch die Neufassungen von DIN 2078 und DIN 51254, deren Mindestforderungen an die technologischen Eigenschaften bei Zugfestigkeiten über 170 kg/mm² mit der abschließenden Verzinkung im Metallbad nicht immer sicher erreicht werden können.

In der Vergangenheit wurden in mehreren Arbeiten versucht, den Abfall der technologischen und mechanischen

*) Vorgetragen auf der 28. Vollversammlung des Ausschusses für Drahtverarbeitung am 13. Juli 1966 in Düsseldorf.

**) Auszug aus der von der Fakultät für Bergbau und Hüttenwesen der Rhein.-Westf. Techn. Hochsch. Aachen genehmigten Dr.-Ing.-Diss. von R. Nünninghoff, Aachen.

Eigenschaften bei der als Feuerverzinken bezeichneten Behandlung zu erklären.

H. W. Berg¹⁾ tauchte Stahldrähte unter gleichen Bedingungen sowohl in Zink als auch in Blei. Er fand, daß die in Blei erwärmten Drähte höhere Hin- und Herbiege- und Verwindezahlen erreichen. Neben dem Einfluß der Wärme mußte also die Zinkschicht den starken Abfall bewirken. Das leichte Aufreißen der spröden Hartzinkschicht und die damit verbundene Kerbwirkung wurden von H. W. Berg für den Abfall der technologischen Werte verantwortlich gemacht.

In einer Arbeit von J. Blanpain²⁾ wurden zwar die gleichen Ergebnisse gefunden, aber das frühzeitige Versagen feuerverzinkter Drähte anders erklärt. Die Kerbwirkung der Hartzinkschicht wird bezweifelt, da sich die Risse vor dem Bruch nicht in den Stahlkern hinein fortsetzen. Vielmehr beruht die Wirkung der Hartzinkschicht nach J. Blanpain auf ihrer starken Verbundwirkung mit dem Stahl. Da die Legierungsschicht eine sehr geringe Verformungsfähigkeit hat, muß sie auf einen sich im plastischen Zustand befindlichen Stahldraht dehnungs-, kontraktions- und schiebungshemmend wirken. Durch das Aufreißen der Hartzinkschicht werden kurze Stücke der Drahtoberfläche vom Zink befreit. Dort tritt dann eine große örtliche Verformung auf, wobei das Formänderungsvermögen des Stahls an dieser Stelle frühzeitig erschöpft wird. Die Wirkung eines Risses in der Hartzinkschicht ist demnach nicht der Wirkungsweise einer Kerbe gleichzusetzen.

In folgenden Ausführungen werden die Ergebnisse der Untersuchung verschiedener Herstellbedingungen für die Fertigung von verzinkten Stahldrähten mit höherem Kohlenstoffgehalt betrachtet und Möglichkeiten für eine Verbesserung der technologischen und mechanischen Eigenschaften mitgeteilt.

Einfluß der Hartzinkschicht auf die Eigenschaften feuerverzinkter Stahldrähte

Als erstes wurde versucht, das ungünstige Verhalten feuerverzinkter Stahldrähte durch Änderung der Dicke der Hartzinkschicht zu verbessern.

Bei den im Betrieb üblichen Bedingungen beim Feuerverzinken ist der Anteil der Legierungsschichten an der Gesamtschichtdicke etwa 30%. Die Hartzinkschicht besteht in der Hauptsache aus der Γ -Phase mit 21 bis 28% Fe, der δ -Phase mit 7 bis 11,5% Fe und der ζ -Phase mit einem Fe-Gehalt von 6%³⁾. Auf diesen Legierungsschichten lagert sich dann beim Herausziehen aus dem Zinkbad Reinzink ab.

Man kann nun durch Veränderung der Verzinkungsbedingungen, z. B. durch Verringern der Zinkbadtemperatur, versuchen, den Anteil der Hartzinkschicht zu verkleinern. Da die Reaktionsgeschwindigkeit mit fallender Temperatur geringer wird, ist eine dünne Hartzinkschicht bei niedrigen Temperaturen zu erwarten. Temperaturen unter 440 °C bringen dagegen keine dicken Zinkauflagen mehr.

Zweitens ist die Reaktionszeit zu beachten. Auch hier ist ein Optimum zwischen erwünschter hoher Zinkauflage und günstiger Ausbildung der Hartzinkschicht zu suchen. Die kürzeste Eintauchzeit bringt natürlich die geringsten Legierungsanteile. Die Reaktion zwischen Eisen und Zink läuft auch nach Verlassen des Zinkbades noch weiter, solange die Temperatur über rd. 260 °C liegt. Wichtig ist also ein schnelles Abkühlen nach dem Verlassen des Zinkbades durch

Wasser oder Luft, um eine weitere Hartzinkbildung zu verhindern.

Drittens kann die Bildung der Hartzinkschicht durch die Durchlaufgeschwindigkeit beeinflusst werden. Bei hohen Geschwindigkeiten wird mehr Reinzink auf einer verhältnismäßig dünnen Hartzinkschicht mitgerissen. Dann muß jedoch besonders auf einen schwingungsfreien Lauf des Drahtes geachtet werden, da sich sonst ungleichmäßige Schichten bilden, die schlecht haften.

Durch Änderung der drei Einflußgrößen wurden sowohl bei abschließend feuerverzinkten als auch bei verzinkt nachgezogenen Stahldrähten Hartzinkschichtdicken zwischen 10 und 60% erzeugt.

Mit zunehmender Dicke der Hartzinkschicht fallen die Verwindungen von schlußverzinkten Drähten von 32 auf 29 (Bild 1), da die schiebungshemmende Wirkung der Hart-

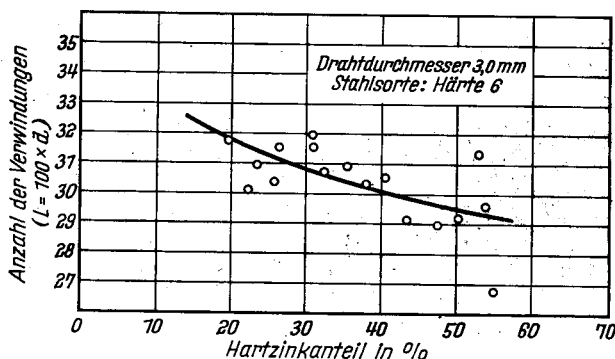


Bild 1. Einfluß des Hartzinkanteiles an der Dicke des Zinküberzuges auf die Zahl der Verwindungen bei schlußverzinktem Draht

zinkschicht mit der Dicke zunimmt. Dagegen bleibt die Zahl der Hin- und Herbiegungen von der Legierungsschichtdicke unbeeinflusst. Schon eine geringe Dicke der Hartzinkschicht genügt, um eine starke Verbundwirkung mit dem Stahl zu erzeugen. Die frühzeitige Erschöpfung des Stahls ist daher unabhängig von der Hartzinkschichtdicke.

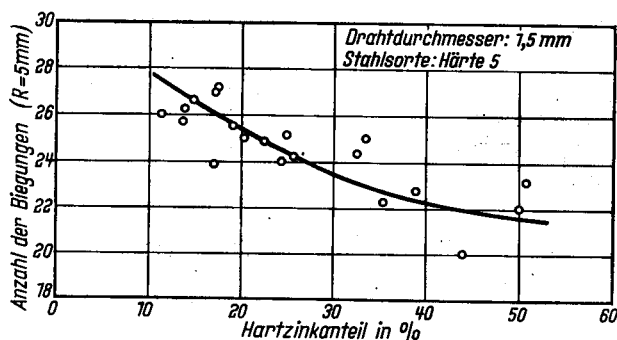


Bild 2. Einfluß des Hartzinkanteiles an der Dicke des Zinküberzuges auf die Zahl der Biegungen bei verzinkt gezogenem Draht

Anders ist das Verhalten bei feuerverzinkt nachgezogenen Stahldrähten. Hier nehmen die Hin- und Herbiegungen mit zunehmender Dicke der Hartzinkschicht von 27 auf 21 ab (Bild 2), während die Zahl der Verwindungen nicht beeinflusst wird. Die spröden Hartzinkkristalle werden beim Nachziehen in den Stahl gedrückt und verursachen Oberflächenbeschädigungen, die die Zahl der ertragenen Hin- und Herbiegungen ungünstig beeinflussen, während solche Kerben sich auf den Verwindevorgang nicht nachteilig auswirken.

Einfluß des Nachziehens auf die Eigenschaften feuerverzinkter Stahldrähte

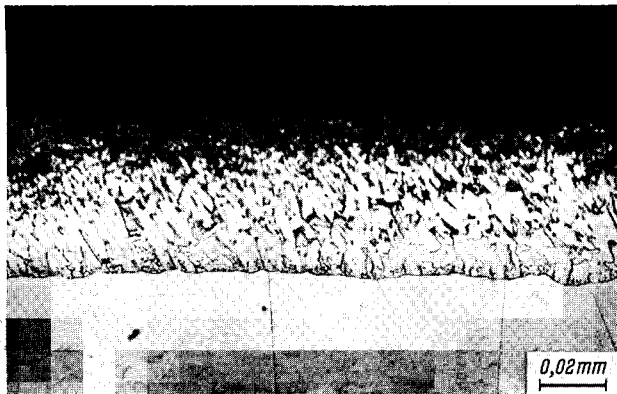
Beim Ziehen von feuerverzinkten Stahldrähten orientieren sich die Kristallite der spröden Hartzinkschicht in Richtung

¹⁾ Berg, H.-W.: Zusammenhang zwischen Heißverzinkungsprozessen und technologischen Eigenschaften von kalt gezogenen Stahldrähten mit verschiedenen Kohlenstoffgehalten nach Anwendung verschiedener Reckgrade. Dipl.-Arb. Techn. Hochsch. Aachen 1958.

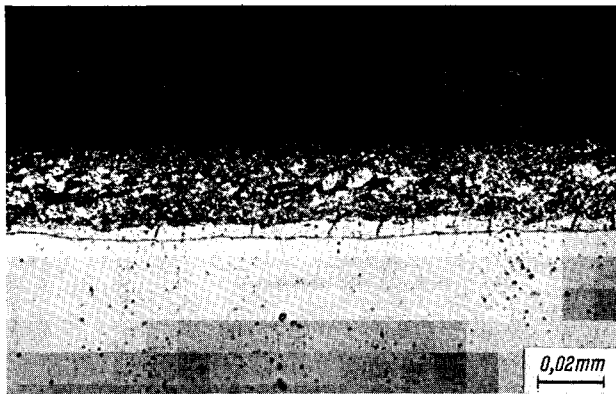
²⁾ Stahl u. Eisen 84 (1964) S. 1576/85 (Aussch. Drahtverarbeitung 107 u. Gemeinschaftsaussch. Verzinken 50).

³⁾ Bayer, K., u. B. Trautmann: Zink - Taschenbuch der Zinkberatung E. V. Berlin-Grünwald 1959; s. bes. S. 234/35.

der Drahtachse. Bild 3a zeigt eine Hartzinkschicht nach einer geringen Verformung von 18%. Die Neigung der Hartzinkkristalle ist schon deutlich zu sehen. Mit zunehmender Verformung zerbröckelt die Legierungsschicht und vermischt sich mit dem Feinzink, so daß nach einer großen Gesamt-



a) Drahtdurchmesser 4,7 mm



b) Drahtdurchmesser 2,9 mm

Bilder 3a und b. Zinkauflagen verzinkt gezogener Stahldrähte (425:1, Original 500:1)

- a) Gesamtquerschnittsabnahme 18%
b) Gesamtquerschnittsabnahme 70%

querschnittsabnahme von über 70% die beiden Phasen kaum noch zu trennen sind (Bild 3b). Die Feinzinkschicht ist sehr gut verformbar und wirkt als Schmiermittelträger.

Einen bedeutenden Einfluß auf die Güte der Zinkauflage nach dem Verformen haben die Ziehbedingungen⁴⁾. Um eine Beschädigung der weichen Oberfläche zu vermeiden, müssen erkannte optimale Werte genau eingehalten werden.

Wichtig ist eine einwandfreie Scheiben- und Ziehsteinkühlung der Ziehmaschinen. Bei zu starker Erwärmung klebt die Zinkschicht an der Scheibe und wird stark beschädigt.

Mit Sicherheit ist bei übertrieben hohen Ziehgeschwindigkeiten die Zinkauflage nach dem Ziehen mangelhaft. Die gute Verformbarkeit des Feinzinks reicht bei Ziehgeschwindigkeiten über 5 m/s nicht mehr aus, um eine zusammenhängende Zinkauflage zu gewährleisten. Die Einrisse in der Hartzinkschicht verlaufen weiter ins Feinzink und lassen von außen mehr oder weniger starke Querrisse erkennen. Der gleiche Fehler kann auch bei zu großer Einzelquerschnittsabnahme auftreten. Gute Ergebnisse wurden mit 10 bis 20% Querschnittsabnahme je Zug erreicht.

Eindeutige Ergebnisse über die günstigste Ziehsteinform konnten nicht erhalten werden. Es sollen konische Ziehsteine mit $2\alpha = 14$ bis 18° zum Nachziehen von verzinkten Stahldrähten am besten geeignet sein. Dagegen wurde festgestellt,

daß auch mit sehr schlanken Ziehholen mit $2\alpha = 4$ bis 5° einwandfreie Zinkauflagen hergestellt werden können.

Im folgenden soll der Einfluß des Nachziehens auf die Zahl der Hin- und Herbiegungen und Verwindungen von feuerverzinkten gezogenen Stahldrähten betrachtet werden. Aus den Stahlsorten D 45-2, D 65-2 und D 85-2 (bisherige Bezeichnungen Härte 4, Härte 6 und Härte 8) wurden fünf verschiedene Drahtdurchmesser zwischen 1,0 und 2,98 mm mit neun verschiedenen Gesamtquerschnittsabnahmen nach dem Patentieren gezogen.

Ein Drittel der Drähte wurde als Fertigdraht schlußverzinkt, ein Teil nach dem Patentieren und anschließend nachgezogen, während der Rest unverzinkt blieb.

Jeder Punkt in den folgenden Bildern entspricht einem Mittelwert von zehn Einzelprüfungen. Der Einfluß der Gesamtquerschnittsabnahme auf die Zahl der Hin- und Herbiegungen bei den verschiedenen Stahlsorten ist für den Anfangsdurchmesser 2,44 mm aus Bild 4 zu entnehmen.

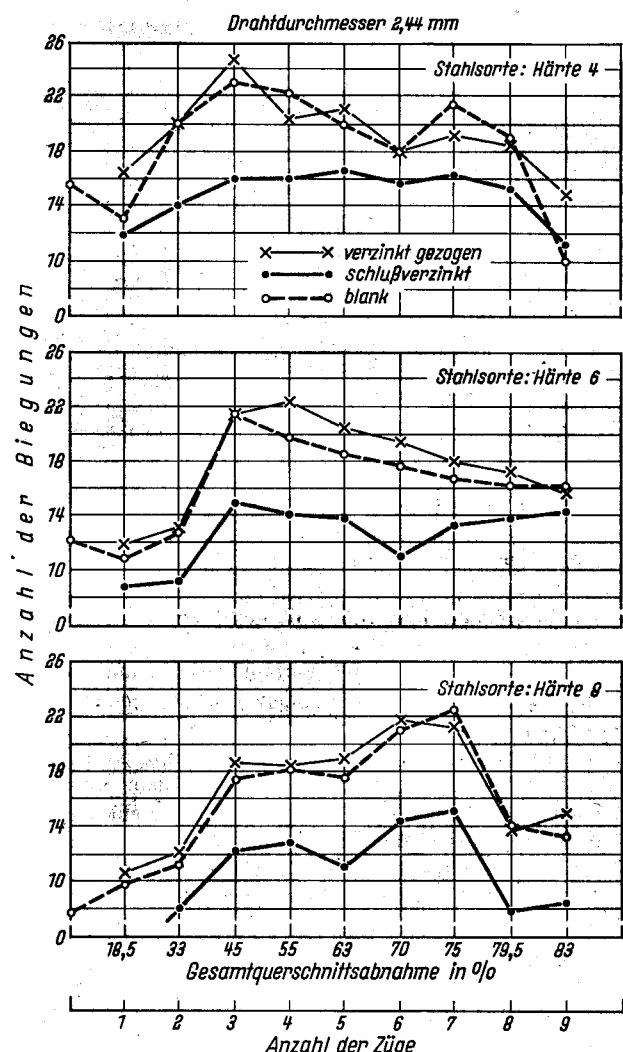


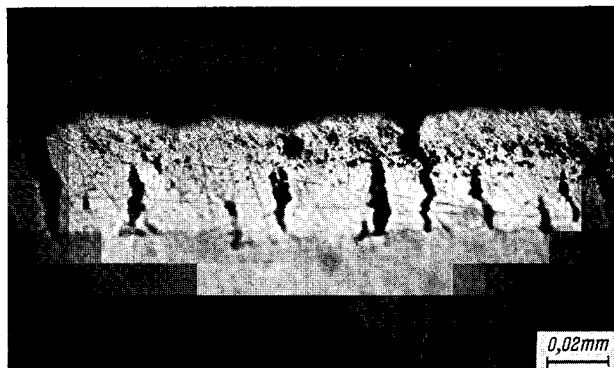
Bild 4. Einfluß einer unterschiedlichen Querschnittsabnahme beim Ziehen auf die Zahl der Biegungen unterschiedlich behandelter Drähte

Bei den feuerschlußverzinkten Stahldrähten (untere Kurve) wurden die von J. Blanpain gefundenen Werte bestätigt. Gegenüber unverzinktem Draht ist ein Abfall von zwei bis vier Biegungen festzustellen. Feuerverzinkt nachgezogene Stahldrähte zeigen gegenüber schlußverzinkten Drähten eine deutliche Überlegenheit. Es konnten die gleichen Ergebnisse wie bei unverzinktem Draht erreicht werden. Bemerkenswert ist der Anstieg der Biegungen bis zu

⁴⁾ Sokolov, N. V., L. I. Šetkin, Ja. A. Gochberg, L. A. Krasilnikov u. V. M. Dmitriev: Die Herstellung von Seildraht mit verstärkter Zinkauflage. Stal in Deutsch 1962, Nr. 10, S. 996.

einem Maximum. Bei stärkeren Verformungen nehmen die Werte wieder ab.

Der Abfall der Hin- und Herbiegungen schlußverzinkter Drähte wird durch J. Blanpain einleuchtend erklärt. Danach entstehen beim Biegen eines Zinküberzuges in größerem Abstand Risse in der Hartzinkschicht, die dadurch in kleine Blöckchen aufgeteilt wird. In Bild 5a erkennt man ein der-



a)



b)

Bilder 5a und b. Aussehen der Zinkauflage nach fünf Biegungen in der Zugzone (400:1, Original 500:1)

- a) bei einem schlußverzinkten Stahldraht
b) bei einem verzinkt gezogenen Stahldraht

artiges Blöckchen. Das Formänderungsvermögen des Stahls wird an den wenigen Rißstellen frühzeitig erschöpft, da die übrige Stahloberfläche durch Verbundwirkung und die sehr geringe Verformungsfähigkeit der Hartzinkschicht nicht verformt werden kann.

Bei nachgezogenen Stahldrähten wird dagegen die Hartzinkschicht zerstört und der Verbund mit dem Stahl aufgehoben. Beim Hin- und Herbiegen treten wesentlich mehr Risse in der zerbröckelten Hartzinkschicht auf (Bild 5b). Die Hartzinkteilchen schieben sich beim Biegen übereinander und verlieren die dehnungshemmende Wirkung, da die Plastifizierung an der Drahtoberfläche nicht nur an bevorzugten Stellen auftritt. Ein vorzeitiger Bruch wird also vermieden, und der Stahldraht bricht an der schwächsten Stelle seines Querschnitts. Sein Verhalten gleicht einem unverzinkten Draht. Der feuerverzinkt nachgezogene Draht erreicht somit die gleiche Zahl von Hin- und Herbiegungen wie unverzinkter Draht, nicht zuletzt auch deshalb, weil beim Verzinken von patentierten, noch nicht kalt verformten Drähten keine Reckalterung auftreten kann.

Das Verhalten unterschiedlich behandelter Drähte bei der Verwindeprüfung ist für den Draht mit 2,0 mm Anfangsdurchmesser aus Bild 6 zu ersehen.

Bei schlußverzinkten Drähten wird auch hier das gleiche Verhalten wie bei J. Blanpain gefunden. Bei niedrigen Querschnittsabnahmen nach dem Patentieren stellt man einen Abfall der Zahl der Verwindungen um mehr als 50% fest. Bei

Querschnittsabnahmen über 80% wird dagegen die Zahl der Verwindungen nur noch um 30% vermindert. Durch ein Ziehen nach dem Verzinken werden auch die Verwindungen verbessert. Im allgemeinen zeigen die Verwindenzahlen erst einen deutlichen Anstieg nach etwa 50% Querschnittsabnahme und erreichen dann die gleichen Ergebnisse wie bei unverzinkten Stahldrähten.

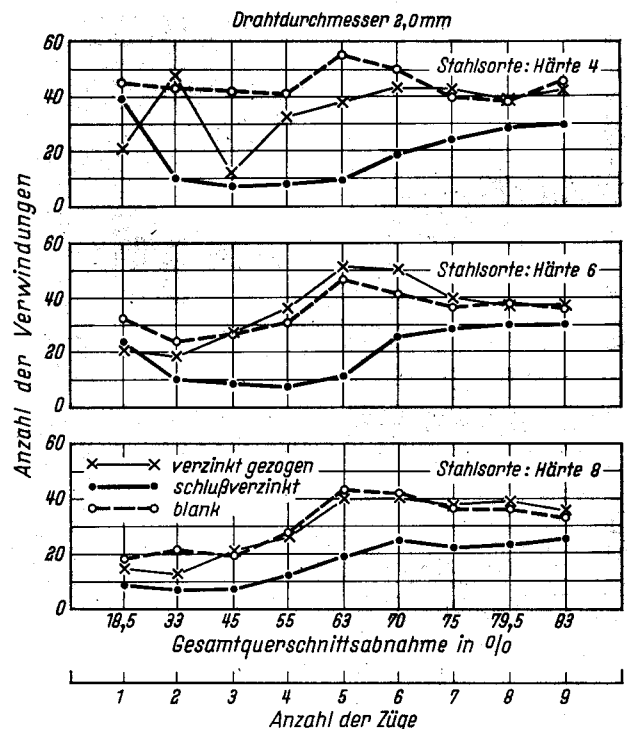


Bild 6. Einfluß einer unterschiedlichen Querschnittsabnahme beim Ziehen auf die Zahl der Verwindungen unterschiedlich behandelter Drähte

Nach J. Blanpain bilden sich beim Verwinden eines feuerschlußverzinkten Stahldrahtes spröde Hartzinkringstücke. Der Stahl unter den Ringscheiben wird in der Schiebung gehemmt, während es an den Trennstellen zu örtlichen Überdrillungen kommt. Außerdem werden durch die kontraktionshemmende Wirkung der Hartzinkschicht den Bruch fördernde Spannungsfelder aufgebaut.

Dagegen verhält sich ein feuerverzinkt nachgezogener Stahldraht völlig anders. Wie schon erwähnt, wird durch das Ziehen nach dem Verzinken die Hartzinkschicht zerstört. Ein frühzeitiges Aufreißen an einzelnen Stellen ist dann nicht mehr möglich, und die schiebungs- und kontraktionshemmende Wirkung der Legierungsschicht wird aufgehoben. Da auch hier die Reckalterung wegfällt, können gleiche Ergebnisse wie bei unverzinktem Draht erreicht werden. Bei geringen Querschnittsabnahmen ist die Zerstörung der Hartzinkschicht noch nicht weit genug fortgeschritten. Die Teilchen können sich daher noch nicht übereinanderschieben, und das Verwindeverhalten eines solchen Drahtes gleicht noch teilweise dem eines schlußverzinkten. Ganz deutlich ist das auch beim Streubereich zu erkennen, der mit zunehmender Querschnittsabnahme nach dem Verzinken immer enger wird (Bild 7).

Hin- und Herbiegungen und Verwindungen feuerverzinkter Stahldrähte können durch das Nachziehen wesentlich verbessert werden. Besonders Seildrähte erfahren aber üblicherweise keine Beanspruchung bis zum Bruch, sondern unterliegen einer Dauerbeanspruchung. So wurde als weitere Eigenschaft die Biegeweichfestigkeit σ_{bW} nach DIN 50100 „Dauerschwingversuch“ ermittelt. Untersucht wurden Drähte

der Härten 5, 7 und 8. Die Stahldrähte waren sowohl feuerschlußverzinkt als auch feuerverzinkt nachgezogen und lagen in verschiedenen Durchmessern vor.

Bei der Biege-wechsel-festigkeit konnte nicht das gleiche Verhalten wie bei der Biege- und Verwindeprüfung gefunden werden. Vielmehr ergab bei allen untersuchten Stahlsorten

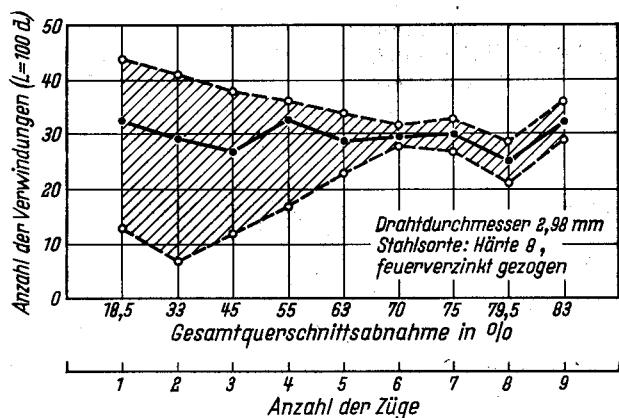


Bild 7. Streuung der Zahl der Verwindungen in Abhängigkeit von der Gesamtquerschnittsabnahme bei verzinkt gezogenem Stahldraht

das Nachziehen von feuerverzinkten Stahldrähten keine oder nur eine sehr geringe Verbesserung der Wechselbiegefestigkeit. Dagegen haben die unverzinkten Drähte eine bessere Dauerbiegefestigkeit als die verzinkten.

In Bild 8 wurden die Ergebnisse für einen Stahldraht der Härte 5 zusammengestellt. Bei dem unverzinkten Draht (obere Kurve) liegt σ_{bw} bei 47 kg/mm². Die Biegewechsel-festigkeit der verzinkt gezogenen und schlußverzinkten Drähte fällt um 10 oder 11 kg/mm² auf 37 kg/mm² und 36 kg/mm².

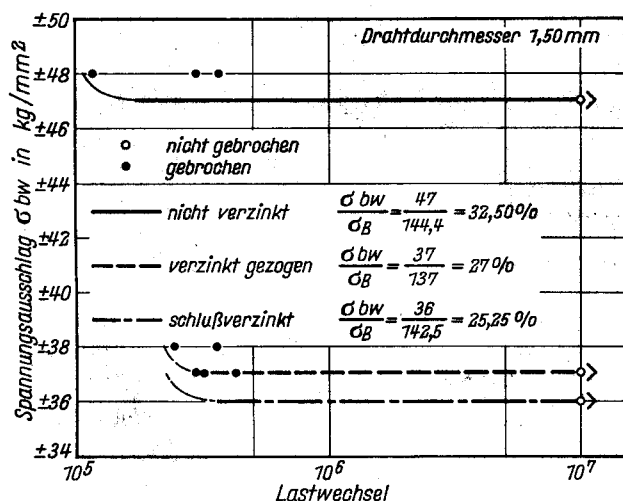


Bild 8. Einfluß der Herstellbedingungen auf die Biegewechsel-festigkeit von Drähten aus Stahl der Härte 5

Der Abfall ist in Bild 9 noch deutlicher, da es sich hier um einen Draht aus Härte 8 handelt. Hier liegt die Biege-wechsel-festigkeit des verzinkt gezogenen Drahtes noch unter der des schlußverzinkten und fällt von 56 kg/mm² auf 40 und 39 kg/mm², also um 16 und 17 kg/mm², ab.

Ähnlich wie bei der Hin- und Herbiegeprüfung sind für den Abfall der Prüfwerte durch das Feuerschluß-verzinken zwei Einflüsse wesentlich. Erstens wird die Biegewechsel-festigkeit beim Verzinken bei 450 °C durch die Alterung ungünstig beeinflusst. Zweitens hat auch hier die ungestörte Hartzinkschicht einen schädigenden Einfluß, da

wieder nur in größeren Abständen die Legierungsschicht ein-reißt. Die hauptsächlich lediglich an der Randfaser des Drahtes auftretende Dehnung bei der Biege-wechsel-beanspruchung wird nur von der freigelegten Stahloberfläche am Reißgrund aufgenommen. Der Draht wird an diesen Stellen überbeansprucht, wodurch die Biegewechsel-festigkeit abfällt.

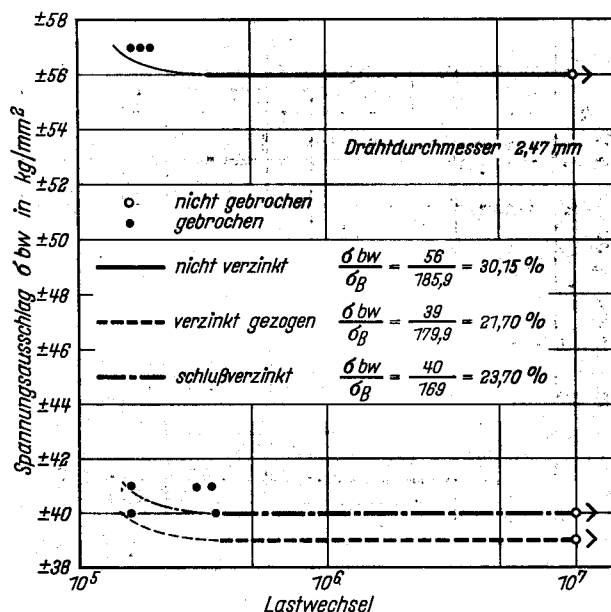


Bild 9. Einfluß der Herstellbedingungen auf die Biegewechsel-festigkeit von Drähten aus Stahl der Härte 8

Der Abfall der Biegewechsel-festigkeit bei feuerverzinkt nachgezogenen Stahldrähten hat dagegen andere Ursachen.

Die Anlaßwirkung und der Einfluß der Hartzinkschicht wie bei schlußverzinktem Draht scheiden aus. Der eigentliche Grund für das Abfallen der Biegewechsel-festigkeit von nachgezogenen Stahldrähten ist die stark angegriffene Oberfläche.

Die hier untersuchten feuerverzinkt nachgezogenen Stahldrähte wurden im patentierten, noch nicht kalt verformten Zustand verzinkt. Die Korngrenzen des Drahtes verlaufen im wesentlichen senkrecht zur Oberfläche und dringen verhältnismäßig tief in den Draht ein. Durch das flüssige Zink werden diese Korngrenzen besonders stark angegriffen, und es entstehen Kerben, durch die die Biegewechsel-festigkeit ungünstig beeinflusst wird.

Neben diesen Kerben spielen auch Kerben eine Rolle, die sich durch das Eindringen der spröden Hartzinkschicht beim Ziehen feuerverzinkter Drähte bilden. Es entsteht dabei eine gleichmäßige, jedoch sehr stark aufgeraute Stahloberfläche.

Aus diesen Hinweisen darf man nun keinesfalls schließen, daß im Gebrauch unverzinkte Stahldrähte feuerverzinktem Draht immer überlegen sind. Die Versuche wurden mit unmittelbar aus der Erzeugung kommenden Drähten durchgeführt. Die unvermeidliche Korrosionswirkung spielt aber bei der Verwendung des Fertigerzeugnisses oft eine entscheidende Rolle. Deshalb wurden zur Beurteilung des Gesamt-verhaltens auch korrodierte Proben herangezogen.

Die feuerschlußverzinkten, feuerverzinkt nachgezogenen und unverzinkten Stahldrähte wurden der Korrosionskurzprüfung nach Kesternich⁵⁾ 6), also einem Wechselklima mit feuchter Wärme und Schwitzwasser in künst-

⁵⁾ Wiederholt, W.: Korrosionsprüfung im Laboratorium. Materialprüfung 3 (1961) S. 137/46.

⁶⁾ Müller, K.: Korrosionsprüfverfahren in der Galvanotechnik. Draht 13 (1962) S. 639/43.

licher Industrieluft, unterworfen, wobei eine Prüfrunde aus 8 h Korrosion und 16 h normaler Atmosphäre besteht.

Die verschiedenen Drahtsorten wurden zuerst drei und anschließend sechs Prüfrunden in einem Kesternichgerät korrodiert und anschließend deren Biegezugfestigkeit bestimmt. Aus Bild 10 sind die Ergebnisse zu entnehmen.

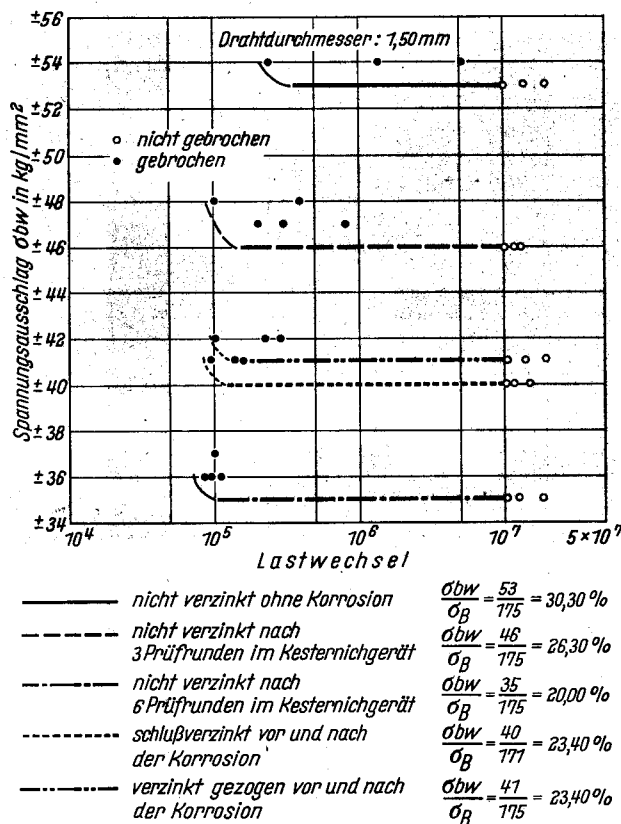


Bild 10. Einfluß der Korrosion auf die Biegezugfestigkeit von Drähten aus Stahl der Härte 8

Die Werte für die korrodierten verzinkten Proben blieben unverändert bei 40 und 41 kg/mm². Dagegen ist ein beträchtlicher Abfall der Biegezugfestigkeit bei den unverzinkten Stahladrähten nach dem Korrosionsangriff zu erkennen; nach drei Prüfrunden von 53 auf 46 kg/mm² und nach sechs Prüfrunden sogar auf 35 kg/mm² und damit unter die Biegezugfestigkeit der verzinkten Drähte.

Vergleich der mechanischen Eigenschaften von elektrolytisch und feuerverzinkten Stahladrähten

Für die Versuche wurde Walzdraht mit 6,0 mm Dmr. aus Härte 6 und 8 an 3,0 mm Dmr. vorgezogen, patentiert und zwei Drittel des Drahtes in sieben Zügen an 1,5 mm Dmr. gezogen. Ein weiteres Drittel wurde im patentierten, aber danach noch nicht kalt verformten Zustand feuer- oder elektrolytisch verzinkt. Die nach dem Patentieren verzinkten Drähte wurden ebenfalls mit einer Gesamtquerschnittsabnahme von 75 % gezogen. Die elektrolytische Verzinkung wurde sowohl mit als auch ohne Bleireinigung ausgeführt. Der Draht lag somit in sechs Endzuständen für jede Drahtsorte vor:

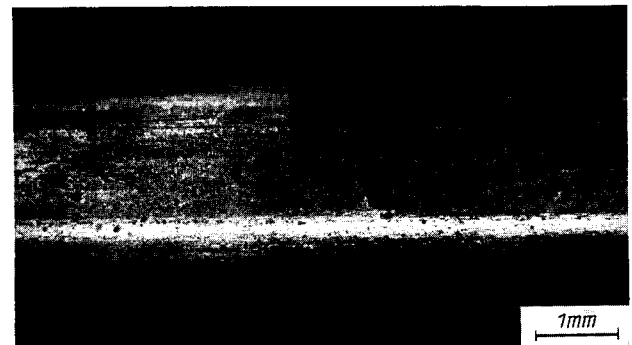
1. unverzinkt,
2. elektrolytisch schlußverzinkt mit Bleireinigung,
3. elektrolytisch schlußverzinkt ohne Bleireinigung
4. feuerschlußverzinkt,
5. elektrolytisch verzinkt nachgezogen,
6. feuerverzinkt nachgezogen.

Beim Feuerverzinken durchliefen die Proben eine übliche Verzinkungsanlage mit Salzsäurebeize, Spülung, Flußmittel-

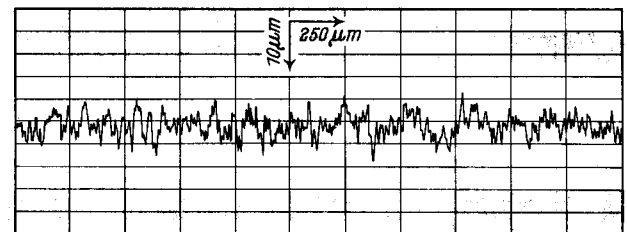
bad und Feinzinkbad. Die Zinkbadtemperatur war 452 °C. Die Zinkauflage war beim patentierten Draht vor dem Nachziehen etwa 380 g/m² und bei den schlußverzinkten Drähten sowie nach dem Ziehen etwa 190 g/m².

Elektrolytisch verzinkt wurde in den Vereinigten Staaten von Amerika. Das Zink wurde aus einem alkalischen Elektrolyten über unlösliche Anoden niedergeschlagen. Üblicherweise wird bei dieser Anlage der Draht in einem Bleibad bei 400 bis 430 °C und anschließend elektrolytisch in einem salzsäuren Beizbad gereinigt. Die patentierten Versuchsdrähte wurden nicht durch Blei geführt, ebenso erfuhr die Hälfte der für das Schlußverzinken vorgesehenen Drähte keine Blei-

a) Drahtdurchmesser 3 mm



b) Drahtdurchmesser 1,5 mm



Rauhtiefe: $R_t = 10,5 \mu m$

Bilder 11 a und b. Entzinkte Oberfläche eines elektrolytisch verzinkten a) patentierten, b) verzinkten und gezogenen Drahtes aus Stahl der Härte 8

badbehandlung. Die erreichten Zinkauflagen glichen etwa denen der feuerverzinkten Drähte.

Die Hin- und Herbiegeprüfung hatte folgendes Ergebnis.

Bei den patentierten Drähten wurde die Zahl der Biegungen sowohl durch das Feuerverzinken als auch durch das elektrolytische Verzinken fast um 50 % gesenkt.

Bei der Feuerverzinkung war das Ergebnis als Folge der bereits erläuterten Einflüsse der Hartzinkschicht und der Zinkbadtemperatur zu erwarten.

Bei der elektrolytischen Verzinkung sind erstens starke Oberflächenbeschädigungen festzustellen. Bild 11a zeigt die entzinkte Oberfläche eines elektrolytisch verzinkten patentierten Drahtes mit Beizschäden als Folge eines zu intensiven Säureangriffs, der notwendig war, um eine metallisch saubere Stahloberfläche zu erhalten. Durch das Nachziehen erhielten diese Fehler von Längsrissen (Bild 11b), weshalb die Hin- und Herbiegezahlen der elektrolytisch verzinkt nachgezogenen Stahladrähte etwas unter denen der unver-

zinkten Drähte liegen. Zweitens konnte eine bei diesem Verfahren schwer zu verhindernde Wasserstoffversprödung erkannt werden. Durch ein zweistündiges Anlassen bei 200 °C ließen sich die Biegungen verbessern.

Ähnlich liegen die Verhältnisse bei schlußverzinkten Stahldrähten, wie aus Bild 12 zu ersehen ist. Wird ohne vorgeschaltete Bleireinigung elektrolytisch verzinkt, werden besonders wenige Biegungen erreicht, da nicht angelassene gezogene Stahldrähte stärker zu einer Wasserstoffversprödung neigen. Durch ein zweistündiges Anlassen bei 200 °C wird daher ein stärkeres Ansteigen der Biegezahl erreicht als bei den mit Bleireinigung elektrolytisch verzinkten Drähten.

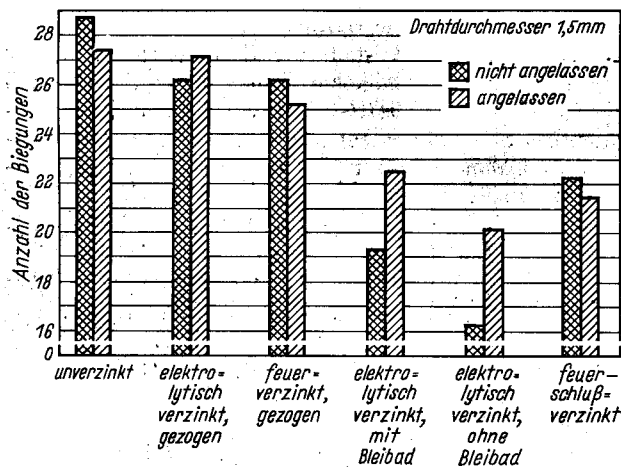


Bild 12. Einfluß der Herstellbedingungen auf die Zahl der Biegungen von Drähten aus Stahl der Härte 8

Die Verwindeszahlen elektrolytisch schlußverzinkter Stahldrähte liegen in Bild 13 auf gleicher Höhe mit denen, die nach dem Feuerverzinken erhalten werden. Wird das Bleibad ausgeschaltet, verstärkt sich die Wasserstoffversprödung.

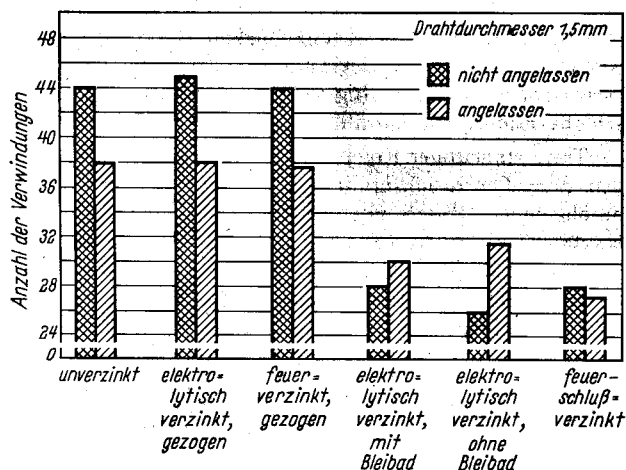


Bild 13. Einfluß der Herstellbedingungen auf die Zahl der Verwindungen von Drähten aus Stahl der Härte 8

ung, und es werden schlechtere Verwindeszahlen erreicht. Nach dem Anlassen dagegen zeigen diese Proben dann die besten Ergebnisse, da hier keine Alterung auftritt.

Die Verwindeszahlen von unverzinkten, feuerverzinkt nachgezogenen und elektrolytisch verzinkt nachgezogenen Stahldrähten liegen nur geringfügig auseinander. Die Wasserstoffversprödung ist nach dem Ziehen nicht mehr festzustellen, ebenso hat die sehr unterschiedliche Oberflächenbeschaffenheit keinen Einfluß auf die Verwindungen. Elektrolytisch verzinkte Stahldrähte hatten bei den untersuchten Proben somit keine besseren mechanischen Eigenschaften als feuerverzinkte Drähte.

Bei einer Vergleichsuntersuchung der Biegewechselfestigkeit von feuerverzinkten und elektrolytisch verzinkten Stahldrähten wurden die in den Bildern 14 und 15 dargestellten Ergebnisse erhalten. Auch hier liegt die Biegewechselfestigkeit bei abschließend feuerverzinkten Stahldrähten unter denen von unverzinktem Draht. Der Unterschied ist 9 kg/mm²

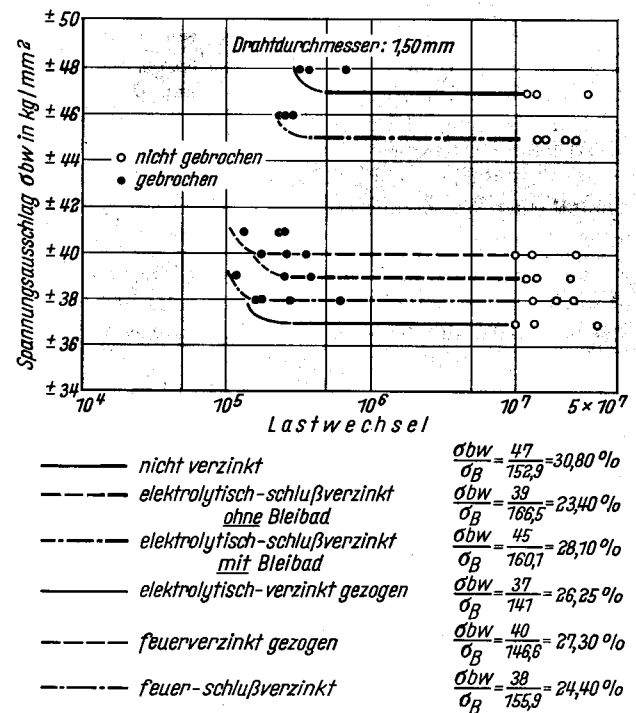


Bild 14. Einfluß der Herstellbedingungen auf die Biegewechselfestigkeit von Drähten aus Stahl der Härte 6 unter besonderer Berücksichtigung der an elektrolytisch verzinkten Drähten erhaltenen Ergebnisse

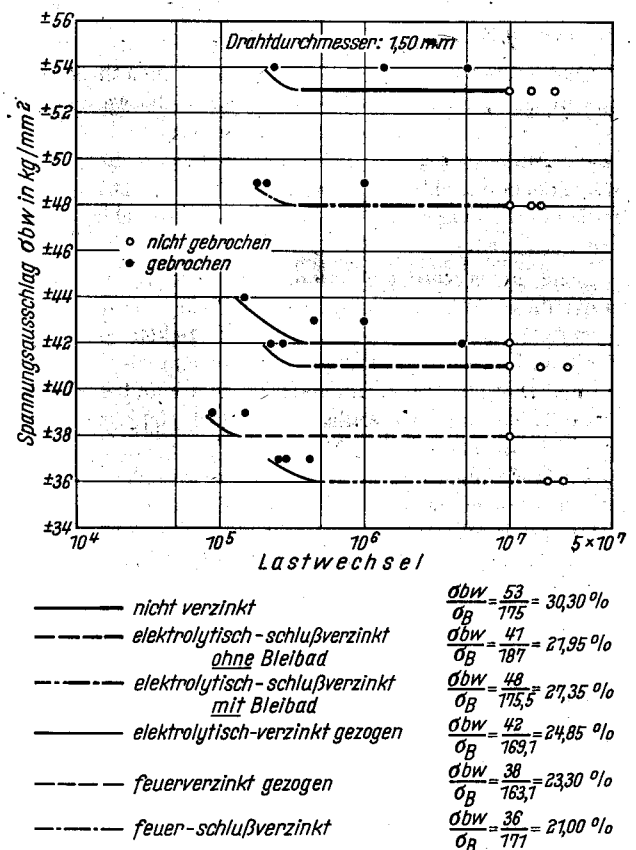


Bild 15. Einfluß der Herstellbedingungen auf die Biegewechselfestigkeit von Drähten aus Stahl der Härte 8 unter besonderer Berücksichtigung der an elektrolytisch verzinkten Drähten erhaltenen Ergebnisse

bei Härte 6 und 17 kg/mm² bei Härte 8. Die Biegewechsel-
festigkeit für feuerverzinkt nachgezogenen Draht liegt in be-
iden Fällen 2 kg/mm² höher.

Die Biegewechselfestigkeit der nach einer Bleireini-
gung elektrolytisch verzinkten Stahldrähte fällt nicht
so stark ab und ist höher als die aller anderen verzinkten Pro-
ben. Die Werte von unverzinktem Draht werden jedoch auch
hier nicht erreicht. Dieser Abfall der Biegewechselfestigkeit ist
bemerkenswert, wenn man bedenkt, daß durch die Wasser-
stoffversprödung die Zugfestigkeit des Stahls anstieg, z. B.
bei dem Draht aus der Härte 6 von 153 auf 160 kg/mm². Der
Abfall läßt sich einerseits durch die unvermeidliche Anlaß-
wirkung im Bleibad und andererseits durch den ungünstigen
Einfluß einer Wasserstoffversprödung auf die Biegewechsel-
festigkeit erklären.

Sehr ungünstig beim Dauerbiegeversuch verhielten sich
ohne Bleireinigung elektrolytisch verzinkte Stahldrähte.
Wie schon bei der Hin- und Herbiege- sowie Verwinde-
prüfung festgestellt, war dieser Draht viel stärker wasser-
stoffversprödet. Zusätzlich wirkte der schädigende Einfluß
einer durch Überbeizen entstandenen rauen Oberfläche des
Stahldrahtes. Auf das starke Beizen konnte nicht verzichtet
werden, da die Vorreinigung durch ein Bleibad weggefallen
war. Die erreichte Biegewechselfestigkeit lag nicht oder nur
unwesentlich über der der feuerverzinkten Proben. Eine
Verbesserung des Dauerschwingverhaltens verzinkter Stahl-
drähte war auch durch Nachziehen nicht zu erreichen.

Der Einfluß der Herstellbedingungen auf die Güte einer Zink- auflage

Bei verzinkten Stahldrähten wird außer der Forderung
nach guten mechanischen Eigenschaften besonderer Wert
auf einen einwandfreien Korrosionsschutz gelegt. Im folgen-
den soll der Einfluß der Herstellbedingungen auf Auflage-
dicke, Haftfestigkeit und Korrosionsverhalten verschieden
hergestellter Zinkauflagen betrachtet werden.

Durch eine elektrolytische Verzinkung können theoretisch
unbegrenzt dicke Zinkauflagen aufgebracht werden. Im
Betrieb sind jedoch nach oben Grenzen gesetzt, da bei sehr
dicken Auflagen die Wirtschaftlichkeit nicht mehr gegeben
ist. Auflagen bis 900 g/m² sind möglich, jedoch ist dann ein
Nachpolieren notwendig, da die aufgebrachte Schicht nicht
gleichmäßig ist.

Beim Feuerverzinken kann man dagegen nicht unbe-
grenzt dicke Auflagen erzeugen. Die Dicke wird durch die
Forderung nach ausreichender Haftfestigkeit bestimmt.
Durch optimale Einstellung von Zinkbadtemperatur, Tauch-
zeit und Durchlaufgeschwindigkeit erreicht man beim Feuer-
verzinken einwandfreie Auflagen bis zu rd. 400 g/m². Durch
das Ziehen eines Stahldrahtes nach dem Verzinken wird
zwangsläufig auch die Zinkauflage verringert. Die Zinkauf-
lage verzinkt gezogener Drähte ist direkt proportional dem
Drahtdurchmesser oder umgekehrt proportional der Draht-
oberfläche. Es läßt sich also leicht die Zinkauflage berechnen,
die vor dem Ziehen aufgebracht werden muß, um eine ge-
forderte Mindestzinkauflage nach dem Verformen zu er-
halten. Ein Zuschlag von 10 bis 15 % zu diesen Werten ist
ratsam. Voraussetzung für die Berechnung sind einwandfreie
Ziehbedingungen, damit die Zinkschicht nicht beschädigt
wird. Da das Haften durch das Ziehen günstig beeinflusst
wird, können auch bei nachgezogenen Stahldrähten so dicke
Auflagen wie beim Schlußverzinken erreicht werden.

Die Haftfestigkeit einer Zinkauflage wird durch die
Wickelprobe geprüft.

Bei den feuerschlußverzinkten Drähten platzt
bei der Wickelprobe bei zu dicken Auflagen die unver-

meidbare spröde Hartzinkschicht ab. Die erreichbare Zink-
auflage bei ausreichender Haftfestigkeit ist außerdem vom
Drahtdurchmesser abhängig, da beim Wickeln von Drähten
mit kleinem Durchmesser größere Randspannungen auf-
treten. Hier können dann nur dünnere Auflagen hergestellt
werden.

Die Haftfestigkeit von Auflagen feuerverzinkter
nachgezogener Drähte ist wesentlich besser als bei schluß-
verzinkten Stahldrähten. Obwohl die bei diesem Verfahren
erforderlichen sehr hohen Zinkauflagen der Drähte vor dem
Ziehen teilweise nur schlecht haften, sind die Wickelproben
der gezogenen Drähte selbst um den eigenen Drahtdurch-
messer immer einwandfrei. Durch das Ziehen nach dem
Feuerverzinken wird die Haftung verbessert. Wie schon er-
läutert, werden die Kristalle der Hartzinkschicht bei der
Verformung zerstört und können keinen ungünstigen Einfluß
mehr ausüben. Die Haftfestigkeit von feuerverzinkt nach-
gezogenen Stahldrähten entspricht nach einer Gesamtquer-
schnittsabnahme von über 75 % der von elektrolytisch ver-
zinktem Draht.

Elektrolytisch verzinkte Stahldrähte haben keine Hart-
zinkschicht. Die Haftung dieses Überzuges wird also nicht
durch eine spröde Legierungsschicht beeinflusst, und die
Dicke der Zinkauflage kann beliebig gewählt werden. Eine
metallisch saubere Stahloberfläche ist bei diesem Verfahren
für ein einwandfreies Haften der Auflage äußerst wichtig.
Beizschäden können zu ungenügend haftenden Zinkauflagen
führen.

Durch F. M. Reinhart⁷⁾ und G. Schikorr⁸⁾ wurde
nachgewiesen, daß im allgemeinen die Lebensdauer eines
Zinküberzuges bei Langzeitversuchen nur der Dicke der
Zinkschicht proportional ist. Sie hängt nicht vom Herstell-
verfahren, jedoch stark von den atmosphärischen Bedin-
gungen, in denen der verzinkte Stahldraht Verwendung
findet, ab.

So sind grundsätzlich elektrolytisch hergestellte Zink-
überzüge nicht korrosionsbeständiger als durch Feuerver-
zinken gewonnene. Die Gleichmäßigkeit elektrolytisch auf-
gebrachter Zinkschichten wird auch bei feuerverzinkt nach-
gezogenen und beim heutigen Stand der Technik auch bei
schlußverzinkten Stahldrähten erreicht.

Trotz eindeutiger Ergebnisse in Langzeitversuchen wur-
den Schnellkorrosionsprüfungen in einem Kesternichgerät
durchgeführt. Untersucht wurden abschließend feuerver-
zinkte, feuerverzinkt nachgezogene und elektrolytisch ver-
zinkte Stahldrähte mit gleicher Zinkauflage. Die verschie-
denen Verzinkungsarten zeigten auch bei diesen Versuchen
kein unterschiedliches Verhalten.

Schlußfolgerungen

Die verschiedenen Herstellungsbedingungen für verzinkte
Stahldrähte ergeben für den Gebrauch Vor- und Nachteile.
Bei der Frage, welches Verfahren man anwenden soll, muß
man sich über den Verwendungszweck im klaren sein.

Bei feuerschlußverzinkten Stahldrähten kann
man wirtschaftlicher als bei feuerverzinkt nachgezogenem
Draht dicke Zinkauflagen anbringen. Bei Seildrähten
bis 160 kg/mm² Zugfestigkeit wird man deshalb schlußver-
zinkten Stahldraht verwenden, der neben ausgezeichnetem
Korrosionsschutz noch ausreichende technologische Eigen-
schaften erreicht. Die Dauereigenschaften sind ohnehin nicht
durch ein Nachziehen zu verbessern.

Feuerverzinkt nachgezogene Stahldrähte er-
gänzen die feuerschlußverzinkte Ausführung bei Stahl-

⁷⁾ Reinhart, F. M.: Twenty-year atmospheric corrosion investigation of zinc-
coated and uncoated wire and wire products. Publ. by American Society for
Testing Materials (Spec. Techn. Publ. Nr. 290). Philadelphia 1961.

⁸⁾ Schikorr, G.: Korrosionsverhalten von Zink. Band 1. Verhalten von Zink
an der Atmosphäre. Berlin-Grünwald 1962.

drähten über 160 kg/mm² Zugfestigkeit. Die mechanischen Eigenschaften werden durch das Nachziehen verbessert, das Dauerbiegeverhalten ist ungünstiger als bei gezogenem, unverzinktem Draht. Jedoch werden schon nach geringem Korrosionsangriff die feuerverzinkten Stahldrähte eine bessere Dauerbiegewechselfestigkeit zeigen als unverzinkte.

Besonders geeignet sind feuerverzinkt nachgezogene Stahldrähte für die Herstellung von technischen Federn. Vorteile bieten hierbei die durch das Nachziehen geglättete Oberfläche und die größere Gleichmäßigkeit des Stahlkerns. Allerdings ist dieses Anwendungsgebiet feuerverzinkten Stahldrähten noch weitgehend verschlossen, obwohl für Federn ein Korrosionsschutz sehr notwendig ist.

Einen weiteren Vorteil bieten feuerverzinkt nachgezogene Stahldrähte durch die ausgezeichnete Haftfestigkeit der verformten Zinkauflage auf dem Grundwerkstoff. Selbst bei starken Verformungen ist ein Einreißen oder Abblättern der Zinkauflage nicht zu erwarten. Die gleichmäßigsten und besten mechanischen Eigenschaften werden erst bei größeren Gesamtquerschnittsabnahmen über etwa 75% nach dem Verzinken beobachtet. Um diese Drähte wirtschaftlich fertigen zu können, ist das Verzinken der Patentierabmessung erwünscht, um unnötige Transport- und Ziehkosten einzusparen. Außerdem tritt beim Verzinken noch nicht kalt verformter, patentierter Stahldrähte kein Festigkeitsabfall bei der Wärmebehandlung ein. Erstrebenswert ist dann Patentieren und Verzinken in einem Arbeitsgang.

Elektrolytisch verzinkte Stahldrähte zeigten eine bessere Biegewechselfestigkeit als feuerverzinkte Stahldrähte, bei gleichen sonstigen mechanischen Eigenschaften. Es ist möglich, daß elektrolytisch verzinkte Drähte in Zukunft als Ergänzung zu feuerverzinktem Draht dort eingesetzt werden, wo ein besonders großer Korrosionsangriff zu erwarten ist, da in den Vereinigten Staaten von Amerika bereits Auflagen bis 900 g/m² hergestellt wurden, die bei weitem die Möglichkeiten der Feuerverzinkung übersteigen. Ob eine solche Anlage für besonders hohe Zinkauflagen noch wirtschaftlich arbeitet, kann an dieser Stelle nicht beurteilt werden.

Zusammenfassung

Durch Verringern der Hartzinkschicht können die mechanischen Eigenschaften von feuerschlußverzinkten und feuerverzinkt nachgezogenen Stahldrähten zum Teil etwas verbessert werden.

Durch das Ziehen nach dem Verzinken werden Biegungen und Verwindungen wesentlich erhöht und erreichen bei großer Querschnittsabnahme die Werte von unverzinktem Stahldraht. Durch genaues Einhalten geeigneter Ziehbedingungen ist eine einwandfreie Verformung verzinkter Drähte möglich.

Die Biegewechselfestigkeit konnte durch das Nachziehen feuerverzinkter Stahldrähte nicht verbessert werden. Jedoch sind schon nach kurzer Korrosionswirkung verzinkte Drähte unverzinktem Draht im Dauerbiegeverhalten überlegen.

Elektrolytisch verzinkte Stahldrähte erfüllten bei der Untersuchung nicht die Erwartungen und zeigten keine besseren mechanischen Eigenschaften als feuerverzinkte Drähte. Als Ursachen hierfür wurden Wasserstoffversprödung und Oberflächenbeschädigungen festgestellt. Lediglich die Biegewechselfestigkeit war bei den elektrolytisch verzinkten Drähten etwas besser.

Eine besonders gute Haftfestigkeit der Zinkauflage wurde bei verzinkt nachgezogenen Stahldrähten festgestellt, die zu

erwartende einwandfreie Haftung elektrolytisch aufgebracht Zinkauflagen dagegen zum Teil nicht bestätigt.

* * *

An den Bericht schloß sich nachstehende Erörterung an.

Anton Zastera, Düsseldorf: In den folgenden Ausführungen soll zu der Frage Stellung genommen werden, ob beim Weiterziehen eines stark verzinkten Drahtes gelegentlich Stücke der Hartzinkschicht abgerissen und bei weiterer Querschnittsabnahme dann in die Reinzinkschicht einwandern können.

Zunächst erschien es notwendig, den Einfluß der Ziehbedingungen festzustellen. Deshalb wurde einmal ein patentierter und stark verzinkter Stahldraht mit hohem Kohlenstoffgehalt, gefertigt auf einer Tauchmaschine, also in naßblanker Ausführung, genommen, und zwar so, daß nicht nur die Anfangs- und Endabmessung zur Verfügung standen, sondern auch Drahtproben nach jedem Zug (Tafel 1, Versuch A).

Tafel 1. Kennwerte für die drei Versuchsgruppen

Versuch A	
Naßblankgezogener, patentierter und stark verzinkter Stahldraht, gezogen von 1,59 mm an 0,55 mm Dmr. in 13 Zügen auf einer Tauchmaschine; Gesamtquerschnittsabnahme 88,0%; Ziehgeschwindigkeit (Endstufe) 4,4 m/s	
Chemische Zusammensetzung:	C = 0,49 %
	Mn = 0,56 %
	P = 0,023 %
	S = 0,040 %
	Si = 0,22 %
Versuch B	
Durch Kalkseife gezogener, patentierter und stark verzinkter Stahldraht, gezogen von 3,84 mm an 1,40 mm Dmr. in 9 Zügen auf einer üblichen Ziehmaschine mit Drahtansammlung; Gesamtquerschnittsabnahme 86,7%; Ziehgeschwindigkeit (Endstufe) 2,0 m/s	
Chemische Zusammensetzung:	C = 0,54 %
	Mn = 0,59 %
	P = 0,028 %
	S = 0,030 %
	Si = 0,25 %
Versuch C	
Bei 2,5 mm weichgeglühter und stark verzinkter Matratzenspinn-draht, fertiggezogen von 0,81 mm Dmr. in 7 Zügen (6 Trocken-züge, 1 Naßzug); Gesamtquerschnittsabnahme 89,5 %	
Chemische Zusammensetzung:	C = 0,09 %
	Mn = 0,26 %
	P = 0,015 %
	S = 0,026 %
	Si = Sp.
	N = 0,005 %
Zugfestigkeit 91 kg/mm ² ; Wickelprobe um 1 x d einwandfrei glatt	

Im Versuch B (Tafel 1) wurde patentierter und stark verzinkter Stahldraht auf einer üblichen Trockenziehmaschine durch Kalkseife gezogen, der eine sehr ähnliche chemische Zusammensetzung hatte.

Da zum Zeitpunkt der Versuche kein stark verzinkter Stahldraht mit niedrigem Kohlenstoffgehalt im Betrieb gezogen wurde, mußte eine Probe Matratzenspinn-draht genügen (Tafel 1, Versuch C). Dieser Draht war bei der Abmessung 2,5 mm im Durchlauf geblüht, dann stark verzinkt und schließlich zunächst trocken und zuletzt naß an 0,81 mm gezogen worden.

Die Tafeln 2 und 3 zeigen für die Versuche A und B jeweils die Versuchsergebnisse.

Geht man von der Zinkauflage des Anfangsdrahtes aus, wobei man sich natürlich darüber klar sein muß, daß dieser Wert über einen längeren Drahtabschnitt hinweg immer etwas schwanken wird, so kann man die theoretische Zinkauflage nach den einzelnen Zügen ausrechnen, die sich ergeben würde, wenn während des Durchganges durch den Ziehstein kein Zinkverlust auftritt.

Grundlage der Berechnung ist selbstverständlich der jeweilige Durchmesser des entzinkten Drahtes.

Die Zinkauflage nach dem Wickeln des Drahtes um 1 x d war bei Versuch A bei allen Abmessungen festhaftend und bei Betrachtung unter 15facher Vergrößerung fast ohne Makroeinrisse.

In Bild 16 ist die theoretische Zinkauflage als Gerade eingetragen sowie die ermittelten Auflagendicken. Danach ist festzustellen, daß beim naßblanken Ziehen (Versuch A) kaum Zinkverluste auftraten.

Für den trockenblank gezogenen Stahldraht sind in Bild 17 die entsprechenden Werte eingetragen. Hier wird in den letzten Zügen die Zinkauflage offenbar abgetragen.

Beim Wickeln des Drahtes um den eigenen Durchmesser war bei Versuch B bei allen Abmessungen die Zinkauflage zwar fest

auf dem Stahlgrund verankert, zeigte jedoch unter 15facher Vergrößerung unzählige kleine Einrisse, wodurch die Oberfläche elefantenhautartig wirkte.

Die geschilderten Erscheinungen dürften auf die größeren Ziehhol-Öffnungswinkel und stärkeren Querschnittsabmessungen im Vergleich zum naßblank gezogenen Draht zurückzuführen sein.

Nunmehr seien die Schliffbilder der verschiedenen Versuche erörtert.

Die Bilder 18a und b zeigen die Querschliffe der Anfangs- und Endabmessung von Versuch A. Besonderheiten sind hier nicht zu erkennen. In den Bildern 18c bis e sind Längsschliffe von diesem

möglich wird, wie dies vom Reinzink und anderen Zinklegierungen her bekannt ist. Außerdem kann eine durch die Verformungstemperatur bewirkte Nachdiffusion Haftung und Zusammenhalt der Hartzinkschicht begünstigen.

Auch in den Bildern 19a und b mit den Querschliffen der Anfangs- und Endabmessung von Versuch B sind Besonderheiten wiederum nicht zu erkennen.

Die Bilder 19c bis f zeigen Längsschliffe dieses Versuches. Hier bestätigen sich die Feststellungen von Herrn Nünninghoff. Man erkennt, daß durch den 1. Zug ein Teil der ζ -Schicht herausgerissen wurde. Nach dem 3. Zug wurde eine Stelle entdeckt, wo

Tafel 2. Ergebnisse des Versuches A

Draht-durchmesser mm	Einzel-querschnitts-abnahme %	Gesamt-querschnitts-abnahme %	Ziehhol-Öffnungs-winkel (2α) Grad	Draht-durchmesser blank mm	Zink-auflage g/m ²	Theoretische Zinkauflage g/m ²	Zug-festigkeit kg/mm ²
1,59	—	—	—	1,50	289	289	101,2
1,48	13,5	13,5	9	1,40	277	270	114,1
1,36	15,5	27,0	9	1,30	263	250	120,3
1,24	17,0	39,0	9	1,18	223	228	116,0
1,12	18,2	50,5	9	1,07	211	206	121,5
1,07	8,5	54,5	9	1,00	208	193	129,5
0,96	19,5	63,5	8	0,91	189	176	131,5
0,90	12,0	68,0	8	0,85	167	164	129,5
0,82	17,0	73,5	8	0,78	161	150	138,2
0,78	9,5	76,0	8	0,74	149	143	142,8
0,70	19,5	80,6	8	0,66	139	127	144,6
0,64	16,0	83,8	8	0,61	125	118	149,5
0,59	15,0	86,2	7	0,56	111	108	156,9
0,55	13,0	88,0	7	0,53	99	103	164,5

Wickelproben um $1 \times d$ festhaftend und glatt.

Tafel 3. Ergebnisse des Versuches B

Draht-durchmesser mm	Einzel-querschnitts-abnahme %	Gesamt-querschnitts-abnahme %	Ziehhol-Öffnungs-winkel (2α) Grad	Draht-durchmesser blank mm	Zink-auflage g/m ²	Theoretische Zinkauflage g/m ²	Zug-festigkeit kg/mm ²
3,84	—	—	—	3,76	320	320	106,5
3,42	20,5	20,5	15	3,35	276	285	117,3
2,99	23,5	39,5	15	2,93	242	249	124,5
2,70	18,5	50,5	14	2,64	220	225	133,3
2,39	21,5	61,0	13	2,34	200	199	139,6
2,12	21,0	69,5	12	2,08	186	177	145,6
1,88	21,5	76,0	11	1,84	170	157	155,8
1,71	17,0	80,1	10	1,66	132	142	156,2
1,55	17,5	83,7	9	1,51	114	128	168,0
1,40	18,5	86,7	8	1,38	95	118	175,7

Wickelprobe $1 \times d$ fest haftend, jedoch elefantenhautartig.

Versuch wiedergegeben. Bemerkenswert ist die Zertrümmerung vor allem der ζ -Schicht nach dem ersten Zug sowie die Textur der Hartzinkschicht in Ziehrichtung beim Längsschliff der Endabmessung. Im Reinzink sind Kornstreckungen nicht zu erkennen, da

offensichtlich Teile abgerissener ζ -Schicht sekundär in das Reinzink abgedrängt wurden. Gestreckte Hartzinkteilchen erkennt man beim genaueren Hinsehen in der Reinzinkschicht auch nach dem letzten Zug.

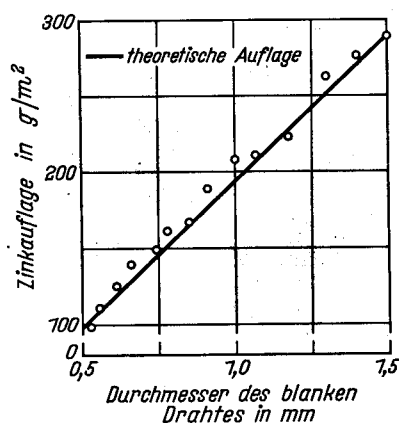


Bild 16. Zinkauflagen des Versuches A

dieses ja bereits bei niedrigen Temperaturen, teilweise schon bei Raumtemperatur, rekristallisiert. Die Verformungswärme beim Ziehen reicht für den Rekristallisationsvorgang daher vollkommen aus.

Die Hartzinkschicht reißt trotz der bekannten Sprödigkeit nicht ab und hebt sich auch nicht von der Stahloberfläche ab — die Wickelproben waren ja stets einwandfrei —, da bei Temperaturen zwischen 100 und 200 °C und den Druckverhältnissen im Ziehstein die plastische Verformung der Eisen-Zink-Verbindungen

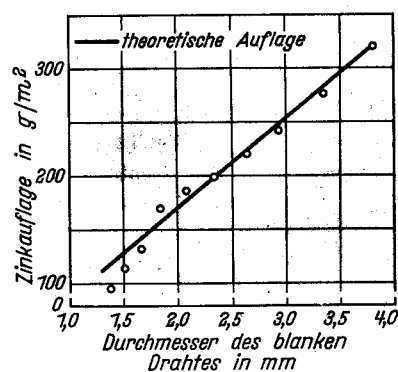


Bild 17. Zinkauflagen des Versuches B

Die Bilder 20a und b schließlich geben Quer- und Längsschliff des Matratzenbindendrahtes wieder. Der Längsschliff zeigt, daß auch bei Stahldraht mit niedrigem Kohlenstoffgehalt, der hier im wesentlichen trocken gezogen wurde, die gleichen Erscheinungen auftraten wie bei trocken gezogenem Stahldraht mit höherem Kohlenstoffgehalt. Da nur die Endabmessung zur Auswertung verfügbar war, ist die Erscheinung hier vielleicht nicht so deutlich zu erkennen wie in den Bildern 19d und e.

Werner Papsdorf, Hamm: Wir haben vor einiger Zeit in unserem Drahtwerk Lippstadt eine galvanische Verzinkungsanlage in Betrieb genommen. Da umfangreichere Untersuchungen noch

nicht abgeschlossen sind, können wir über unsere Erfahrungen hier nur kurz berichten.

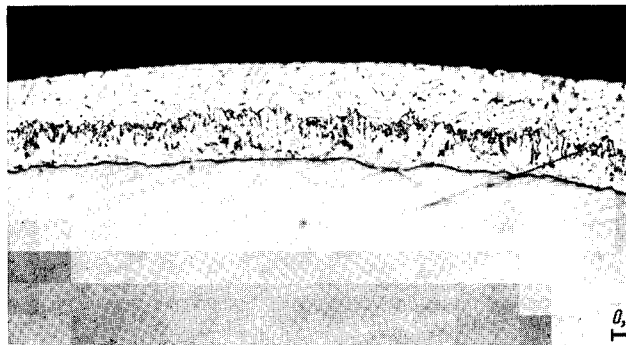
Die galvanische Abscheidung von Zink auf Stahldrähte oder -bänder kann aus sauren oder alkalischen Bädern erfolgen. Das gebräuchlichste saure Zinkbad ist das Sulfatbad. Die alkalischen Bäder sind fast ausschließlich zyanidisch. Aus dem Schrifttum ist bekannt, daß die Stromausbeute der sauren Zinkbäder kathodisch nahezu 100 % beträgt.

Bei den zyanidischen Bädern liegt die kathodische Stromausbeute niedriger, besonders sinkt sie bei hohen Stromdichten auf niedrige Werte ab.

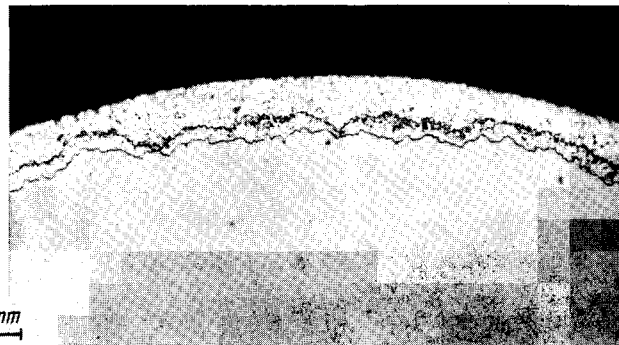
erweitert und modernisiert, so daß es möglich wurde, die Zinkauflage von 300 g/m² auf 915 g/m² zu steigern bei Drähten von 4,2 mm Dmr. Die Stromausbeute dieser Anlage war 95 % und die Stromdichte rd. 20 A/dm² bei 6,35 mm Drahtdurchmesser, bis zu 70 A/dm² bei 1,65 mm Drahtdicke.

Unsere Anlage ist für 16 Drähte ausgelegt, wobei je acht Drähte ein Wickelwerk haben: Eine Bleigliße vor der elektrolytischen Beize ist möglich.

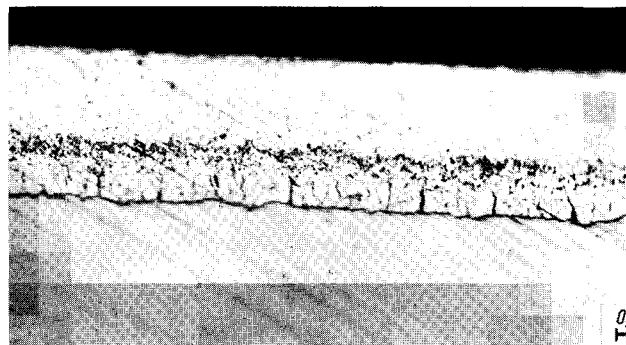
Es werden Seildrähte und Stahl-Aluminium-Drähte der Spezifikation ASTM 261 Klasse B und C in den Abmessungen von 2,0 bis 8,0 mm Dmr. hergestellt. Die Stromausbeute ist 95 % und darüber, die Stromdichten liegen zwischen 40 A/dm² und 85 A/dm².



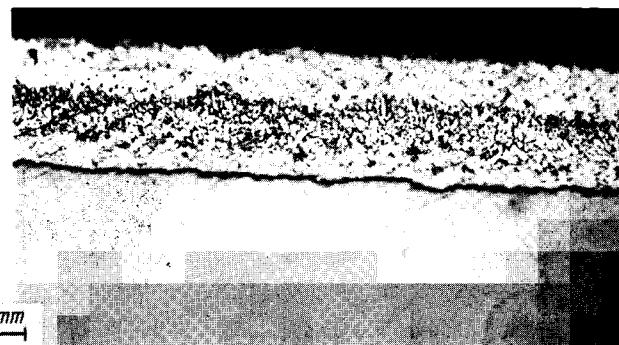
a) Querschliff der Anfangsabmessung (1,59 mm Dmr.)



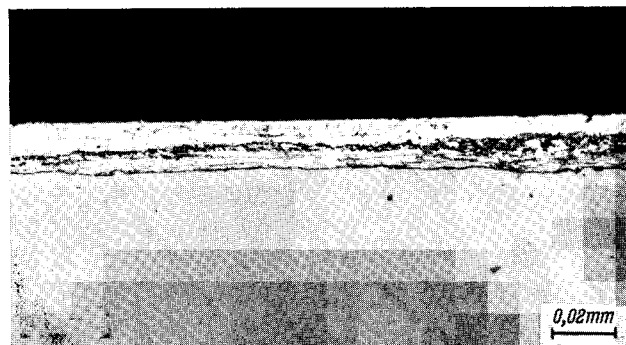
b) Querschliff der Endabmessung (0,55 mm Dmr.)



c) Längsschliff der Anfangsabmessung (1,59 mm Dmr.)



d) Längsschliff nach dem 1. Zug (1,48 mm Dmr.)



e) Längsschliff der Endabmessung (0,55 mm Dmr.)

Bilder 18a bis e. Schliffbilder von Proben des Versuches A
(rd. 380:1, Original 500:1)

Bei hochfesten Stahldrähten wird nach dem Feuerverzinken bekanntlich fast immer ein Abfall der Zugfestigkeit von 10 bis 12 %, bei den Verwindzahlen ein solcher von 20 bis 30 % und bei den Biegezahlen ein solcher von 30 bis 40 % und mitunter ein noch höherer Abfall festgestellt.

Bei unseren galvanisch schlußverzinkten Drähten, die nicht durchs Bleibad gelaufen waren und daher nach Ansicht von Herrn Nünninghoff besonders spröde sein sollten, konnte bei Drähten mit Festigkeiten von 160 bis 210 kg/mm² folgendes beobachtet werden:

Kein Abfall der Zugfestigkeit, Zunahme der Verwindzahlen um 8 bis 15 %, meist Abfall der Biegezahlen um 5 bis 7 % und vereinzelt auch Zunahme bis 5 %.

Ein Anlassen dieser galvanisch verzinkten Drähte während einer Stunde bei 250 °C brachte keine nennenswerte Änderung der mechanischen Eigenschaften.

Aus diesen Feststellungen geht hervor, daß von einer Versprödung, besonders Wasserstoffversprödung, bei diesem sauren LP-Verfahren nicht die Rede sein kann.

Bei dem anderen sauren Verfahren handelt es sich um das vor Jahren in den Vereinigten Staaten von Amerika entwickelte Tainton-Verfahren, das von geröstetem Zinkerz ausgeht und mit unlöslichen Silber-Blei-Anoden arbeitet.

Das von der Bethlehem Steel Corp. weiterentwickelte „Bethanising“-Verfahren verwendet statt Zinkerz kalziniertes Zinkkonzentrat.

Das Verfahren besteht aus zwei Hauptabteilungen, der chemischen Gewinnungsanlage und der Galvanisierabteilung. Beim Tainton-Verfahren wird mit sehr hohen Stromdichten gearbeitet. Sie liegen bei der Drahtverarbeitung zwischen 80 und 200 A/dm².

Die Bethlehem Steel Corp. gibt an, daß trotz einer hohen Stromdichte von 110 A/dm² die Verformbarkeit der verzinkten Drähte sich so überwachen läßt, daß die gleichen, wenn nicht

Bei hohen Stromdichten wird deshalb die Zinkabscheidung aus zyanidischen Bädern schwierig. Bei den Bädern mit niedriger Stromausbeute wird der nicht zur Zinkabscheidung dienende Strom zur Wasserzersetzung verbraucht. Der an der Kathode abgeschiedene Wasserstoff diffundiert dabei zum Teil in den Niederschlag und geht in den Stahl ein und führt zur Versprödung.

Gegenstände, wie Stahldrähte und -bänder, bei denen eine Versprödung unbedingt vermieden werden muß, dürfen nicht in zyanidischen Bädern, sondern sollten deshalb in sauren Bädern verzinkt werden.

Unter den sauren Verfahren gibt es wieder hauptsächlich zwei Arten, das Langbein-Pfannhauser (LP)-Verfahren und das Tainton-Verfahren.

Wir in Lippstadt arbeiten nach dem LP-Verfahren, also mit Feinzinkanoden hohen Reinheitsgrades. Das in Deutschland entwickelte Verfahren ist seit 30 Jahren bekannt. Anlagen dieser Art laufen in der ganzen Welt außer bis vor kurzer Zeit in Deutschland.

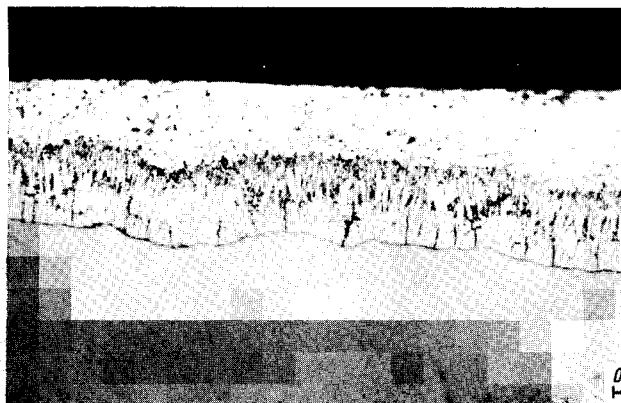
Eine der ersten Anlagen mit einer Kapazität von 18 Drähten entstand im Jahre 1938 in Kanada und wurde 1958 auf 28 Drähte

bessere Verwindewerte erreicht werden wie bei hochwertigen blanken Seildrähten.

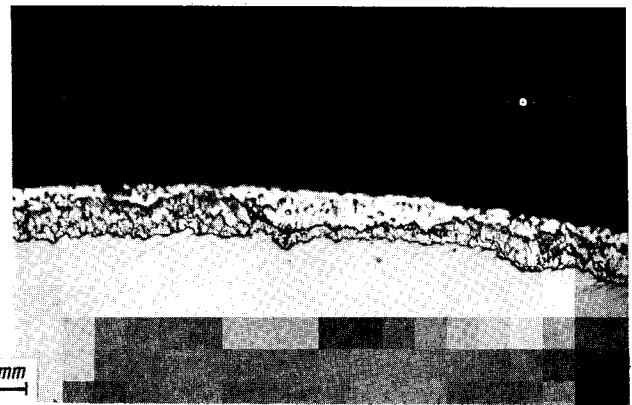
Als Beispiel für die gute Verformungsfähigkeit auch dickster Überzüge wurde angegeben, daß sich ein Eisendraht von 1,59 mm Dmr. mit einer Zinkauflage von 1830 g/m² durch 49 Ziehsteine an

0,084 mm Dmr. ziehen ließ ohne Einbuße oder Beschädigung des Zinküberzuges.

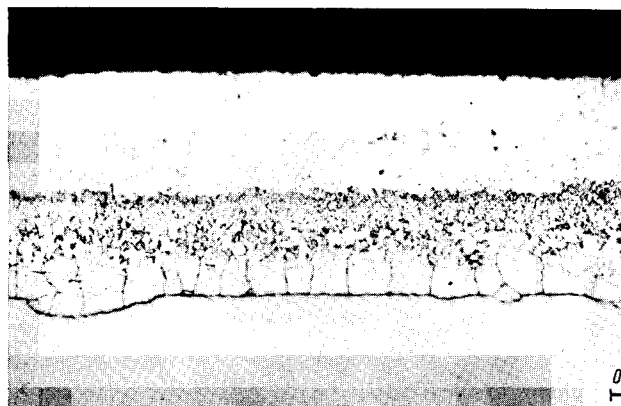
Aus dem bisher Gesagten ist zu entnehmen, daß es in höchstem Maße unwahrscheinlich ist, daß bei beiden sauren Verfahren selbst bei hohen Stromdichten Versprödung durch Wasserstoff auftritt.



a) Querschliff der Anfangsabmessung (3,84 mm Dmr.)



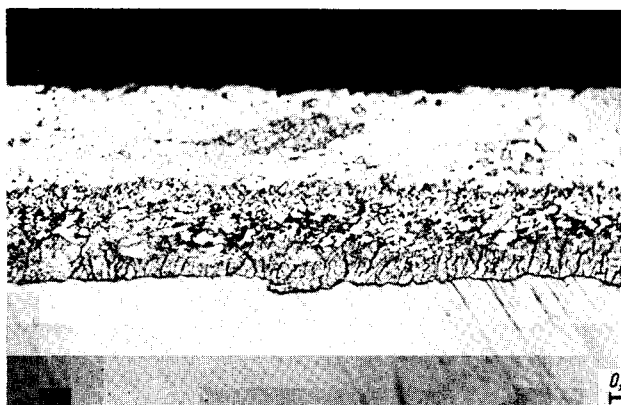
b) Querschliff der Endabmessung (1,40 mm Dmr.)



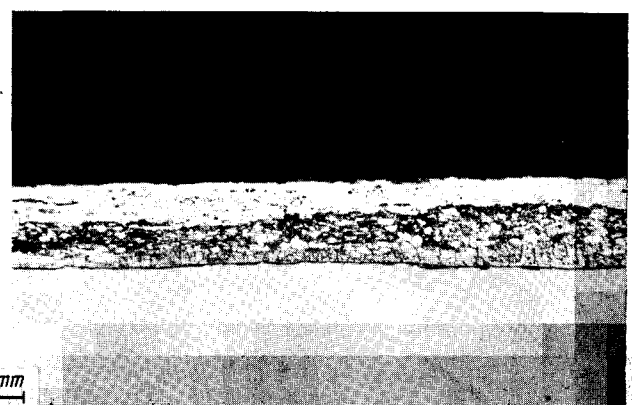
c) Längsschliff der Anfangsabmessung (3,84 mm Dmr.)



d) Längsschliff nach dem 1. Zug (3,42 mm Dmr.)



e) Längsschliff nach dem 3. Zug (2,70 mm Dmr.)

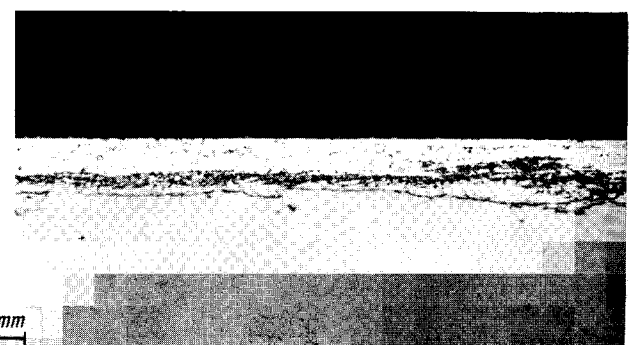


f) Längsschliff der Endabmessung (1,40 mm Dmr.)

Bilder 19a bis f. Schliffbilder von Proben des Versuches B (rd. 380:1, Original 500:1)



a) Querschliff der Endabmessung (0,81 mm Dmr.)



b) Längsschliff der Endabmessung (0,81 mm Dmr.)

Bilder 20a und b. Schliffbilder von Proben des Versuches C (rd. 380:1, Original 500:1)

Es wäre sonst unverständlich, daß ein führendes englisches Drahtwerk für die Verzinkung von Stahldrähten allein fünf galvanische Verzinkungsstraßen betreibt, davon vier Anlagen nach dem Tainton- und eine Anlage nach dem LP-Verfahren.

Wenn ich den Bericht von Herrn Nünninghoff richtig verstanden habe, hat er für die Vergleichsversuche elektrolytisch

verzinkten Überzügen vorlag, erklären vielleicht die höhere Dauerschwingfestigkeit, die an den galvanisch verzinkten Drähten ermittelt wurde. Enge Haarrisse der beschriebenen Art konnten in den Überzügen auf den in einer Zerreißmaschine gerichteten Proben nicht beobachtet werden; ein Zeichen dafür, daß die Risse nicht durch das Richten entstanden sind.

Diese Ergebnisse der Biegewechselversuche von Watt, gemeinsam mit den Ergebnissen zweier anderer Forscher, faßte M. Hempel¹⁰⁾ in einem Bild zusammen und sagt dazu folgendes: „Unter der Berücksichtigung der vorhandenen Streuungen zeigt sich vor allem im Bereich der Zugfestigkeit von etwa 100 bis 180 kg/mm² eine gewisse Überlegenheit der galvanisch verzinkten gegenüber feuerverzinkten Drähten.“

Wie schon eingangs ausgeführt, haben wir unsere Anlage erst vor kurzem in Betrieb genommen. Über die Anlage und die Ergebnisse der zur Zeit laufenden Untersuchungen werden wir nach Abschluß derselben berichten.

August Pfützenreuter, Hamm: Herr Nünninghoff hat darauf hingewiesen, daß sich gerade bei Korrosionsbeanspruchung die Feuerverzinkung gegenüber den blanken Drähten günstig bemerkbar gemacht hat. Er hatte Drähte einem Korrosionsangriff ausgesetzt und anschließend geprüft. Noch stärker macht sich der Unterschied zwischen blanken und verzinkten Drähten bemerkbar, wenn auch die Wechselbiegebeanspruchung unter Korrosions-einfluß erfolgt, zum Beispiel unter künstlichem Meerwasser. Wir haben vor einiger Zeit solche Versuche durchgeführt.

In Bild 21 sind die drei Stahldrähte miteinander

verglichen, ein verzinkter Draht mit 0,9 mm Dmr., der patentiert gezogen, verzinkt und nachgezogen wurde; dann ein blanker Stahldraht mit 0,9 mm Dmr. und ein amagnetischer Stahldraht, ein Chrom-Nickel-Mangan-Molybdän-Draht.

Die Wöhlerlinien des verzinkten und blanken Stahldrahtes liegen etwa zusammen. Infolge der höheren Zugfestigkeit des verzinkten Stahldrahtes ist der Faktor $\frac{\sigma_{BW}}{\sigma_B}$ für den verzinkten etwas geringer. Der amagnetische Stahldraht hat eine Festigkeit von ungefähr 135 kg/mm² und ein Verhältnis von $\sigma_{BW}:\sigma_B$ von 0,34.

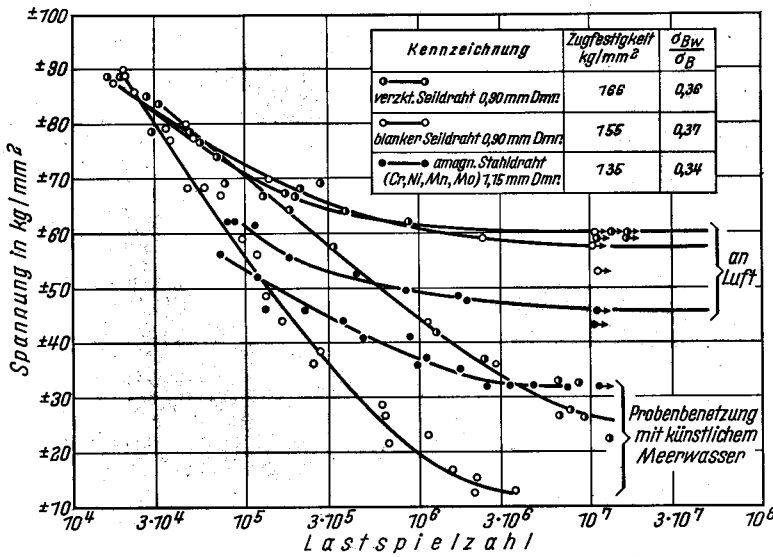


Bild 21. Umlaufbiegeversuch (DIN 50113)

feuerverzinkt nur je einen Ring der Härte 6 und 8 nach den Vereinigten Staaten von Amerika geschickt. Hätte er eine größere Zahl Ringe verzinken lassen, wäre sicher ein anderes Ergebnis herausgekommen. Es wäre dann klar geworden, daß es sich bei dem einen Ring um Oberflächenfehler oder Schlackenzeilen handelt, die nichts mit der galvanischen Verzinkung zu tun haben.

Einen solchen Einfluß des Oberflächenzustandes auf die Höhe der Dauerschwingfestigkeit schildert schon D. G. Watt⁹⁾ bei seinen umfangreichen Versuchen an verzinkten und blanken Stahldrähten.

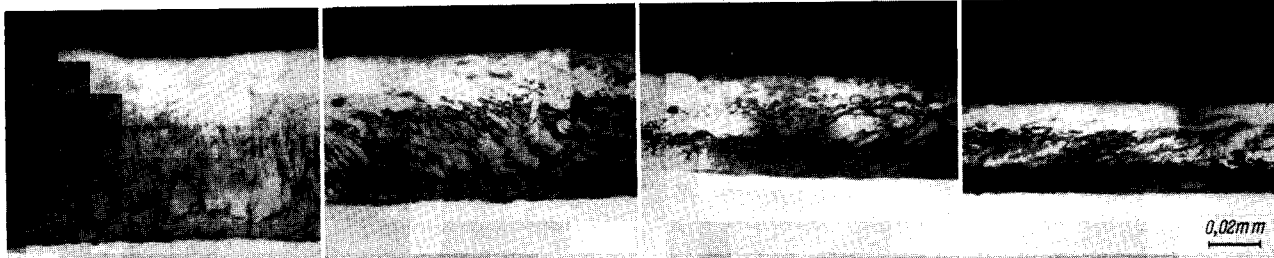


Bild 22. Veränderung der Zinkschicht beim Ziehen (335:1, Original 500:1)

Er untersucht verschiedene Festigkeitsgruppen, Drahtdurchmesser, unterschiedliche Dicken der Zinkauflage an feuerverzinkten und galvanisch verzinkten Drähten. In einem seiner Bilder zeigt er Schliffbilder, die den Oberflächenzustand des Stahles der verzinkten Drähte zeigen; man erkennt die Unregelmäßigkeiten oder Kerben, die immer mit der verhältnismäßig geringen Dauerschwingfestigkeit dieser Drähte zusammenhängen.

Um den Einfluß von Umlaufbiegespannungen auf die Zinkauflagen zu untersuchen, wurden Längsschliffe vor und nach 10 000 000 Lastwechseln beim Bruch mikroskopisch geprüft. Aus den Gefügebildern sieht man, daß sich bei den feuerverzinkten Überzügen während dieser Behandlung ganz eng nebeneinanderliegende Haarrisse senkrecht zur Stahloberfläche und bis an diese reichend gebildet haben. Solche Risse waren bei den galvanisch verzinkten Proben mit gleicher Behandlung nicht anzutreffen. Gerade diese Abwesenheit von Haarrissen bei den galvanisch verzinkten Überzügen nach Wechselbelastung und demzufolge die Ausschaltung einer Ursache für Spannungskonzentrationen, wie sie bei den feuer-

Wenn wir jetzt die Verhältnisse unter Korrosion sehen, macht sich ganz deutlich bemerkbar, daß der blanker Stahldraht zum Beispiel für 3 Mill. Lastwechsel nur noch eine Biegewechselspannung von 12 kg/mm² hat, während der verzinkte Stahldraht immerhin noch eine von 32 bis 33 kg/mm² hat. Im Bereich der Zeitfestigkeit sind die Unterschiede zwischen verzinktem und blankem Draht sehr groß.

Herr Nünninghoff hat anfangs gesagt, daß er den Abfall der Biegewechselspannung von verzinkten Drähten in der Hauptsache damit begründet, daß sich Hartzinkblöckchen in die Stahldrahtoberfläche eindrücken und dadurch zu einer größeren Aufrauhung führen. Das haben wir eigentlich bei unserer bisherigen Untersuchung nicht so bestätigen können, denn die anhaftende Schicht und die δ -Schicht werden nach Bild 22 eigentlich durch das Nachziehen nicht so stark zerstört. In der Hauptsache wird nur die ζ -Schicht zerstört. Man kann das auch feststellen, wenn man die Rautiefen nach dem Verzinken und nach den verschiedenen Ziehgraden mißt. Nun muß ich allerdings sagen, daß diese Drähte

⁹⁾ Wire W. Prod. 16 (1941) S. 280/85.

¹⁰⁾ Draht 6 (1955) S. 119/29 u. 178/83.

etwas anders hergestellt worden sind. Sie wurden erst patentiert und in zwei Zügen gezogen, das heißt, die Rauhtiefe der Oberfläche ist durch die beiden Züge ganz erheblich verringert worden. Während man bei einem patentierten Draht Rauhtiefen von etwa 30 μm hat, ergeben sich hier nach den zwei Zügen nur Rauhtiefen von 4 bis 6 μm . Dieser Draht wurde von 4,5 auf 3,9 mm Dmr. vorgezogen, an 3,9 mm Dmr. verzinkt und anschließend in neun Zügen an 1,45 mm Dmr. gezogen. Man sieht in *Bild 2*, daß die δ -Schicht nur wenig zerstört ist. Die ζ -Schicht ist voll-

kommen zerstört. Rauhtiefenmessungen an entzinkten Drähten ergaben, daß bei 3,9 mm Dmr. eine Rauhtiefe von 4 bis 6 μm vorliegt. Bei dünnem Draht von 1,65 mm Dmr. ist diese Rauhtiefe nicht vergrößert. Sie kann nicht kleiner werden, weil durch den Zinküberzug eine Glättung der darunterliegenden Stahloberfläche nicht zu erreichen ist. Vielleicht liegt auch darin das schlechtere Verhalten der patentiert verzinkt gezogenen Drähte, daß die Rauhtiefe des patentierten Drahtes weitgehend erhalten bleibt.