

Der Einfluß des Feuerverzinkens auf die mechanischen Eigenschaften geglühter, vom Walzdraht und nach dem Patentieren gezogener Drähte

Gruppe C

Nr. 687

Von Dietrich Horstmann in Düsseldorf

Mitteilung aus dem Max-Planck-Institut für Eisenforschung, Abhandlung 1081

[Bericht Nr. 122 des Ausschusses für Drahtverarbeitung des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute und Bericht Nr. 53 des Gemeinschaftsausschusses Verzinken e.V.*)]

Untersuchungen über den Einfluß der Verzinkungsbedingungen auf die mechanischen Eigenschaften verzinkter Drähte. Besonderheiten bei geglühten Drähten, die durch die Bauweise der Verzinkungsanlagen bedingt sind.

The effect of hot-dip galvanizing on the mechanical properties of annealed wire, wire drawn directly from wire rod and drawn after patenting. Investigations on the effect of the zinc-coating conditions on the mechanical properties of galvanized wire. Particularities encountered in annealed wire being due to the type of design of the galvanizing facilities.

L'influence de la galvanisation à chaud sur les propriétés mécaniques de fils d'acier recuits, de fils étirés du fil-machine et étirés après la trempe au bain de plomb. Etudes sur l'influence des conditions de zingage sur les propriétés mécaniques de fils galvanisés. Particularités dans les fils recuits qui sont dues à la construction particulière des installations de galvanisation.

Die Anwendungsmöglichkeiten feuerverzinkter Drähte werden manchmal dadurch beeinflusst, daß die mechanischen Eigenschaften des Drahtes durch die mit dem Verzinken zwangsläufig verbundene Wärmeeinwirkung verändert werden, so daß die geforderten Werte für Festigkeit, Biegungen und Verwindungen nicht in allen Fällen erreicht werden. Zwar ist es häufig möglich, durch ein Nachziehen des verzinkten Drahtes diese Werte wieder zu erreichen, doch wird dadurch der Korrosionsschutz des Zinküberzuges herabgesetzt. Während über die Veränderungen der mechanischen Eigenschaften von unmittelbar vom Walzdraht und von patentiert gezogenen Drähten bisher zahlreiche Veröffentlichungen^{1) bis 11)} vorliegen, ist über die Veränderung der mechanischen Eigenschaften geglühter Drähte bis jetzt nur wenig bekannt. Das mag daran liegen, daß die Drähte fast immer vor dem Verzinken in der gleichen Anlage geglüht werden und der vom Walzdraht gezogene Anfangszustand mit dem geglühten nicht unmittelbar verglichen werden kann. Daher schien es im Rahmen einer größeren Arbeit

über das Feuerverzinken von Draht angebracht, auch die Frage nach den mechanischen Eigenschaften unverzinkter und verzinkter Drähte mit zu behandeln, zumal sich bei den Untersuchungen zeigte, daß das mechanische Ver-

- | | |
|---------------------------------|------------------------|
| 1 Ablaufkrone | 7 Wasserspülung |
| 2 Blei-Vorwärmbad | 8 Nachreinigung |
| 3 Blei-Glühbad | 9 Flußmittelauftrag |
| 3a Salzsäuremelze | 10 Flußmitteltrocknung |
| 4 Luftabkühlung | 11 Zinkbad |
| 5 Wasserkühlung oder Entfettung | 11a Abdeckung |
| 6 Beizbad | 12 Wickelwerk |

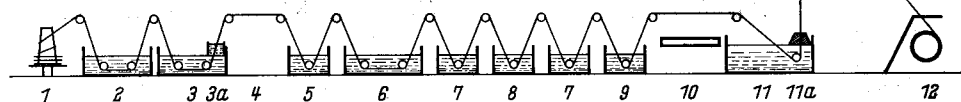


Bild 1. Aufbau von Drahtverzinkungsanlagen (schematisch)

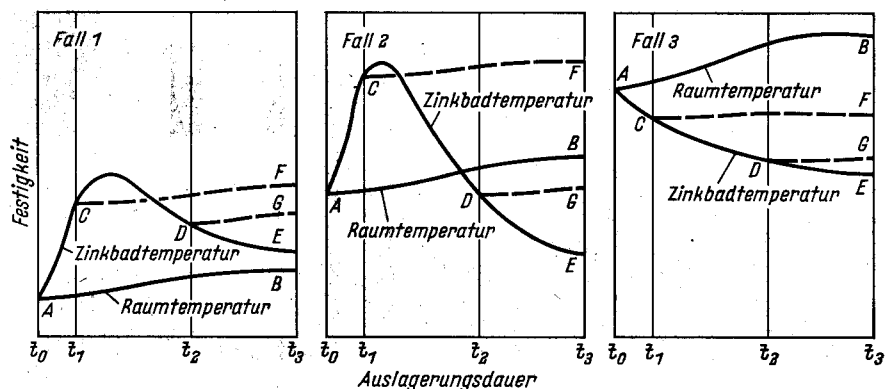


Bild 2. Änderung der Festigkeit in Abhängigkeit von der Auslagerungszeit bei verschiedenen Temperaturen (schematisch)

halten des Drahtwerkstoffes auch das Haften des Zinküberzuges am Draht mit beeinflusst.

Versuchsdurchführung

Für die Versuche wurden 2 mm dicke Drähte verwendet, deren chemische Zusammensetzung in *Tafel 1* wiedergegeben ist. Von diesen Drähten wurden die ersten drei vom Walzdraht mit einem Durchmesser von 5,5 mm an den Durchmesser von 2 mm gezogen. Die patentiert gezogenen Drähte hatten nach dem Patentieren einen Durchmesser von 4 mm und wurden an 2 mm Durchmesser gezogen. Von diesen Drähten wurden die ersten drei sowohl im geglühten als auch im vom Walzdraht gezogenen Zustand ver-

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

¹⁾ Bablik, H.: Das Feuerverzinken. Wien 1941. S. 130 ff.

²⁾ Loo, H. van de, W. Püngel u. E. H. Schulz: Stahl u. Eisen 51 (1931) S. 1585/90.

³⁾ Greis, F. u. H. Ruppik: Arch. Eisenhüttenwes. 10 (1936/37) S. 69/71.

⁴⁾ Püngel, W.: Stahl u. Eisen 62 (1942) S. 853/58 u. 876/81 (Aussch. Drahtverarbeitung 9).

⁵⁾ Gallbach, H., u. A. Pomp: Stahl u. Eisen 71 (1951) S. 805/17 (Aussch. Drahtverarbeitung 40).

⁶⁾ Püngel, W.: Stahl u. Eisen 76 (1956) S. 1685/89 (Aussch. Drahtverarbeitung 88).

⁷⁾ Ulrich, B.: Fifth Intern. Conf. on Hot Dip Galvanizing held in Holland and Belgium. June 1958. London u. Bedford 1959. S. 185/89.

⁸⁾ Baldi, F., G. Garbelli u. A. Pirozzi: Wie? S. 190/203.

⁹⁾ Blanpain, J.: Stahl u. Eisen 84 (1964) S. 1576/85 (Aussch. Drahtverarbeitung 119 u. Gemeinschaftsaussch. Verzinken 51).

¹⁰⁾ Krautmacher, H., u. P. Funke: Stahl u. Eisen 85 (1965) S. 1713/22.

¹¹⁾ Nünninghoff, R.: Stahl u. Eisen 86 (1966) S. 1300/13 (Aussch. Drahtverarbeitung 121 u. Gemeinschaftsaussch. Verzinken 52).

zinkt, wobei die Drähte in den Verzinkungsanlagen in Bleibädern bei etwa 700 °C im Durchlauf geglüht wurden. Die Drähte der Härten 4 und 6 wurden im patentiert gezogenen Zustand verzinkt. Die geglühten Drähte wurden

auf einer Anlage verzinkt, die nach dem Crapo-Verfahren arbeitete, und auf einer anderen, bei der die Drähte nach dem Beizen noch elektrolytisch nachgereinigt wurden. Bei beiden Anlagen waren die Abmessungen der Blei-Glühbäder

Tafel 1. Chemische Zusammensetzung der untersuchten Drahtwerkstoffe

Werkstoff	% C	% Si	% Mn	% P	% S	% N	% Al	% Cr	% Cu	% Ni
Unberuhigter Siemens-Martin-Stahl D6-2 ¹⁾	0,038	<0,01	0,20	0,027	0,034	0,004	<0,001	n. b.	0,115	n. b.
Unberuhigter Thomasstahl D5-1 ¹⁾	0,040	<0,01	0,40	0,040	0,026	0,010	<0,001	n. b.	0,022	n. b.
D45-2 (Härte 4) ¹⁾	0,46	0,17	0,54	0,026	0,023	0,005	0,010	0,12	0,16	0,07
D65-2 (Härte 6) ¹⁾	0,68	0,30	0,54	0,021	0,026	0,007	0,028	0,09	0,12	0,065
Stahl mit erhöhtem Korrosionswiderstand	0,076	0,39	0,37	0,084	0,022	0,004	0,022	0,54	0,39	0,33

¹⁾ Vgl. DIN 17140.

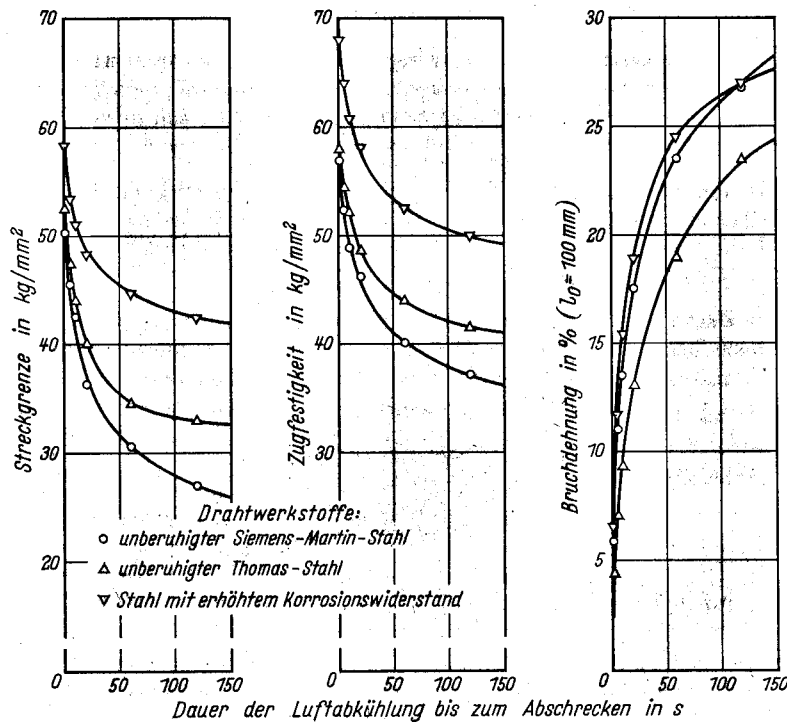


Bild 3. Einfluß der Dauer der Luftabkühlung zwischen Glühen und Abschrecken auf Streckgrenze, Zugfestigkeit und Bruchdehnung natürlich gealterter unverzinkter Drähte

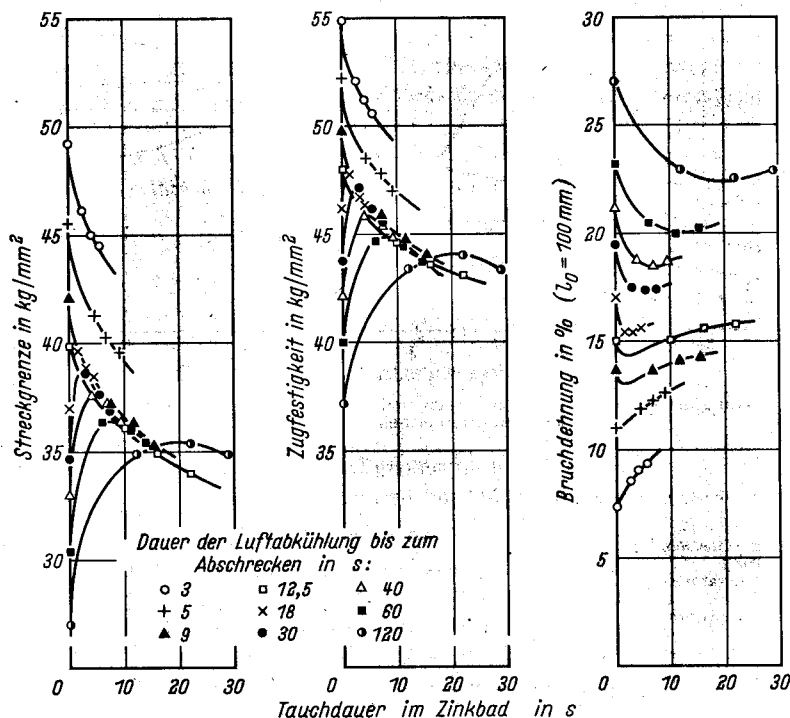


Bild 4. Einfluß der Tauchdauer und der Dauer der Luftabkühlung nach dem Glühen auf Streckgrenze, Zugfestigkeit und Bruchdehnung verzinkter Drähte aus einem unberuhigten weichen Siemens-Martin-Stahl bei einer Temperatur des Zinkbades von 455 °C

so, daß unter allen Versuchsbedingungen der Drahtwerkstoff vollständig rekristallisierte. Die vom Walzdraht und die patentiert gezogenen Drähte wurden ebenfalls nebeneinander auf zwei verschiedenen Anlagen verzinkt. Bei beiden wurde der Ziehmittelfilm zunächst durch ein kurzes Vorwärmen im Bleibad auf etwa 400 °C verkocht. Bei der einen Anlage schloß sich daran noch eine alkalische Entfettung an, bei der anderen wurde wieder elektrolytisch nachgereinigt. Die Durchlaufgeschwindigkeit der Drähte durch diese vier Anlagen wurde in Stufen zwischen 6 und 40 m/min geändert, wodurch sich bei einer zusätzlichen stufenweisen Veränderung der Tauchlänge des Drahtes im Zinkbad Eintauchzeiten zwischen 1,8 und 29 s ergaben. Alle Versuche wurden jeweils bei drei Zinkbadtemperaturen durchgeführt, und zwar bei 430 bis 440, 455 und bei 465 bis 475 °C.

Von den unverzinkten und verzinkten Drähten wurden Proben genommen, an denen Streckgrenze, Zugfestigkeit, Bruchdehnung, Anzahl der Hin- und Herbiegungen und die Anzahl der Verwindungen nach etwa einem viertel bis zu einem halben Jahr ermittelt wurden. Da es aus anlagentechnischen Gründen schlecht möglich war, von den in den Anlagen geglühten Drähten unverzinkte Proben zu entnehmen, wurden einige unverzinkte, vom Walzdraht gezogene Drahtabschnitte den Glüh- und Abkühlungsbedingungen der Drähte in den Anlagen entsprechend gesondert wärmebehandelt und die mechanischen Eigenschaften an diesen Proben gemessen. Bei der Auswertung der Versuchsergebnisse wurden die ermittelten Werte in allen Fällen auf den Durchmesser des unverzinkten Drahtes bezogen.

Zum besseren Verständnis des folgenden ist es angebracht, an Hand von Bild 1 den Aufbau und die Arbeitsweise von Drahtverzinkungsanlagen zu betrachten und die für die mechanischen Eigenschaften des Drahtes wirksamen Punkte darzulegen. Dabei soll zunächst nur auf das Verzinken geglühter Drähte eingegangen werden. Von der Ablaufkronen (1) läuft der Draht durch ein Blei-Vorwärmbad von ungefähr 400 °C (2), dann in das eigentliche Blei-Glühbad (3), das bei Temperaturen um 700 °C gehalten wird. Am Austritt des Drahtes kann, wie beim Crapo-Verfahren, eine Salzmischung aufgeschmolzen sein (3a). Danach kühlt der auf rd. 700 °C

erhitzte Draht zunächst an Luft ab (4) und wird dann nach einer bestimmten Zeit, die von der Entfernung und von der Durchlaufgeschwindigkeit abhängt, entweder in einem Wasserbad (5) oder unmittelbar im Beizbad (6) mehr oder weniger schroff abgeschreckt. Nach dem Beizen wird der Draht mit Wasser gespült (7), gegebenenfalls elektrolytisch nachgereinigt (8) und nochmals gespült (7). Anschließend wird bei (9) die Flußmittellösung aufgetragen, die über einer Trockenplatte (10) auf den Draht aufgetrocknet wird. Der so vorbehandelte Draht tritt dann in das Zinkbad (11) mit einer Temperatur um 450 °C ein, das er durch eine Kohle- oder Sandabstreifung (11a) verläßt, um schließlich vom Wickelwerk (12) aufgewickelt zu werden.

Die mechanischen Eigenschaften des Drahtes werden daher bei diesem Arbeitsablauf durch zwei Wärmebehandlungen – Glühen bei 700 °C und Anlassen bei 450 °C – bestimmt, die durch ein mehr oder weniger schroffes Abkühlen voneinander getrennt sind. Setzt man, wie im vorliegenden Fall, ein einwandfreies Glühen mit vollständiger Rekristallisation des Drahtwerkstoffes voraus, so kann der Zustand des in das Zinkbad einlaufenden geglühten Drahtes dennoch sehr verschieden sein, je nachdem, ob er nach dem Glühen sehr schnell von hoher Temperatur oder erst nach einer längeren Luftabkühlung von tieferen Temperaturen abgeschreckt wird. Durch die Wärmeeinwirkung beim Verzinken ist die künstliche Alterung des Drahtwerkstoffes bei verschiedenen Eintrittszuständen des Drahtes in das Zinkbad mehr oder weniger stark, das heißt, die mechanischen Eigenschaften werden abermals verändert. Dabei kann die Richtung der Veränderung verschieden sein.

Die bei den Untersuchungen vorliegenden Verhältnisse lassen sich am besten an einem schematischen Bild darstellen, in dem als Beispiel einer mechanischen Eigenschaft die Festigkeit in Abhängigkeit von der Auslagerungszeit bei verschiedenen Temperaturen aufgezeichnet ist (Bild 2). Dabei kann man drei verschiedene Fälle unterscheiden. Im Fall 1 (linkes Teilbild) liegt der Anfangszustand A, also die Anfangsfestigkeit des unverzinkten geglühten Drahtes, verhältnismäßig tief. Das ist dann der Fall, wenn nach dem Glühen die Dauer der Luftabkühlung bis zum Abschrecken ziemlich lang ist. Durch natürliches Altern bei Raumtemperatur nimmt die Festigkeit mit der Zeit entsprechend der Kurve A–B zu. Bei einer höheren Temperatur steigt die Festigkeit dagegen durch die künstliche Alterung wesentlich schneller und stärker an, erreicht nach einer bestimmten Zeit einen Höchstwert und fällt danach wieder ab, wie es der Kurvenverlauf A–C–D–E andeutet. Wird die Auslagerung bei der hohen Temperatur, wie es beim Feuerverzinken geschieht, nach einer Zeit t_1 oder t_2 abgebrochen, so erreicht die Festigkeit die diesen Zeiten entsprechenden Werte C oder D, die vor oder hinter dem Höchstwert liegen können. Ist die künstliche Alterung zu diesem Zeitpunkt noch nicht abgeschlossen, so nimmt die Festigkeit bei der weiteren Auslagerung bei Raumtemperatur

weiter etwas zu, wie es die gestrichelte Linie C–F zeigt, und zwar um so weniger, je näher der betreffende Punkt dem Höchstwert rückt. Zu dieser nachträglichen natürlichen Alterung trägt die Ausscheidung weiterer bei der hohen Temperatur in Lösung gebliebener Fremdatome bei, die

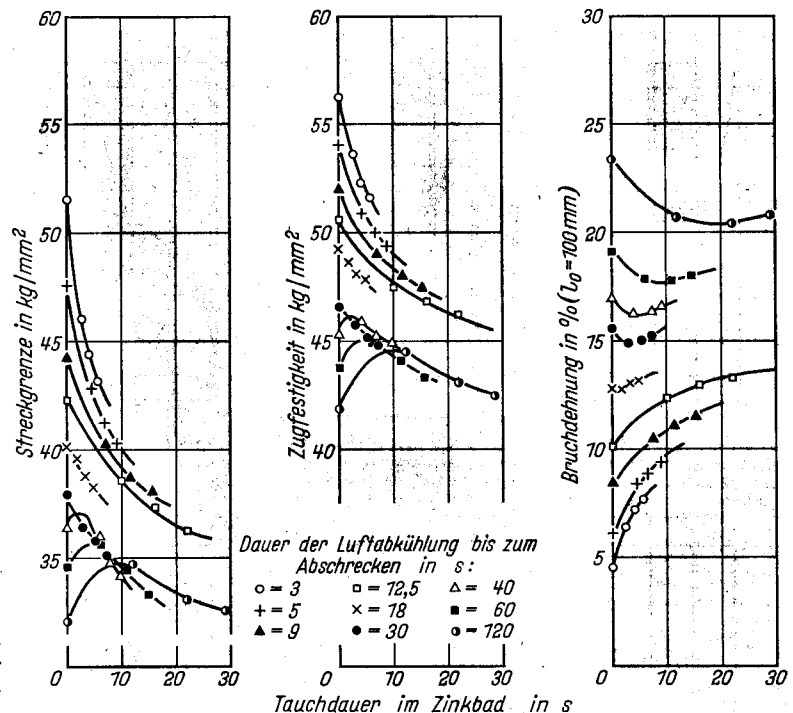


Bild 5. Einfluß der Tauchdauer und der Dauer der Luftabkühlung nach dem Glühen auf Streckgrenze, Zugfestigkeit und Bruchdehnung verzinkter Drähte aus einem unberuhigten weichen Thomasstahl bei einer Temperatur des Zinkbades von 455 °C

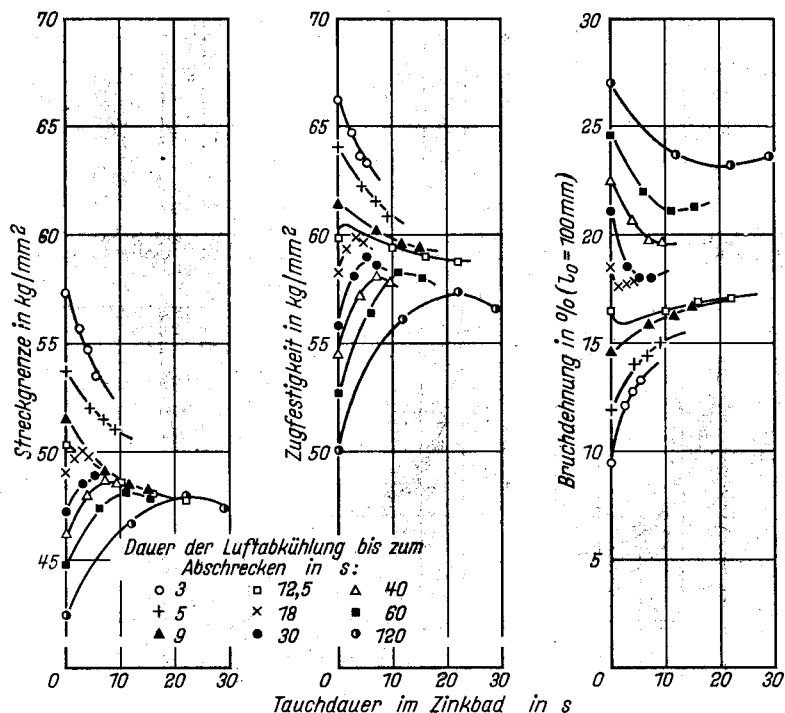


Bild 6. Einfluß der Tauchdauer und der Dauer der Luftabkühlung nach dem Glühen auf Streckgrenze, Zugfestigkeit und Bruchdehnung verzinkter Drähte aus einem Stahl mit erhöhtem Korrosionswiderstand bei einer Temperatur des Zinkbades von 455 °C

auch dann noch eine, wenn auch nur sehr geringe Festigkeitszunahme bedingen, wenn bei der künstlichen Alterung der Höchstwert der Festigkeit bereits überschritten ist (gestrichelte Linie D–G). Daher bleibt auch nach einer Zeit t_3 zwischen dem natürlich gealterten Zustand E und den zunächst künstlich und dann natürlich nachgealterten Zu-

ständen F und G ein Unterschied bestehen. Das Kennzeichnende an dem Fall 1 ist, daß die Festigkeit des künstlich gealterten Zustandes immer größer ist als die des natürlich gealterten Zustandes.

Festigkeit schneller durchlaufen, die dann ziemlich schnell und stark wieder abnimmt, so daß sich die Kurven für den künstlich und den natürlich gealterten Zustand schneiden. Daher kann die Festigkeit des künstlich gealterten Zustandes

je nach der Dauer der Wärmeeinwirkung hier sowohl größer als auch kleiner als im natürlich gealterten Zustand sein und bleiben, da sich an diesen Verhältnissen durch das nachträgliche Nachaltern bei Raumtemperatur nichts wesentliches mehr ändert, wie es der Verlauf der gestrichelten Linien C-F und D-G zeigt.

Durch sehr schnelles Abkühlen nach dem Glühen wird die Anfangsfestigkeit sehr stark heraufgesetzt, und die natürliche Alterung ist größer (Linie A-B im rechten Teil des Bildes 2). Bei der künstlichen Alterung tritt kein Höchstwert mehr auf, die Festigkeit nimmt mit fortschreitender Dauer der Wärmeeinwirkung stetig ab, wie es die Kurve A-C-D-E angibt. Daher ist in diesem dritten Fall die Festigkeit im künstlich gealterten immer niedriger als im natürlich gealterten Zustand, zumal die natürliche Nachalterung (Kurven C-F und D-G) hier nur noch sehr gering ist und die Festigkeit nicht wesentlich wieder erhöht.

Versuchsergebnisse

Die Versuchsergebnisse zeigen, daß beim Feuerverzinken geglühter Drähte bei unterschiedlichem Abstand zwischen dem Blei-Glühbad und der anschließenden Abschreckung in Wasser oder in der Beize und verschiedenen Durchlaufgeschwindigkeiten des Drahtes alle drei in Bild 2 dargestellten Fälle auftreten können. In Bild 3 sind zunächst Streckgrenze, Zugfestigkeit und Bruchdehnung der unverzinkten Drähte aus dem unruhigten weichen Siemens-Martin-Stahl, dem unruhigten weichen Thomasstahl und aus dem Stahl mit erhöhtem Korrosionswiderstand in Abhängigkeit von der Dauer der zwischen dem Glühen und dem Abschrecken liegenden Luftabkühlung aufgetragen. Man sieht, wie erheblich sich dieser Einfluß auf die mechanischen Eigenschaften des unverzinkten natürlich gealterten Zustandes bemerkbar macht und wie erheblich Streckgrenze und Zugfestigkeit mit zunehmender Dauer der Luftabkühlung, also mit abnehmender Abschrecktemperatur, abfallen, während die Bruchdehnung dementsprechend größer wird.

Die künstliche Alterung im Zinkbad bewirkt dann entsprechend diesen verschiedenen Anfangszuständen eine weitere Veränderung von Streckgrenze, Zugfestigkeit und Bruchdehnung, wie die Bilder 4 bis 6 zeigen. Dabei fällt auf, daß von einer bestimmten Dauer der Luftabkühlung an, die für die drei Stähle verschieden ist, die Werte für die Streckgrenze und die Zugfestigkeit, bedingt durch den verschiedenen starken Anstieg beim Verzinken, sehr nahe zusammenfallen, während bei der Bruchdehnung deutliche Unterschiede bestehen bleiben. Das mag darin begründet

sein, daß die Größe der bei der künstlichen Alterung im Zinkbad ausgeschiedenen Teilchen verschieden groß ist, was sich dann in dieser Weise bemerkbar macht. Ein Vergleich der einzelnen Bilder untereinander zeigt, daß der Höchstwert

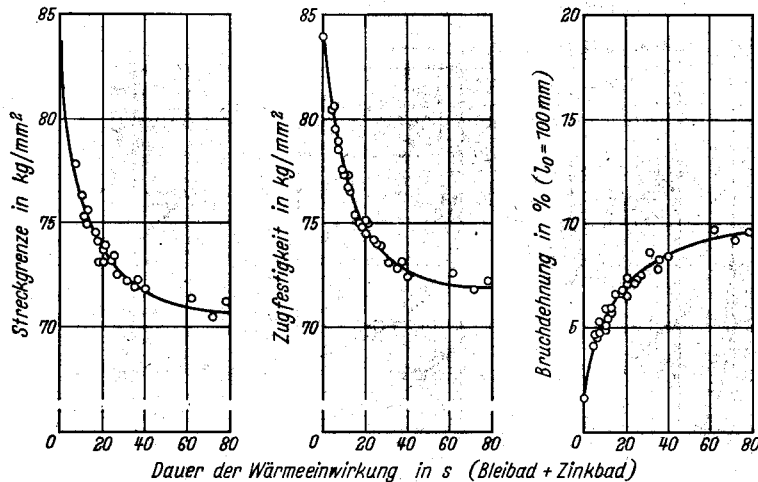


Bild 7. Einfluß der Dauer der Wärmeeinwirkung beim Verzinken auf Streckgrenze, Zugfestigkeit und Bruchdehnung eines vom Walzdraht gezogenen Drahtes aus einem unruhigten weichen Siemens-Martin-Stahl bei einer Temperatur des Zinkbades von 455 °C

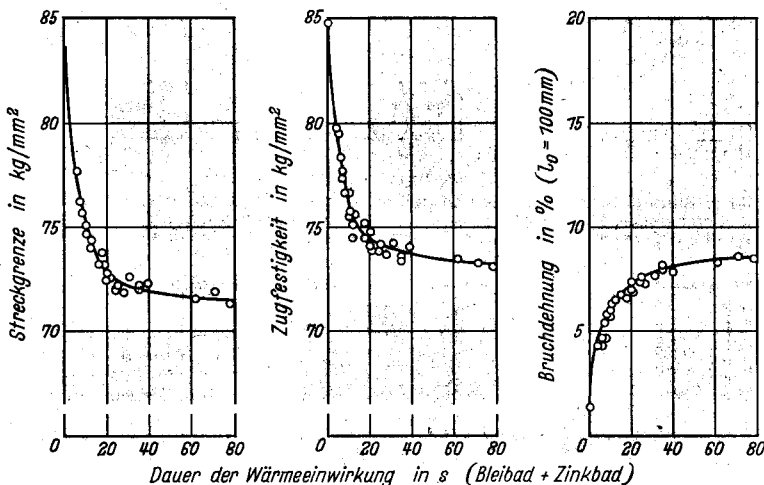


Bild 8. Einfluß der Dauer der Wärmeeinwirkung beim Verzinken auf Streckgrenze, Zugfestigkeit und Bruchdehnung eines vom Walzdraht gezogenen Drahtes aus einem unruhigten weichen Thomasstahl bei einer Temperatur des Zinkbades von 455 °C

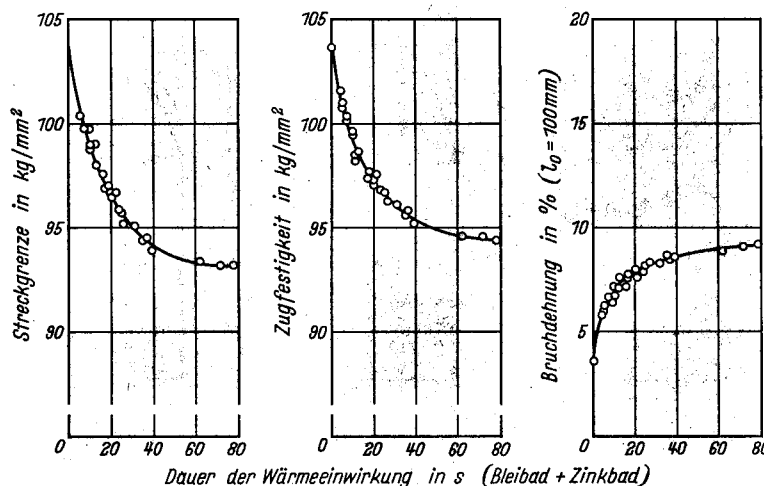


Bild 9. Einfluß der Dauer der Wärmeeinwirkung beim Verzinken auf Streckgrenze, Zugfestigkeit und Bruchdehnung eines vom Walzdraht gezogenen Drahtes aus einem Stahl mit erhöhtem Korrosionswiderstand bei einer Temperatur des Zinkbades von 455 °C

Im zweiten Fall (mittlerer Teil des Bildes 2) liegt die Anfangsfestigkeit A höher und die natürliche Alterung verläuft hier wieder entsprechend A-B. Bei der künstlichen Alterung (Kurve A-C-D-E) wird der Höchstwert der

von Streckgrenze und Zugfestigkeit bei dem unberuhigten weichen Thomasstahl am frühesten, bei dem beruhigten Stahl mit erhöhtem Korrosionswiderstand dagegen am spätesten durchlaufen wird, was darauf zurückzuführen sein dürfte, daß beim Thomasstahl die Menge der ausscheidungs-fähigen gelösten Fremdatome am größten ist. Dementsprechend tritt hier auch noch bei einer wesentlich längeren Dauer der Luftabkühlung zwischen Glühen und Abschrecken ein sofortiger Abfall von Streckgrenze und Zugfestigkeit beim Verzinken ein, da bei diesem Stahl der Fall 3 des Bildes 2 offensichtlich schneller erreicht wird als bei den beiden anderen Stählen. Durch eine Erhöhung der Temperatur des Zinkbades werden die Höchstwerte von Streckgrenze und Zugfestigkeit und der entsprechende Tiefstwert der Bruchdehnung schneller durchlaufen, wie es aus hier nicht eingezeichneten Meßwerten zu entnehmen ist.

Bei vom Walzdraht und bei patentiert gezogenen verzinkten Drähren entfällt bei dem beschriebenen Arbeitsablauf das Glühen. Wenn die Drähre, wie bei diesen Versuchen zum Verkoken des Ziehmittelfilmes zunächst durch ein Blei-Vorwärmbad geführt werden, wird der Drahtwerkstoff zwar auch hierbei zweimal erwärmt, doch reicht die Temperatur von 400 °C nicht aus, um eine nachhaltige Wirkung auf den Zustand des Drahtes auszuüben. Daher beeinflußt bei diesen Drähren die dem Vorwärmen folgende Abkühlungsweise die mechanischen Eigenschaften nur unwesentlich. Die doppelte Erwärmung macht sich hier nur dadurch bemerkbar, daß die Dauer der Wärmeeinwirkung verlängert wird. Durch die vorangegangene Kaltverformung beim Ziehen des Drahtes ist sein Anfangszustand A sehr hochgerückt worden, so daß bei diesen Drähren im allgemeinen nur der Fall 3 des Bildes 2 eintritt, wie die Bilder 7 bis 11 zeigen, in denen Streckgrenze, Zugfestigkeit und Bruchdehnung in Abhängigkeit von der Dauer der gesamten Wärmeeinwirkung in Blei-Vorwärmbad und im Zinkbad aufgetragen sind. Man sieht, daß im Einklang mit den genannten früheren Versuchsergebnissen^{1) bis 10)} Streckgrenze und Zugfestigkeit mit zunehmender Dauer der Wärmeeinwirkung sehr erheblich abfallen, während die Bruchdehnung größer wird. Die Temperatur des Zinkbades macht sich dahingehend bemerkbar, daß bei einer Erhöhung die Werte noch stärker abfallen oder ansteigen, wie auch hier nicht eingezeichnete Meßergebnisse bei anderen Zinkbadtemperaturen zeigen.

Für das Verhalten der Drähre beim Biegen und

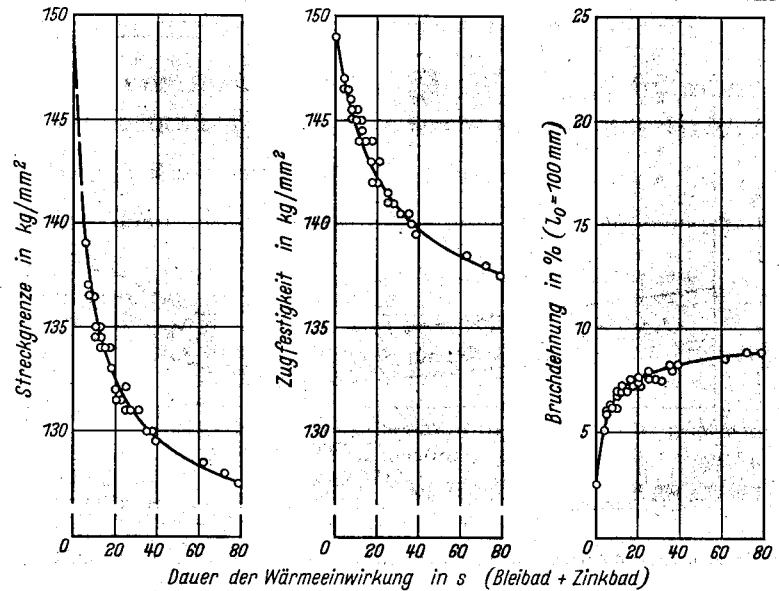


Bild 10. Einfluß der Dauer der Wärmeeinwirkung beim Verzinken auf Streckgrenze, Zugfestigkeit und Bruchdehnung eines patentiert gezogenen Drahtes der Härte 4 bei einer Temperatur des Zinkbades von 455 °C

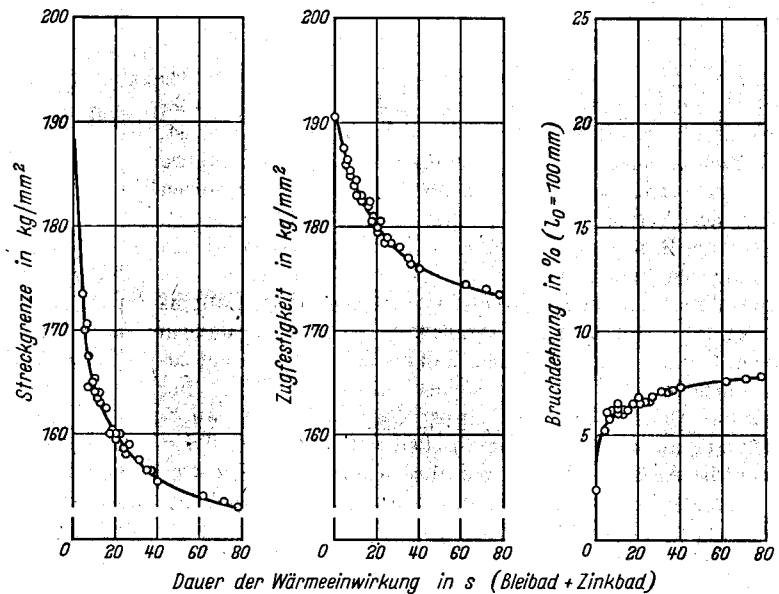


Bild 11. Einfluß der Dauer der Wärmeeinwirkung beim Verzinken auf Streckgrenze, Zugfestigkeit und Bruchdehnung eines patentiert gezogenen Drahtes der Härte 6 bei einer Temperatur des Zinkbades von 455 °C

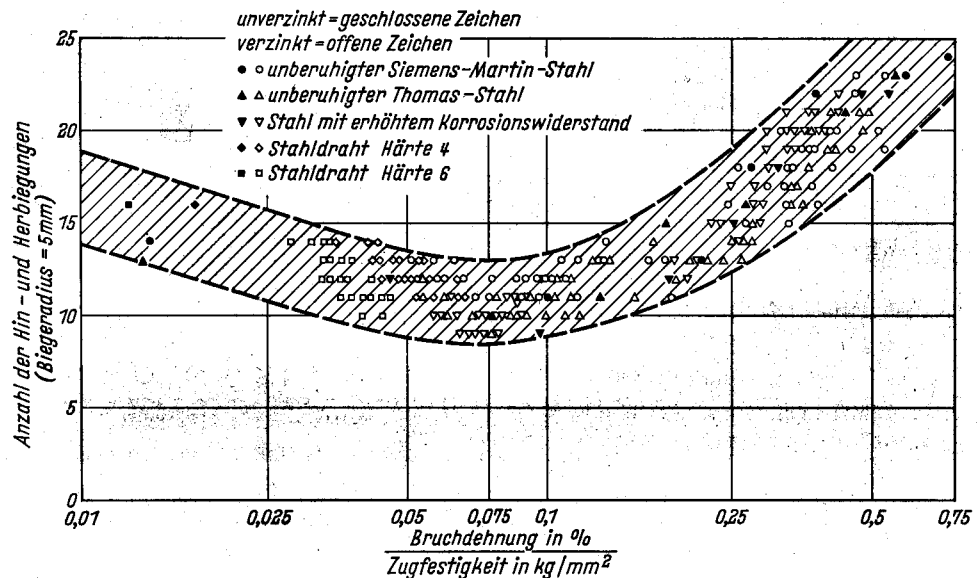


Bild 12. Einfluß des Verhältnisses von Bruchdehnung zu Zugfestigkeit auf die Anzahl der Hin- und Herbiegungen unverzinkter und verzinkter Drähre

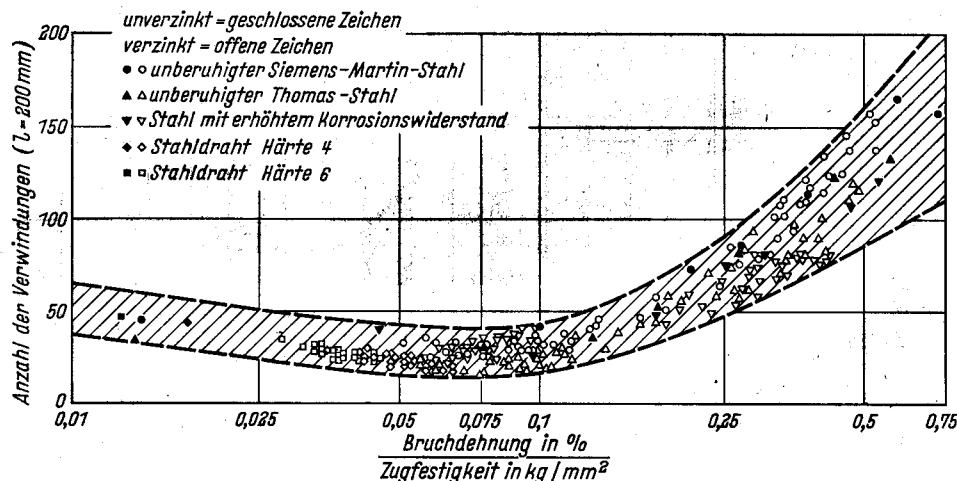


Bild 13. Einfluß des Verhältnisses von Bruchdehnung zu Zugfestigkeit auf die Anzahl der Verwindungen unverzinkter und verzinkter Drähte

Verwinden spielt das Verformungsvermögen eine wesentliche Rolle. Daneben werden die zum Bruch des Drahtes führenden Vorgänge offenbar aber auch noch von der Trennfestigkeit des Werkstoffes beeinflusst, die hierbei überwunden werden muß. Da sich diese beiden Eigenschaften beim Feuerverzinken aber gegenläufig ändern, sind die hier vorliegenden Verhältnisse unübersichtlicher, wenn man versucht, sie in der gleichen Art darzustellen, wie es für Streckgrenze, Zugfestigkeit und Bruchdehnung geschehen ist. Betrachtet man nur das Dehnungsverhalten des Drahtes, so ergibt sich, daß die Anzahl der Hin- und Herbiegungen und der Verwindungen bei geglühten Drähten ansteigt, wenn die Bruchdehnung größer wird. Für die verschiedenen Stahlgüten gelten dabei verschiedene Streubereiche. Bei vom Walzdraht und bei patentiert gezogenen Drähten fällt die Anzahl der Hin- und Herbiegungen und der Verwindungen beim Feuerverzinken in jedem Fall ab, d. h., sie wird mit zunehmender Bruchdehnung kleiner. Ein einheitliches Bild für alle Drähte erhält man, wenn man neben der Bruchdehnung auch noch die Zugfestigkeit mit betrachtet. Trägt man die Anzahl der Hin- und Herbiegungen und der Verwindungen in Abhängigkeit vom Verhältnis der Bruchdehnung zur Zugfestigkeit auf, so ergibt sich für alle Drähte ein gemeinsamer Streubereich (Bilder 12 und 13). Der logarithmische Maßstab wurde hier nur gewählt, um die Meßwerte bei

den kleinen Verhältnissen besser darstellen zu können. Man sieht, daß die Anzahl der Biegungen und Verwindungen bei dieser Art der Darstellung von kleinen Verhältnissen ausgehend zunächst leicht abnimmt, einen Tiefstwert durchläuft und dann wieder stärker ansteigt. Die vom Walzdraht und die patentiert gezogenen unverzinkten und verzinkten Drähte liegen dabei im linken Ast bis zum Tiefstwert, die geglühten unverzinkten und verzinkten vom Tiefstwert ausgehend im rechten Ast dieses Streubereiches. Daraus ergibt sich, daß im linken Teil-

bereich, also bei vom Walzdraht und bei patentiert gezogenen Drähten, der Einfluß der Trennfestigkeit deutlicher in Erscheinung tritt als bei den geglühten Drähten im rechten Teilbereich, wo der Einfluß des Dehnungsvermögens überwiegt.

* * *

Der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen, der Fachvereinigung Draht und den an den Versuchen beteiligten Drahtwerken sei auch an dieser Stelle für die Förderung der Untersuchungen bestens gedankt.

Zusammenfassung

Durch das Feuerverzinken werden die mechanischen Eigenschaften geglühter, unmittelbar vom Walzdraht und patentiert gezogener Drähte mehr oder weniger stark verändert. Bei geglühten Drähten spielt dabei neben der Temperatureinwirkung im Zinkbad auch die Abkühlungsweise nach dem Glühen eine entscheidende Rolle. Diese Abkühlungsverhältnisse sind durch den Aufbau der Anlagen und die Durchlaufgeschwindigkeit des Drahtes vorgegeben und können daher bei verschiedenen Anlagen recht unterschiedlich sein. Bei vom Walzdraht und bei patentiert gezogenen Drähten werden die mechanischen Eigenschaften um so stärker verändert, je länger sie einer Wärmeeinwirkung ausgesetzt sind.