

Härteprüfung

Bedeutung und Grenzen der Härteprüfung in der Galvanotechnik

Von M. Gugau, F. W. Hirth und H. Speckhardt

Grafenstraße 2
D-64283 Darmstadt

1 Allgemeines

Die Härteprüfung galvanisch abgeschiedener metallischer Oberzüge wird als (quasi) zerstörungsfreies Verfahren zur Ermittlung einer physikalischen Werkstoffeigenschaft herangezogen, aus der auf das Verhalten z. B. bei Verschleiß-, Erosions- oder Kavitationsbeanspruchung geschlossen wird. (Der Begriff "zerstörungsfrei" ist nur haltbar, wenn die jeweiligen Prüfeindrücke, z. B. wegen ihrer geringen Größe, in Funktionsflächen nicht stören oder wenn eine ebenso aussagekräftige Härteprüfung in Oberflächenbereichen durchgeführt werden kann, die nicht zur Funktionsfläche gehören. Immer dann, wenn die Härte, z. B. von Überzügen, im metallographischen Schliff gemessen werden muß, arbeitet das Verfahren selbstverständlich nicht mehr zerstörungsfrei.) Die Prüfung selbst, aber auch die Interpretation des Ergebnisses, gibt immer wieder Anlaß zu Diskussionen über die Aussagefähigkeit der Meßwerte und ihre Bedeutung im Hinblick auf die Erfüllung ganz bestimmter Anforderungen an den betreffenden Überzug. Nachfolgend sollen die wesentlichen Sachverhalte mitgeteilt werden, die bei der Härteprüfung galvanisierter Produkte zu beachten sind.

2 Definition

Härte ist der Widerstand eines Werkstoffs gegen das Eindringen eines anderen Körpers. Beim Einleiten einer mechanischen Kraft in ein Werkstück in Verbindung mit dem Auftreten einer Hertzschen Flächenpressung kann sich der Werkstoff lokal elastisch oder elastisch/plastisch (in Sonderfällen auch nur plastisch) verformen. Je geringer - bei gegebener Flächenpressung - diese Verformung ist, desto höher ist seine Härte. Der Grad der Verformung hängt ab von der Höhe der auf die Oberfläche wirkenden Kraft, von der Geschwindigkeit der Krafteinleitung, von der Dauer der Krafteinwirkung, von der Geometrie und Härte des Körpers, über den die Kraft eingeleitet wird, von der Zusammensetzung und Struktur des Werkstückstoffs, seiner Reinheit, seinem Gefügestand sowie von seiner Dicke im Bereich der Krafteinleitungsstelle (Ausbrechen, Ausweichen oder Abstützen auf einer härteren Unterlage).

Daraus folgt, daß es sich bei dem Härtewert um eine technologische Größe handelt, die im wesentlichen als Vergleichswert angesehen werden muß, und bei deren Ermittlung stets in gleicher Weise vorgegangen werden muß, um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse sicherzustellen. Außerdem muß unterschieden werden nach einem statisch und nach einem dynamisch ermittelten Härtewert. Hieraus ergeben sich die verschiedenen Prüfverfahren.

3 Prüfverfahren

Die üblicherweise in der Technik verwendeten Härteprüfverfahren sind genormt [1]. Sie werden unterteilt in quasi statische und in dynamische Verfahren. Bei der statischen Prüfung wird ein Eindringkörper mit definierter niedriger Geschwindigkeit auf die Prüffläche abgesenkt und wirkt für eine definierte Zeit mit konstanter Kraft auf diese ein, bevor er - zum Ausmessen des verbliebenen Eindrucks (Bestimmung der Eindruckfläche oder der Eindringtiefe) als Folge des Anteils plastischer Verformung des zu prüfenden Werkstoffs - wieder angehoben wird. Die dynamische Prüfung arbeitet z. B. nach dem Rückprallprinzip; diese Verfahren sind wegen der stark streuenden Meßwerte nicht genormt und kaum gebräuchlich.

Für die Untersuchung galvanisch abgeschiedener metallischer Oberzüge hat sich besonders die Härteprüfung nach Vickers durchgesetzt, bei der eine regelmäßige Diamantpyramide mit quadratischer Grundfläche und einem Spitzenwinkel von 136° verwendet wird. Die Prüflast von z. B. 50 bis 1 000 N, die normalerweise aufgebracht wird, ist für die Prüfung von Überzügen in der Regel zu hoch (zu große Eindrücke nach Fläche und Tiefe bezogen auf die Schichtdicke), weshalb sich hier die Kleinlasthärteprüfung mit Prüflasten von z. B. 0,1 bis 20 N eingeführt und bewährt hat, wie sie in der Metallkunde zur Bestimmung der Härte einzelner Kristallite oder Einschlüsse herangezogen wird. Das Ausmessen der Eindrücke erfolgt dabei in speziellen Auflichtmikroskopen mit integrierter Belastungseinrichtung.

Definitionsgemäß hat die Vickershärte die Dimension einer Spannung (Kraft/Fläche). Vor der Einführung des internationalen Maßsystems gab man die Werte deshalb in kp/mm^2 an. Durch Umstellung von kp in N (Newton) als Maßeinheit für die Kraft trat einige Verwirrung ein, weshalb vereinbart wurde: die Härte wird so angegeben, als gäbe es die Dimension kp/mm^2 noch, diese wird aber weggelassen; Beispiel: die Härte einer Hartchromschicht, gemessen mit einer Prüflast von 100 p, betrug nach früherer Schreibweise beispielsweise $\text{HVO},1 = 800 \text{ kp}/\text{mm}^2$ - heute heißt das $800 \text{ HV } 0,1$, wobei selbstverständlich noch dieselbe Prüflast verwendet wird wie früher.

Bei der Härteprüfung nach Vickers wird die Fläche des verbleibenden Pyramideneindrucks durch Ausmessen der beiden Eindruckdiagonalen (projiziert in die Ebene parallel der Prüflingsoberfläche) bestimmt. Die Meßgenauigkeit des Kleinlasthärteprüfgerätes beträgt $\pm 0,5 \text{ pm}$ (bedingt durch die Optik des Meßmikroskopes). Deshalb sollte zur Verbesserung der Genauigkeit des Meßergebnisses eine Prüflast verwendet werden, die bei gegebener Härte zu möglichst großen Eindrücken führt. Auch wird dann ein größeres Werkstoffvolumen in die Prüfung mit einbezogen, als das bei kleineren Eindrücken der Fall ist. Diese jedoch müssen dann angestrebt werden, wenn dünne Oberzüge vorliegen, Härteverläufe ermittelt werden sollen oder die Härte von Gefügebestandteilen zu bestimmen ist.

4 Wahl der Meßstelle und Probenvorbereitung

Die Härteprüfung nach Vickers ist (unter Berücksichtigung der Einschränkungen in Abschnitt 1) als zerstörungsfreie Prüfung anzusehen, da - besonders bei der Kleinlasthärteprüfung - nur Eindrücke mit Abmessungen im μm -Bereich auftreten. Sollten sie dennoch in einer Funktionsfläche stören, dann muß eine Meßstelle ausgewählt werden, die von der

Werkstoffbehandlung und Fertigung her mit Sicherheit die gleiche Härte aufweist wie die Funktionsfläche. Andernfalls muß mit entsprechenden Vergleichsproben gearbeitet werden.

Die Härteprüfung kann dann nicht zerstörungsfrei vorgenommen werden, wenn sich die Härte in den Werkstoff hinein mit steilem Gradienten ändert, weil dann die Meßwerte durch ein Nachgeben des darunter liegenden weicheren Werkstoffs oder durch Stützwirkung eines härteren Untergrundes verfälscht werden können. Die Eindruckdiagonale darf deshalb nicht größer sein als $\frac{2}{3}$ der Dicke der zu prüfenden Oberflächenzone. Gleiches gilt für die Härteprüfung von Überzügen (Schichtdicke $\geq 1,5 \times$ Diagonallänge (!) bei Prüfung von der Oberfläche her).

Läßt sich die Eindruckdiagonale nicht mehr verkleinern (Verringern der Prüfkraft), weil dann der Meßfehler zu groß würde, oder ist die Dicke der Randzone gleicher Härte unbekannt, dann muß die Härte im metallographischen Schliff senkrecht zur Werkstückoberfläche bestimmt werden. Hierbei besteht nun - bei dünnen Randzonen oder Schichten die Gefahr, daß der Werkstoff im Eindruck nach außen (zur Schluffeinbettung) oder zum Grundwerkstoff hin ausbricht oder von dort seitlich abgestützt wird, was ebenfalls wieder zu Fehlmessungen führt. Dies allerdings wird sofort erkannt durch entsprechend asymmetrische Ausbildung des Eindrucks. Die Dicke einer im Querschliff zu prüfenden Zone (z. B. eines Überzugs) muß mindestens $2 \times$ Diagonallänge betragen! In Abb. 1 sind die Zusammenhänge zwischen Härte, Prüflast und erforderlicher Mindestschichtdicke von Überzügen zusammengestellt (nach [2]).

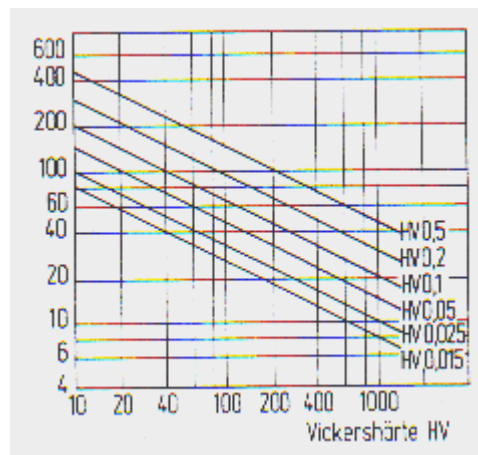


Abb. 1: Erforderliche Mindestschichtdicke von Überzügen in Abhängigkeit von ihrer Härte und der gewählten Prüflast (nach [2]).

Die größte Sicherheit hinsichtlich der Zuverlässigkeit der Meßergebnisse bietet das Arbeiten mit dem metallographischen Schliff. Dies gilt besonders für die Untersuchung metallischer (also z. B. galvanisch oder außenstromlos abgeschiedener) Überzüge: es läßt sich eindeutig feststellen, ob die vorgenannten Anforderungen erfüllt werden und der Härteeindruck wirklich die Härte des Überzugwerkstoffes - und nur diese - wiedergibt; außerdem läßt sich - so gewünscht - gleichzeitig die Schichtstruktur im Meßbereich untersuchen.

Das zu prüfende Werkstück muß plan auf einer stabilen Unterlage aufliegen, ein metallographischer Schliff darf nicht unter der Prüfkraft nachgeben, damit der Vickersdiamant wirklich mit der eingestellten Kraft und für die eingestellte Zeit auf die Prüffläche einwirkt.

Nach Festlegen der Meßstelle muß die Probe (das Werkstück) in diesem Bereich unter Umständen besonders vorbereitet werden: die Prüffläche sollte plan und möglichst glatt vorliegen. Sie muß sauber (rückstandsfrei metallisch rein, absolut frei von Fett und Schmiermittelresten [3]) sein. Es versteht sich von selbst, daß sie metallisch blank sein muß. In einer - auch fein geschaffenen - mikroskopisch rauhen Oberfläche lassen sich kleine Eindrücke nicht mehr mit ausreichender Genauigkeit ausmessen. Dies ist besonders bei hoher Härte von Bedeutung.

Bei der Prüfflächenvorbereitung (gerade auch bei der Herstellung metallographischer Schriffe) muß außerdem darauf geachtet werden, daß keine lokale Überhitzung (Schleifen, Polieren), aber auch keine Kaltverfestigung eintritt. In beiden Fällen würde der Werkstoff lokal unzulässig verändert.

5 Durchführung der Härteprüfung

Die Anweisungen der Prüfgerätehersteller bezüglich der Bedienung, Einstellung und Kalibrierung des Gerätes müssen sorgfältig befolgt werden. Bei optischer Ausmessung z. B. der Länge der Eindruckdiagonalen bei der Härteprüfung nach Vickers ist es erforderlich, die Meßstrichdicke im Meßokular durch Anlegen gemäß Abb. 2 zu eliminieren.



Abb. 2: Anlegen des Okularstriches an den Vickersseindruck zum Eliminieren der Strichstärke (nach [2]).

6 Aussagekraft der Härtewerte

Die Härte ist mit relativ geringem Aufwand, auch an kleinen Teilen, ermittelbar. Bei bekanntem Werkstoff kann sie Rückschlüsse auf das mechanische Verhalten zulassen. So besteht für homogen aufgebaute Metalle (Werkstoffzusammensetzung und Struktur im gesamten Bauteilvolumen gleich) ein mathematischer Zusammenhang zwischen Härte und Zugfestigkeit (er kann durch Kalibrieren ermittelt werden). Mit steigender Härte nimmt in der Regel die Sprödigkeit (also der Widerstand gegen eine plastische Verformung) zu. So läßt sich bei galvanisch abgeschiedenen Überzügen die festigkeitssteigernde und verformungsbehindernde Wirkung von Badzusätzen quantitativ feststellen, die (thermische) Aushärtung z. B. von außenstromlos abgeschiedenen NiP-Legierungsüberzügen läßt sich über die Härteprüfung messend verfolgen.

Gelingt es, durch entsprechende Messungen z. B. mit Hilfe eines Biegeversuchs bis zum Aufreißen des Oberzugs, einen Zusammenhang zwischen Härte und Verformbarkeit herzustellen, dann kann - bei stets gleicher Prozeßführung - die Härte als Qualitätsmerkmal auch für die Verformbarkeit herangezogen werden.

Rückschlüsse aus der Härte auf den Verschleißwiderstand sind nur sehr bedingt zulässig. In jedem Fall muß geprüft werden, ob Ergebnisse aus einer auf die spezifischen Verschleißkriterien der Praxis abgestimmten Verschleißprüfung in irgendeiner Weise mit der Härte korrelieren. Erst wenn ein gesicherter Zusammenhang erkennbar ist, kann die Härte - für den vorliegenden Anwendungsfall - als Qualitätsmerkmal auch für den Verschleißwiderstand eingesetzt werden.

Gleiches gilt für dynamisch beanspruchte Bauteile: im allgemeinen wird mit der Härte auch die Dauerfestigkeit (glatter Teile) erhöht; gleichzeitig steigt aber die Kerbempfindlichkeit. Reißt ein Überzug wegen mangelnder Verformbarkeit schon bei elastischer Verformung des Grundwerkstoffs auf, dann wirken diese Risse als dauerfestigkeitsmindernde Kerben, eine hohe Härte des Oberzugs führt also zu einer Absenkung der Dauerfestigkeit des galvanisierten Bauteils.

Abschließend soll darauf hingewiesen werden, daß ein Vergleich von Härtewerten, die mit verschiedenen Verfahren ermittelt wurden, nur sehr bedingt zulässig ist. Nach DIN 50 150 wird eine Umwertung zwar ermöglicht (z. B. Vickershärte/Brinellhärte/Rockwellhärte), doch ist sie immer mit Fehlern behaftet, die um so größer sind, je inhomogener ein Werkstoff aufgebaut ist (das wird verständlich, wenn man die Arbeitsweisen der einzelnen Verfahren bedenkt und die daraus resultierenden Unterschiede in der - technologischen - lokalen Werkstoffbelastung). Härtewerte, die durch Kleinlasthärteprüfung nach Vickers ermittelt wurden, sollten daher grundsätzlich nicht umgewertet werden. Außerdem sollten für Vergleichsmessungen stets die gleichen Prüflasten (und selbstverständlich auch die gleichen Geräte) gewählt werden.

Literatur

1 . DIN ISO 4516 Metallische und verwandte Schichten; Mikrohärtbestimmung nach Vickers und Knoop.

DIN 51 225 T1 Werkstoffprüfmaschinen; Härteprüfgeräte mit optischer Eindruck-Meßeinrichtung; Prüfkraftbereich: 49,03 bis 29420 N.

DIN 51 225 T2 Werkstoffprüfmaschinen; Härteprüfgerät mit optischer Eindruck-Meßeinrichtung; Prüfkraftbereich: 1,961 bis <49,03 N (Kleinlastbereich).

DIN 51 303 Werkstoffprüfmaschinen; Härtevergleichsplatten für die Prüfung statischer Härteprüfgeräte.

DIN 50 133 Prüfung metallischer Werkstoffe; Härteprüfung nach Vickers; Bereich HV 0,2 bis HV 1 00.

DIN 50 351 Prüfung metallischer Werkstoffe; Härteprüfung nach Brinell.

DIN 50 103 T1 Prüfung metallischer Werkstoffe; Härteprüfung nach Rockwell Verfahren C, A, B, F.

2. Anleitung für den Kleinlasthärteprüfer Durimet der Firma E. Leitz, Wetzlar, 1961.

3. Schmeling, E.L., Die Härtemessung in der Qualitätssicherung. Metalloberfläche 43 (1989) 9, 413/416.

Zusätzlich ist interessant: DIN 50 950 Messung von Schichtdicken; Mikroskopische Messung der Schichtdicke; Querschliff-Verfahren.