

# Kristallhärte — Gefügefestigkeit — Dauerwechsellhärte

Von W. Späth, Lustadt

*(Kristallhärte und Gefügefestigkeit, erläutert am Beispiel der Schleifscheibenhärte. Weiterentwicklung zur Dauerwechsellhärte. Prüfgerät und Meßergebnisse.)*

*(Crystal hardness and structural strength are explained on the example of the grinding wheel hardness. Further development into fatigue vibration hardness. Testing apparatus and measurement results.)*

*(La dureté cristalline et densité de la structure sont expliqués par l'exemple de la dureté du disque polisseur; le développement ultérieur à la dureté de la «vibration continue»; dispositif d'essai et résultats de mesure.)*

In einem kürzlich in dieser Zeitschrift erschienenen Aufsatz wurde von H. TERTSCH (1) auf die Notwendigkeit einer scharfen Trennung zwischen Kristall- und Gefügehärte hingewiesen. Bei der Kristallhärte handelt es sich um den Widerstand, den ein Einzelindividuum, ein Einkristall, dem Eindringen des Prüfkörpers entgegensetzt. Bei der Gefügehärte, die besser als Gefügefestigkeit zu bezeichnen sei, liegt dagegen die Frage vor, wie stark oder schwach die Bindungen sind, die benachbarte Kristalle aneinander ketten. Die Kristallhärte wird durch das Begriffspaar „hart—weich“ umschlossen, die Gefügefestigkeit dagegen durch die Begriffe „locker—fest“.

Von Tertsch wird weiterhin ausgeführt, daß sehr feinkristalline (pseudoisotrope) Werkstoffe bei der Prüfung der Eindringhärte eine eindeutige Zahlengröße ergeben, und daß hier die Unterscheidung von Kristallhärte und Gefügefestigkeit unmöglich ist. Ist aber die Kristallinität des Werkstoffes deutlich, d. h. läßt sich innerhalb eines Kristallkornes der vollständige Eindruck des Prüfkörpers erzielen, dann besteht kein pseudoisotropes Verhalten und damit schaltet sich von selbst eine Prüfung der Gefügefestigkeit mit dem Härteprüfgerät aus.

Diese hier kurz umrissenen Fragen spielen eine bedeutsame Rolle auch bei der Ermittlung der so-

genannten Härte von Schleifkörpern. Auch hier steht man vor der Notwendigkeit, zwischen der Härte des Einzelkornes und der Festigkeit der Bindung zu unterscheiden. Die Prüfung der Schleifscheibenhärte kann daher als Modellbeispiel für grundsätzliche Fragen der Härteprüfung dienen. Bekanntlich beschäftigt sich ein zahlreiches Schrifttum mit diesem technisch wichtigen Problem, so daß die hier gesammelten Erfahrungen auch auf allgemeine Fragen der Härteprüfung übertragen werden können.

## Prüfung von Schleifscheiben

Ein Schleifkörper besteht aus einzelnen Schleifkörnern, die durch eine besondere Bindungsmasse mehr oder weniger fest zusammengehalten werden. Die Arbeitsweise eines Schleifkörpers hängt entsprechend von zwei Faktoren im wesentlichen ab. Das Einzelkorn soll möglichst hart sein, damit es seine Aufgabe als Werkzeug möglichst lange erfüllt. Von der Bindung dagegen müssen die beim Schneiden entstehenden dynamischen Kräfte aufgenommen werden. Ihre Festigkeit soll so gewählt sein, daß die einzelnen Körner erst dann herausbrechen, wenn deren Arbeitsfähigkeit erschöpft ist. Ist die Festigkeit der Bindung zu hoch, so werden die Körner auch dann noch festgehalten, wenn diese stumpf geworden sind.

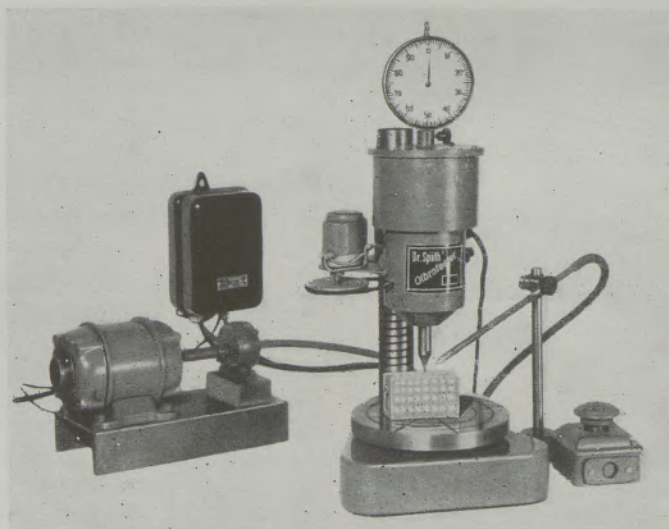


Abb. 1

Prüfgerät „Vibrotester“ zur Untersuchung der Dauerwechsellhärte



Die Scheibe ist „zu hart“, sie muß immer von neuem abgezogen werden, um die abgenutzten Körner zu beseitigen und neue Körner zum Eingriff zu bringen. Ist die Bindung dagegen zu „locker“, so fallen die einzelnen Körner heraus, ehe ihre Arbeitsfähigkeit erschöpft ist; die Scheibe ist „zu weich“. In diesem Fall ist wohl Selbstschärfung vorhanden, doch ist der Scheibenverbrauch hoch (2).

Schon im Jahre 1922 erließ der Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken ein Preisausschreiben zur Schaffung eines Prüfgeräts, das die Härte von Schleifkörpern erfassen soll. Hierbei wird gesagt, daß unter „Härte“ die Festigkeit des Bindemittels verstanden werden soll; es ist also die Kraft zu messen, die aufzuwenden ist, um die Körner aus der

Der Verbraucher von Schleifscheiben hegt die verständliche Erwartung, daß Scheiben gleicher Bezeichnung unter gleichen Arbeitsbedingungen sich gleichartig verhalten. Außerdem sollen die einzelnen Scheiben in sich homogen sein. In dieser Erwartung wird er noch bekräftigt durch Angaben, wonach geübte Prüfer sogar Bruchteile dieser Buchstabengrade mit Sicherheit feststellen könnten. Demgegenüber wird aber in den Normen der verschiedenen Länder immer wieder betont, daß es sich bei solchen Buchstaben-skalen nur um eine Norm für die Bezeichnung handeln könne. Schleifscheiben mit gleicher Bezeichnung von verschiedenen Herstellern geliefert, brauchen nicht und werden wahrscheinlich auch nicht die gleiche Schleifleistung zeigen.

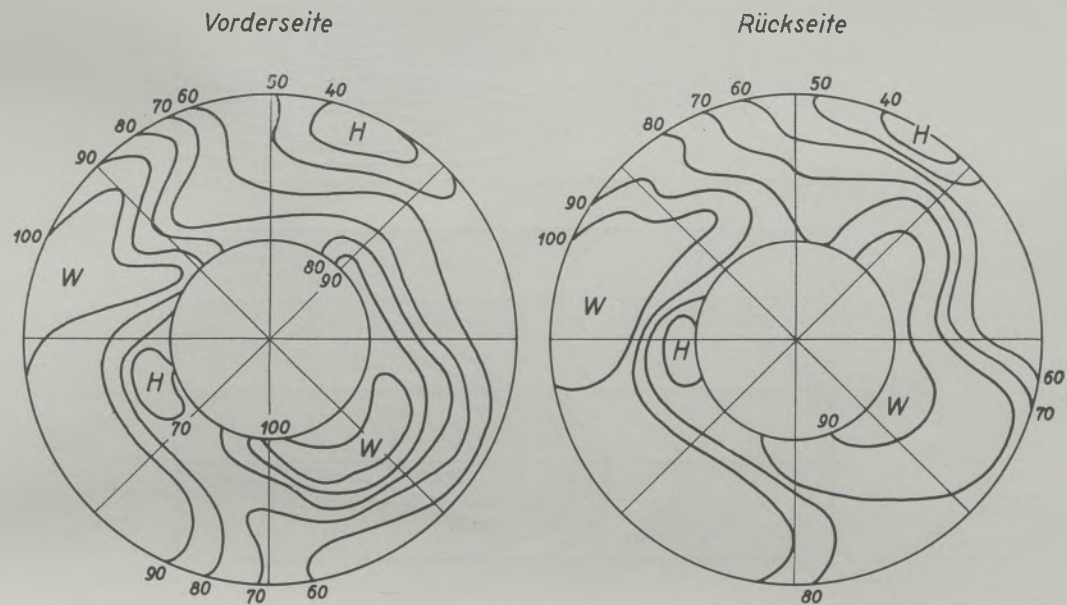


Abb. 2

Linien gleicher Eindringtiefe für Vorder- und Rückseite einer Scheibe

Bindung zu lösen. Seitdem wurden zahlreiche Vorschläge zur Ermittlung der Schleifscheibenhärte gemacht, wobei durch Ritzen, Bohren, Schaben, Einrollen, Sandstrahlen u. s. f. ein Maß für die Festigkeit des Bindemittels gesucht wird. Bei sehr feinkörnigen Schleifkörpern, z. B. Honsteinen, die also als pseudoisotrop anzusehen sind, wird der übliche Eindruckversuch nicht ohne Erfolg benutzt; mit wachsender Korngröße wird jedoch schnell die obere Grenze erreicht.

Trotz zahlreichen Bemühungen ist auch heute noch die Prüfung von Hand weit verbreitet, wobei mit Hilfe eines Stichels die Anstrengung beurteilt wird, die zur Herauslösung einzelner Körner aus ihrer Bindung aufzubringen ist. Damit entfällt aber die Möglichkeit einer zahlenmäßigen Bestimmung der Härte. Man begnügt sich daher heute mit der Kennzeichnung durch eine Buchstabenfolge. Nach der bekannten Norton-Skala werden die Härtegrade E, F, G für sehr weiche, bis zu U, W, Z für sehr harte Körper benutzt.

### Dauerwechsellhärte

Bei den üblichen Festigkeitsprüfungen von Werkstoffen wird das Prüfstück bis zum Bruch belastet. Bekanntlich geben die so gewonnenen statischen Festigkeitswerte gewisse Vergleichswerte, doch sind sie nicht im Stande, das tatsächliche Verhalten unter den Belastungen des Betriebes zu kennzeichnen. In den letzten Jahrzehnten ging man daher immer mehr zum dynamischen Dauerversuch über.

An dieser Entwicklung hat merkwürdigerweise der Härteversuch bisher nicht teilgenommen. Hier wird meistens in einem einzigen Belastungsgang eine gewaltsame Verletzung der Oberfläche erzeugt. Im praktischen Betrieb werden die Oberflächen von Werkstücken aller Art aber nicht gewaltsam zerstört, vielmehr müssen wesentlich kleinere, aber sehr oft wiederholte Beanspruchungen aufgenommen werden, unter deren Wirkung sich ganz allmählich eine Schädigung einstellt. Insbesondere werden bei einer arbeitenden Schleifscheibe die einzelnen Körner nicht



gewaltsam aus ihrer Bindung herausgerissen, sie werden vielmehr ganz allmählich durch zahlreiche kleine Impulse in ihrer Bindung gelockert.

Die Schlußfolgerung ist zwingend, daß maßgebliche Kennwerte für die Bindefestigkeit, mit der die einzelnen Kristalle in einem Konglomerat festgehalten werden, nur im Dauerversuch zu ermitteln sind.

eine Rolle. Auch hier kann man also von einer „Gestaltfestigkeit“ sprechen.

Ähnlich wie im üblichen Dauerversuch streng genommen eine ganze Wöhlerkurve zur Klarlegung der Verhältnisse aufzunehmen ist, so muß — wenigstens bei grundsätzlichen Untersuchungen — auch der Dauerhärteversuch mit verschiedenen Belastungen

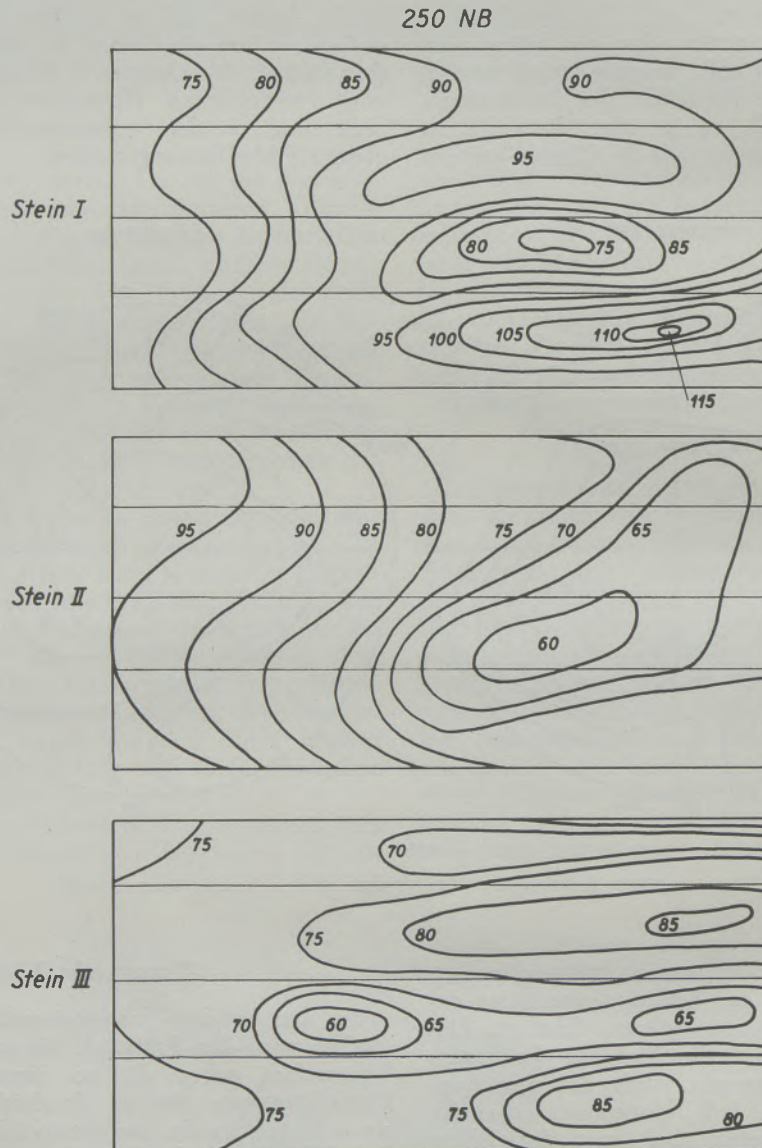


Abb. 3

Linien gleicher Eindringtiefe für drei verschiedene Honsteine gleicher Bezeichnung

Nur so können die vielfältigen Einflüsse erfaßt werden, die die Haltbarkeit eines Kornes in der Bindung bestimmen. erinnert sei z. B. an die weitgehende Beeinflussung der Ergebnisse von Dauerversuchen an üblichen Probestücken durch die Kerbwirkung. Entsprechend wird bei Dauerhärteversuchen nicht nur ein Materialwert für die Bindungsmasse selbst erfaßt, vielmehr spielt die räumliche Verteilung dieser Masse, die Porosität, Struktur, die Gestalt des Kornes u.s.f.

durchgeführt werden. Unter hohen Belastungen werden verhältnismäßig wenige Lastwechsel ausgehalten; ihre Zahl steigert sich immer mehr, je kleiner die Beanspruchung wird. Schließlich wird eine kritische Beanspruchung erreicht, die keine Lockerung mehr herbeizuführen vermag, so oft sie auch wiederholt werden mag. Ob ein Gefüge „fest“ oder „locker“ ist, kann nur in bezug auf eine bestimmte Beanspruchung entschieden werden. Es mag Gefüge geben, die gegen



hohe Beanspruchungen fester sind als andere; unter kleineren Beanspruchungen kann sich dieses Verhältnis umkehren (3).

Zur Ermittlung dieser dynamischen „Dauerwechsellhärte“ wurde ein Gerät „Vibrotester“ entwickelt (Abb. 1). Ein Meißel wird hierbei senkrecht auf die zu prüfende Oberfläche gesetzt. Nach Einschalten des Geräts führt dieser Meißel sehr schnelle Schwingungen in senkrechter Richtung aus und rotiert hierbei gleichzeitig um die Längsachse. Nach wenigen Sekunden sind bereits mehrere Tausend Lastwechsel aufgebracht, unter deren Wirkung die einzelnen Körner allmählich aus ihrer Bindung gelöst werden. Die Bindung wird hierbei zu feinstem Staub „zerschallt“, so daß der Meißel allmählich in die Oberfläche einsinkt. Die Tiefe dieses Einsinkens, ablesbar an einer Meßuhr, gibt ein quantitatives Maß für die „Weiche“ des untersuchten Körpers. Ein Relais setzt die Prüfung nach Ablauf einer bestimmten Zeit, etwa 5 bis 10 Sekunden, automatisch still. Ein kleines Gebläse dient zur Beseitigung des entstehenden Staubes aus dem Bohrloch.

**Einige Versuchsergebnisse**

Mit diesem Gerät wurden zahlreiche Versuche an verschiedenen Stoffen durchgeführt. Einige charakteristische Beispiele an Schleifscheiben, Honsteinen und Schleifkohlen seien im folgenden kurz beschrieben. Bei allen diesen Stoffen handelt es sich um künstliche Produkte, die im Laufe ihrer Herstellung einen Mischprozeß und einen Brennprozeß durchmachen. Von vornherein ist zu erwarten, daß kleine, physikalische Variationen, die bei diesen Prozessen unvermeidlich sind, sich in verhältnismäßig großen Schwankungen der Dauerwechsellhärte bemerkbar machen, so daß auch im praktischen Betrieb entsprechende Schwankungen auftreten müssen.

Um diesen Fragen nachzugehen, wurden zahlreiche Einzelmessungen über die ganze Oberfläche verteilt angesetzt. Anschließend werden die Stellen gleicher Eindringtiefen miteinander verbunden, so daß diese Linien gleicher Eindringtiefe ein anschauliches Bild für die Verteilung der Härteeigenschaften ergeben.

Bemerkenswert ist ferner, daß sich bei diesen Versuchen zu Beginn der Meißel lediglich auf der Oberfläche dreht, ohne jedoch einzusinken. Erst wenn die entsprechende Anzahl von Lastwechseln aufgebracht ist, die zu einer Lockerung der an der Oberfläche liegenden Körner führt, werden diese Körner aus der Bindung gelöst. Anschließend sinkt der Meißel mehr oder weniger gleichmäßig weiter ein, da nunmehr die darunter liegenden Körner bereits durch vorangehende Belastung in ihrer Bindung gelockert wurden. Sind die Körner sehr groß, wie dies z. B. bei sehr grobkörnigen Schleifscheiben der Fall ist, so werden die Körner nicht als Ganzes aus ihrer Bindung gelöst; diese werden vielmehr ihrerseits „zerschallt“ und werden aufgesplittert, um dann als Einzelstücke aus der Bindung herauszufallen.

In Abb. 2 ist eine Schleifscheibenuntersuchung dargestellt. Die eingeschriebenen Zahlen bedeuten die Eindringtiefe des Meißels nach 10 Sekunden Schwingdauer. Links ist die Vorderseite, rechts die Rückseite

der Scheibe dargestellt. Offensichtlich ist die Härteverteilung, trotz ihres unruhigen Verlaufes für beide Seiten im wesentlichen gleich. Es zeigen sich jeweils zwei weiche Stellen, in denen die Weiche bis zu etwa 100 Einheiten ansteigt. Hierin sind je zwei harte Stellen eingelagert, in denen die Weiche bis zu 40 Einheiten absinkt. Die harten und weichen Zonen gehen somit durch die ganze Scheibe hindurch. Bemerkenswert ist ferner, daß trotz diesen verhält-

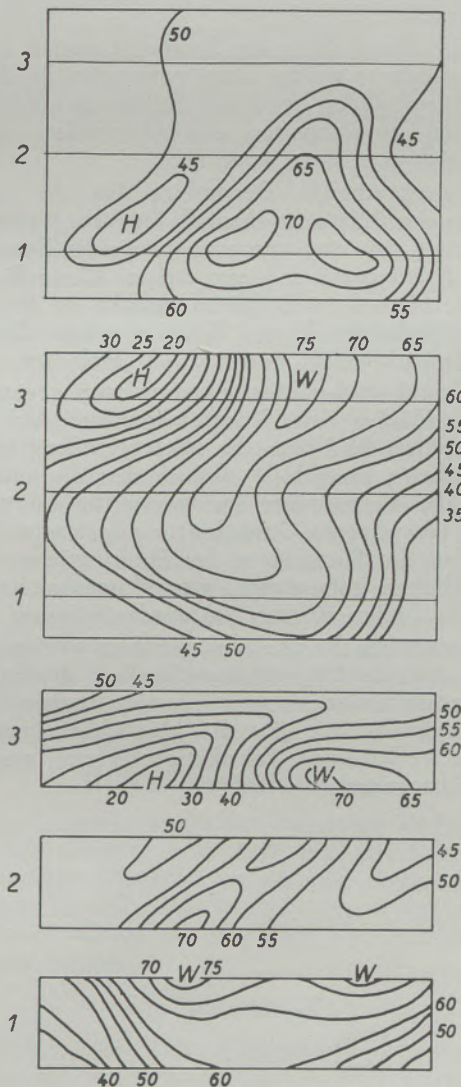


Abb. 4

Linien gleicher Eindringtiefe für Vorder- und Rückseite einer Schleifbürste (Kohle). Die drei unteren Skizzen stellen für drei verschiedene Querschnitte die innere Verteilung dar

nismäßig großen Schwankungen die Mittelwerte der Eindringtiefen für beide Seiten bis auf wenige Prozent übereinstimmen. Dieses Verhalten wurde immer wieder beobachtet.

In Abb. 3 sind drei Honsteine der gleichen Bezeichnung dargestellt. Die Seitenflächen der Steine wurden hierbei abgewickelt und die Linien gleicher Eindringtiefe wurden auch hier eingezeichnet. Die Schwankungen sind wesentlich geringer, doch erge-



ben sich aber auch hier keineswegs gleichmäßige Verteilungen.

Schließlich sei in Abb. 4 eine Durchmusterung für eine Schleifkohlenbürste gezeigt. Diese Bürste ist gekennzeichnet durch einen Bürstendruck von  $350 \text{ g/cm}^2$ , eine Strombelastung von  $62 \text{ A/cm}^2$  und eine Kollektorlaufgeschwindigkeit von  $5 \text{ m/s}$ . Die Kohle ist verhältnismäßig weich, so daß bereits nach einer Schwingdauer von nur 5 Sekunden genügend hohe Eindringtiefen, ebenfalls in  $1/100 \text{ mm}$  gemessen, erzielt werden.

Auf der oberen Seite der Bürste ist gemäß Abb. 4 eine ausgedehnte weiche Zone vorhanden, in der an zwei nebeneinander liegenden Stellen die Maximalwerte von 70 Einheiten erreicht werden. Links schließt sich eine harte Zone an.

Eine entsprechende Darstellung für die andere Flachseite der Bürste ist ebenfalls in Abb. 4 gebracht. Hier breitet sich eine ausgedehnte weiche Zone von oben nach unten aus, in deren tiefster Rinne die Eindringtiefe bis auf 75 Einheiten absinkt. In der links sich anschließenden harten Zone erreichen die Eindringtiefen schließlich nur noch 20 Einheiten.

Auf Grund solcher Messungen an zwei gegenüberliegenden Flächen eines Körpers kann man sich auch ein ungefähres Bild über die Härteverteilung im Innern machen. In Abb. 4 sind in den drei unteren Skizzen die Verteilungen im Innern für die mit 1, 2 und 3 bezeichneten Querschnitte aufgetragen. Hierzu werden die Einzelwerte der Eindringtiefen längs beider Flächen aufgetragen, worauf wenigstens ungefähr die Linien eingetragen werden können.

Diese wenigen Beispiele mögen hier genügen. Sie dürften die vielfältige Anwendbarkeit dynamischer Dauerwechsellhärtemessungen gezeigt haben. Ihre hohe Empfindlichkeit gibt die Möglichkeit, mannigfaltigen, verborgenen Fabrikationsfehlern, systematisch nachzugehen.

### Zusammenfassung

Ähnlich der Entwicklung des statischen Belastungsversuchs zum dynamischen Dauerversuch muß auch der statische Eindruckversuch zur Ermittlung der Härte zum dynamischen Dauerwechsellhärteversuch weiter entwickelt werden. Ein entsprechendes Versuchsgerät „Vibrotester“ wird beschrieben. Einige Meßreihen an Schleifscheiben, Honsteinen und Kohlenbürsten für Elektromotore werden dargestellt.

### Summary

Similarly to the development of the static load test into the dynamic fatigue test, the static indentation test for the determining of hardness must be developed into the dynamic fatigue vibration hardness test. An adequate testing device, i. e. the „Vibrotester“ is described. Several series of test results on grinding wheels, hones and carbon brushes for electric motors are described.

### Résumé

Analogue au développement de l'essai statique sous charge l'indentation statique pour déterminer la dureté doit être développé à l'essai de dureté de la vibration continue. Un dispositif approprié d'essai à savoir le „vibrotester“ est décrit. Plusieurs séries d'essai des disque polisseur, hones et des balais en charbon pour moteurs électriques sont décrites.

### Literaturverzeichnis

1. Tertsch, H., Mikrohärte-Prüfung und Praxis, Radex-Rundschau 1953, 126–128.
2. Späth, W., Physik der Schleifscheibenhärte. Werkstattstechnik und Betrieb, 37 (1943), 100/04.
3. Späth, W., Einige Bemerkungen zur Härte von Schleifkörpern, Werkstattst. u. Maschinenbau 41 (1951), 51/53.