

Untersuchungen zum Einfluß des Feuerverzinkens auf die mechanischen Eigenschaften mikrolegierter Feinkornstähle

Mitteilung aus dem Max-Planck-Institut für Eisenforschung, Abhandlung 1345

Bericht Nr. 73 des Gemeinschaftsausschusses Verzinken e. V.*)

Vergleich der mechanischen Eigenschaften im Zugversuch und der Kerbschlagarbeit an Warmband in Dicken zwischen 6 und 12 mm aus unterschiedlich mit Niob, Titan und Vanadin mikrolegierten Feinkornstählen im unverzinkten und im verzinkten Zustand.

Investigations on the influence of hot dip galvanizing on the mechanical properties of microalloyed fine-grained steels

Comparison of the mechanical properties in the tension test and of the notched bar impact energy on hot strip in gages between 6 and 12 mm of fine-grained steels differently microalloyed with niobium, titanium, and vanadium in ungalvanized and galvanized condition.

Etudes sur l'influence de la galvanisation par trempé sur les propriétés mécaniques des aciers à grain fin microalliés

Comparaison des propriétés mécaniques dans l'essai de traction et de la résilience sur feuillard à chaud d'épaisseur entre 6 et 12 mm en aciers à grain fin microalliés différemment au niobium, titane et vanadium à l'état non galvanisé et galvanisé.

Die beim Feuerverzinken unvermeidliche, kurzzeitige Wärmeeinwirkung führt dazu, daß sich die mechanischen Eigenschaften der Stähle mehr oder weniger stark verändern. Dabei können Streckgrenze und Zugfestigkeit entsprechend der chemischen Zusammensetzung, dem Gefüge und dem Kaltumformgrad sowohl ansteigen als auch abfallen, wie dies bei vorangegangenen Versuchen an allgemeinen Baustählen und an Drähten mit verschiedenen Kaltumformgraden gezeigt worden ist^{1) 2)}. Die Bruchdehnung und die Brucheinschnürung verändern sich dabei im allgemeinen im entgegengesetzten Sinne. Da die mechanischen Eigenschaften mikrolegierter perlitfreier und perlitarmen Stähle durch gezielte Bedingungen beim Warmwalzen und bei der Abkühlung nach dem Warmwalzen eingestellt werden, muß man damit rechnen, daß sich diese Eigenschaften bei diesen Stahlorten ebenfalls durch die nachträgliche Wärmeeinwirkung beim Feuerverzinken in einem mehr oder weniger großen Ausmaß verändern. Da die perlitfreien und perlitarmen Stähle mit höheren Festigkeiten in zunehmendem Maß im Stahlbau eingesetzt werden, schien

Tafel 1 zusammengestellt. Bei allen Stählen, mit Ausnahme des perlitfreien Stahles 4 und des als Vergleichsstahl mitgeführten St 52-3 (Stahl 11) handelt es sich um perlitarme Stähle, bei denen der Anteil der perlitischen Gefügebestandteile mit steigendem Kohlenstoffgehalt zunimmt. Bei einigen Stählen, so bei den Bändern 7, 10, 11 und 13, zeigt das Gefüge eine mehr oder weniger stark ausgeprägte Zeilenstruktur, die bei den übrigen Bändern nicht vorhanden oder nur sehr schwach angedeutet ist. Beispiele für diese Arten der Gefügeausbildung sind in Bild 1 wiedergegeben.

Für die Prüfung der mechanischen Eigenschaften im verzinkten Zustand wurden Bandabschnitte bei 450 °C mit einer Tauchdauer von 5 min verzinkt.

Den unverzinkten und verzinkten Bändern wurden Zugproben in Walzrichtung und quer zur Walzrichtung entnommen, an denen Streckgrenze, Zugfestigkeit, Bruchdehnung und Brucheinschnürung ermittelt wurden. Außerdem wurde die Kerbschlagarbeit an Querproben, ähnlich ISO-V, jedoch mit 5 × 10 mm² Querschnitt, geprüft.



Bild 1. Gefüge einiger Versuchswerkstoffe; a) 1, b) 7, c) 10, d) 13 und e) 11 (nach Tafel 1)
Figure 1. Structure of some test materials; a) 1, b) 7, c) 10, d) 13 and e) 11 (according to table 1)

es angebracht, die Veränderung ihrer mechanischen Eigenschaften beim Feuerverzinken zu untersuchen.

Versuchsdurchführung

Für die Versuche wurde Warmband in Dicken zwischen 6 und 12 mm aus 13 verschiedenen, mit Titan, Titan und Vanadin, Vanadin, Niob sowie Niob und Vanadin legierten Stählen verwendet. Die chemische Zusammensetzung dieser Stähle ist in

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

Versuchsergebnisse

Bei warmgewalzten Erzeugnissen beobachtet man im allgemeinen ein Ansteigen der Streckgrenze und der Zugfestigkeit beim Feuerverzinken, während Bruchdehnung und Brucheinschnürung gleichzeitig etwas abfallen. Der Unterschied zwischen dem unverzinkten und dem verzinkten Zustand ist dabei bei natürlich gealterten Erzeugnissen aus unberuhigten Stählen meistens geringer als bei solchen aus beruhigten Stählen, bei denen die natürliche Alterung bei Raumtemperatur wesentlich geringer ist. Dementsprechend findet man auch bei den mikrolegierten perlitarmen und perlitfreien beruhigten Stählen einen durch das Verzinken bedingten deutlichen Anstieg der Streckgrenze um etwa 15 bis 20% und eine Zunahme

Tafel 1. Chemische Zusammensetzung der für die Untersuchung verwendeten Stähle
Table 1. Chemical composition of the steels used for the investigation

Nr.	% C	% Si	% Mn	% P	% S	% Al _{ges.}	% N	% Cr	% Cu	% Nb	% Ni	% Ti	% V
1	0,064	0,004	0,33	0,013	0,014	0,047	0,0030	0,03	0,04	0,04	0,02	≤ 0,03	≤ 0,01
2	0,067	0,004	0,34	0,010	0,011	0,049	0,0030	0,03	0,03	0,05	0,02	≤ 0,03	≤ 0,01
3	0,068	0,009	0,76	0,015	0,014	0,057	0,0034	0,04	0,04	0,11	0,02	≤ 0,03	≤ 0,01
4	0,001	0,038	1,40	0,014	0,006	0,028	0,0066	0,03	0,02	0,02	0,02	≤ 0,01	0,04
5	0,042	0,070	0,67	0,018	0,021	0,036	0,0070	0,03	0,03	≤ 0,01	0,02	0,14	≤ 0,01
6	0,089	0,090	0,67	0,008	0,019	0,041	0,0073	0,08	0,08	≤ 0,01	0,07	0,22	0,02
7	0,119	0,18	1,28	0,021	0,020	0,048	0,0046	0,06	0,02	0,04	0,02	≤ 0,01	0,05
8	0,065	0,22	1,04	0,006	0,014	0,024	0,0075	0,06	0,17	≤ 0,01	0,08	≤ 0,01	0,06
9	0,075	0,22	0,65	0,016	0,012	0,030	0,0094	0,03	0,02	≤ 0,01	0,01	0,16	≤ 0,01
10	0,127	0,22	1,44	0,023	0,021	0,034	0,0046	0,03	0,05	0,06	0,04	≤ 0,01	≤ 0,01
11	0,180	0,34	1,59	0,013	0,007	0,022	0,0056	0,04	0,14	≤ 0,01	0,05	≤ 0,03	≤ 0,01
12	0,078	0,40	0,97	0,018	0,009	0,080	0,0055	0,03	0,04	0,07	0,02	≤ 0,03	≤ 0,01
13	0,119	0,40	1,74	0,020	0,018	0,045	0,0057	0,04	0,02	0,02	0,03	≤ 0,01	0,06
14	0,088	0,44	1,34	0,024	0,015	0,044	0,0070	0,04	0,03	0,07	0,02	≤ 0,03	≤ 0,01

der Zugfestigkeit um etwa 5 bis 10%, wie es die in Bild 2 wiedergegebenen Versuchsergebnisse zeigen. Bruchdehnung und Bruchseinschnürung fallen entsprechend, jedoch nur geringfügig, ab.

Eine eindeutige Abhängigkeit der Größe der Veränderung der im Zugversuch ermittelten mechanischen Eigenschaften von der Art der zugegebenen Mikrolegierungselemente (Titan,

Vanadin und Niob) läßt sich aus diesen Versuchsergebnissen nicht ableiten. Das dürfte auch kaum zu erwarten sein, da neben diesen Elementen auch die übrigen Begleit- und Legierungselemente, vor allem Kohlenstoff, Mangan und Sili- cium, sowie auch die Warmwalzbedingungen den Werkstoff- zustand und seine möglichen Veränderungen entscheidend mitbestimmen.

Tafel 2. Kerbschlagarbeit und Übergangstemperatur, ermittelt an Querproben aus Warmband (nach Tafel 1) im unverzinkten und verzinkten Zustand

Table 2. Notched bar impact energy and transition temperature, determined on transverse specimens of hot strip (according to table 1) in ungalvanized and galvanized condition

	Stahl	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Hochlage der Kerbschlag- arbeit-Temperatur-Kurve J	unverzinkt	114	110	59	128	140	137	31	109	153	24	77	94	35	59
	verzinkt	108	102	55	127	126	121	27	109	123	20	71	90	39	65
Übergangstemperatur*) °C	unverzinkt	-40	-59	-38	-72	-52	-73	-64	-62	-54	-104	-93	-65	-32	-65
	verzinkt	-40	-57	-42	-79	-50	-65	-57	-58	-42	-92	-88	-58	-33	-76

*) Bezogen auf den Mittelwert aus der Hoch- und Tieflage der Kerbschlagarbeit-Temperatur-Kurve.

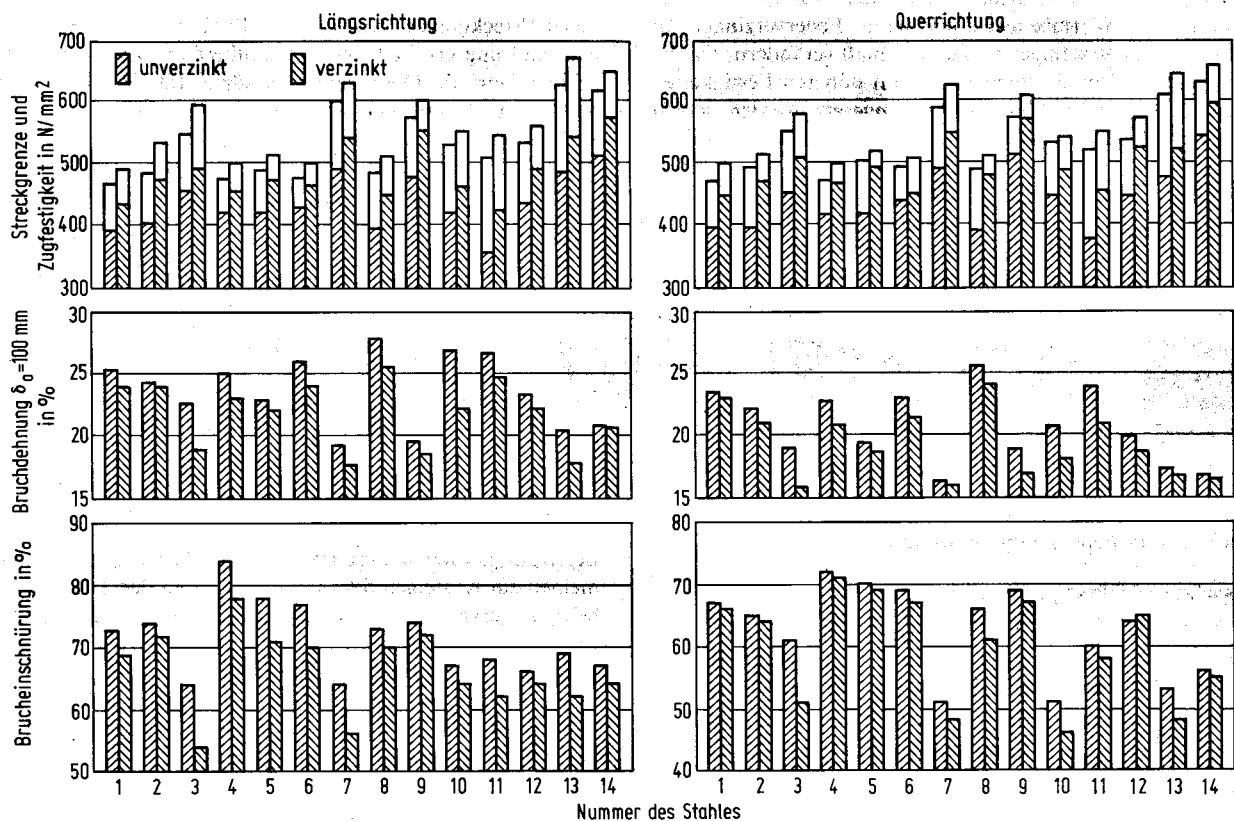


Bild 2. Veränderung der mechanischen Eigenschaften beim Verzinken (nach Tafel 1)

Figure 2. Changes of the mechanical properties during galvanizing (according to table 1)

Die Ergebnisse der Kerbschlagbiegeversuche lassen erkennen, daß die Zähigkeitseigenschaften dieser mikrolegierten Stähle durch das Feuerverzinken ebenfalls nur wenig beeinflusst werden. Dies zeigen die in *Tafel 2* wiedergegebenen Werte für die Hochlage der Kerbschlagarbeit-Temperatur-Kurve und die Übergangstemperatur im unverzinkten und verzinkten Zustand. Für die Übergangstemperatur ist dabei die Temperatur des Mittelwertes der Kerbschlagarbeiten der Hoch- und Tieflage gewählt worden. Im einzelnen zeigt sich, daß die Zähigkeit in Querrichtung in der Hochlage größer ist, wenn das Gefüge des Stahles keine oder nur geringe Andeutungen einer Zeilenbildung erkennen läßt. Der Übergang von der Tieflage zur Hochlage geschieht hier in einem verhältnismäßig engen Temperaturgebiet, wie es die *Bilder 3a und b* als Beispiele

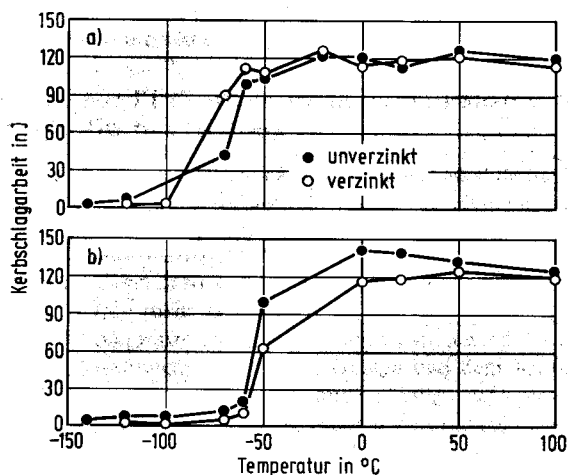


Bild 3. Kerbschlagarbeit-Temperatur-Kurve für den Stahl a) 4 und b) 5 (nach *Tafel 1*)

Figure 3. Notched bar impact energy-temperature curve for steel a) 4 and b) 5 (according to *table 1*)

zeigen. Bei stärker ausgeprägter Zeiligkeit des Gefüges sinkt die Kerbschlagarbeit im allgemeinen ab, und der Übergang von der Tief- zur Hochlage erstreckt sich über einen weiten Temperaturbereich, wobei man bei einzelnen Stählen kaum von einem ausgeprägten Übergang sprechen kann (*Bilder 4a und b*). Nur bei dem nichtmikrolegierten Vergleichsstahl 11 (St 52-3) findet man trotz eines stark zeilenförmigen Gefüges noch einen verhältnismäßig eindeutigen Übergang der Kerbschlagarbeit von der Tief- in die Hochlage (*Bild 5*).

Diese Ergebnisse, die mit anderen Untersuchungen an nicht-mikrolegierten Stählen übereinstimmen³⁾, zeigen, daß die Zähigkeitseigenschaften nur unwesentlich durch das Verzinken beeinflusst werden. Bei Stählen mit einem deutlichen Übergang für die Kerbschlagarbeit von der Hoch- zur Tieflage wird die Übergangstemperatur zwar geringfügig zu höheren Temperaturen verschoben, doch liegt sie hier sowohl im unverzinkten als auch im verzinkten Zustand so tief, daß die

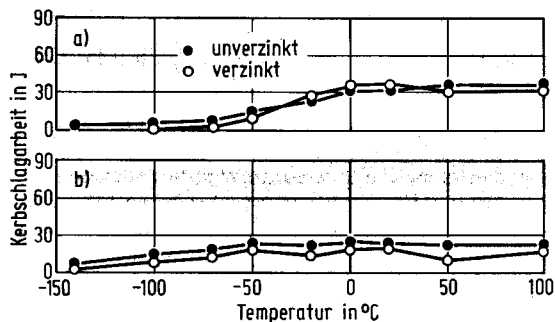


Bild 4. Kerbschlagarbeit-Temperatur-Kurve für den Stahl a) 13 und b) 10 (nach *Tafel 1*)

Figure 4. Notched bar impact energy-temperature curve for steel a) 13 and b) 10 (according to *table 1*)

Gebrauchseigenschaften dieser Stähle dadurch nicht beeinträchtigt werden. Bei Stählen mit sehr flachem Übergang für die Kerbschlagarbeit in Querrichtung von der Hoch- zur Tieflage verändert sich die Übergangstemperatur durch das Feuerverzinken nicht.

* * *

Die Untersuchungen wurden mit Mitteln der Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschungsvereinigungen unterstützt sowie mit Mitteln aus dem Forschungsfonds des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute durchgeführt, wofür auch an dieser Stelle gedankt sei.

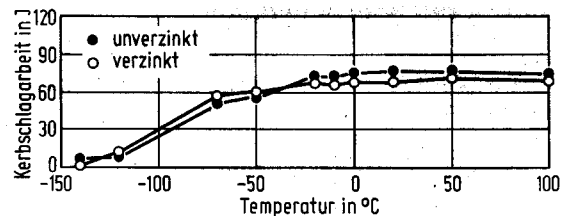


Bild 5. Kerbschlagarbeit-Temperatur-Kurve für den Stahl 11 (nach *Tafel 1*)

Figure 5. Notched bar impact energy-temperature curve for steel 11 (according to *table 1*)

Zusammenfassung

An Warmband in Dicken zwischen 6 und 12 mm aus 13 mikrolegierten Stählen, legiert mit Niob, Titan oder Vanadin sowie mit Kombinationen dieser Elemente, und zu Vergleichszwecken in einem Fall aus St 52-3 wurden die mechanischen Eigenschaften im Zugversuch und die Kerbschlagarbeit für den unverzinkten und den verzinkten Zustand geprüft. Die Verzinkung wurde bei 450°C mit einer Tauchdauer von 5 min durchgeführt.

Durch die Erwärmung auf 450°C beim Feuerverzinken verändern sich die mechanischen Eigenschaften mikrolegierter perlitarmer und perlitfreier Feinkornstähle. Dabei wird die Streckgrenze um 15 bis 20% und die Zugfestigkeit um 5 bis 16% erhöht, während Bruchdehnung und Brucheinschnürung gleichzeitig etwas herabgesetzt werden. Die Zähigkeitseigenschaften quer zur Walzrichtung werden dabei ebenfalls geringfügig verändert, wobei die Werte für die Hochlage der Kerbschlagarbeit etwas herabgesetzt werden und die Übergangstemperatur geringfügig zu höheren Temperaturen verschoben wird.

Summary

On hot strip in gages between 6 and 12 mm of 13 steels microalloyed with niobium, titanium or vanadium and also combination of these elements and for comparison in one case of St 52-3, the mechanical properties in the tension test and the notched bar impact energy have been tested for ungalvanized and galvanized condition. Galvanization was made at 450°C with 5 min immersion time.

Heating to 450°C during hot dip galvanizing changes the mechanical properties of microalloyed low-pearlite or pearlite-free fine-grained structural steels. The yield point is increased by 15 to 20% and the tensile strength by 5 to 16%, whereas elongation and reduction of area at rupture decrease slightly. The toughness properties transverse to the rolling direction are also slightly changed, whereby the notched bar impact energy decreases to a small extent and the transition temperature is shifted by a few degrees towards higher temperatures.

Schrifttum

- 1) Horstmann, D.: Stahl u. Eisen 83 (1963) S. 1467/77.
- 2) Horstmann, D.: Stahl u. Eisen 86 (1966) S. 1481/86.
- 3) Rädiker, W.: Stahl u. Eisen 82 (1962) S. 1520/27.