

DIN EN ISO 20502

ICS 81.060.30

Einsprüche bis 2015-12-02
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 1071-3:2005-10

Entwurf

**Hochleistungskeramik –
Bestimmung der Haftung von keramischen Schichten mit dem Ritztest
(ISO 20502:2005+Cor 1:2009);
Deutsche und Englische Fassung FprEN ISO 20502:2015**

Fine ceramics (advanced ceramics, advanced technical ceramics) –
Determination of adhesion of ceramic coatings by scratch testing
(ISO 20502:2005+Cor 1:2009);
German and English version FprEN ISO 20502:2015

Céramiques techniques –
Détermination de l'adhérence des revêtements céramiques par essai de rayure
(ISO 20502:2005+Cor 1:2009);
Version allemande et anglaise FprEN ISO 20502:2015

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2015-10-02 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal des DIN unter www.entwuerfe.din.de bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nmp@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/stellungnahme oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP), 10772 Berlin (Hausanschrift: Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin).

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 71 Seiten

DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP)

Nationales Vorwort

Der Text von ISO 20502:2005 einschließlich Cor 1:2009 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 206 „Fine ceramics“ der Internationalen Organisation für Normung (ISO) erarbeitet und als FprEN ISO 20502:2015 durch das Technische Komitee CEN/TC 184 „Hochleistungskeramik“ übernommen, dessen Sekretariat vom DIN gehalten wird.

Zu DIN EN 20502 gibt es kein Arbeitsgremium bei DIN, da seitens der deutschen Fachöffentlichkeit kein Interesse an diesem Normungsthema bekundet wurde.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung der FprEN ISO 20502 beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Für die in diesem Dokument zitierten Internationalen Normen wird im Folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen hingewiesen:

ISO 4288	siehe DIN EN ISO 4288
ISO 6508-2	siehe DIN EN ISO 6508-2
ISO/IEC 17025	siehe DIN EN ISO/IEC 17025

Änderungen

Gegenüber DIN EN 1071-3:2005-10 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Übernahme der ISO 20502:2005 einschließlich des Corrigendums 1:2009.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 4288, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren — Regeln und Verfahren für die Beurteilung der Oberflächenbeschaffenheit*

DIN EN ISO 6508-2, *Metallische Werkstoffe — Härteprüfung nach Rockwell — Teil 2: Überprüfung und Kalibrierung der Prüfmaschinen und Eindringkörper*

DIN EN ISO/IEC 17025, *Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien*

Hochleistungskeramik — Bestimmung der Haftung von keramischen Schichten mit dem Ritztest (ISO 20502:2005+Cor 1:2009)

Céramiques techniques — Détermination de l'adhérence des revêtements céramiques par essai de rayure (ISO 20502:2005+Cor 1:2009)

Fine ceramics (advanced ceramics, advanced technical ceramics) — Determination of adhesion of ceramic coatings by scratch testing (ISO 20502:2005+Cor 1:2009)

ICS:

Deskriptoren

Dokument-Typ: Europäische Norm
Dokument-Untertyp:
Dokument-Stage: einstufiges Annahmeverfahren
Dokument-Sprache: D
STD Version 2.5a

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort.....	3
1 Anwendungsbereich	4
2 Normative Verweisungen	4
3 Kurzbeschreibung	4
4 Prüfeinrichtung und Materialien.....	5
4.1 Ritzprüfgerät.....	5
4.2 Diamantstift	5
5 Probenvorbereitung.....	6
5.1 Allgemeine Anforderungen.....	6
5.2 Oberflächenrauheit, Welligkeit und horizontale Ausrichtung.....	6
5.3 Reinigung der Probe	6
5.4 Für eine Prüfung relevante Parameter des Systems Beschichtung/Grundwerkstoff	6
6 Durchführung der Prüfung	7
6.1 Allgemeines.....	7
6.2 Vorbereitung der Prüfgeräte.....	7
6.3 Umgebungsbedingungen	7
6.4 Ritzvorgang	8
6.5 Bewertung der Ritzspuren und Bestimmung der kritischen Normalkraft	9
7 Wiederholpräzision und Grenzen.....	10
8 Prüfbericht.....	10
Anhang A (normativ) Verfahren zur Kalibrierung des Ritzprüfsystems	14
A.1 Einleitung.....	14
A.2 Anwendungsbereich	14
A.3 Kurzbeschreibung	14
A.4 Prüfeinrichtung	14
A.5 Kalibrierverfahren	15
A.6 Aufzeichnung der Ergebnisse	20
Anhang B (informativ) Übliche bei der Ritzprüfung auftretende Versagensarten	21
B.1 Einleitung.....	21
B.2 Durchführung	21
B.3 Ergebnisse.....	21
B.4 Schlussfolgerungen	22
B.5 Atlas der bei der Ritzprüfung auftretenden Versagensarten	22
Literaturhinweise	33

Europäisches Vorwort

Der Text von ISO 20502:2005+Cor 1:2009 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 206 „Fine ceramics“ der Internationalen Organisation für Normung (ISO) erarbeitet und als FprEN ISO 20502:2015 durch das Technische Komitee CEN/TC 184 „Hochleistungskeramik“ übernommen, dessen Sekretariat vom DIN gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zum einstufigen Annahmeverfahren vorgelegt.

Das Dokument wird EN 1071-3 ersetzen.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO 20502:2005 wurde vom CEN als FprEN ISO 20502:2015 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm beschreibt ein Verfahren zur Prüfung keramischer Beschichtungen durch Ritzen mit einem Diamantstift. Bei einer Prüfung wird auf den Stift entweder eine konstante oder zunehmende Kraft senkrecht zur untersuchten Oberfläche aufgebracht, um Adhäsions- und/oder Kohäsionsversagen des Systems Beschichtung/Grundwerkstoff zu begünstigen. Das Prüfverfahren ist für die Bewertung keramischer Beschichtungen mit Dicken bis zu 20 µm geeignet und könnte auch für die Bewertung weiterer Schichtarten und -dicken geeignet sein.

Die Internationale Norm ist für die Anwendung im Makrokraftbereich (1 N bis 100 N) vorgesehen. Die Verfahren dürfen außerdem auf weitere Kraftbereiche angewendet werden. Wenn jedoch die Normalkräfte, bei denen Schichtversagen auftritt, quantitativ bestimmt werden sollen, ist eine geeignete Kalibrierung unerlässlich.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ISO 4288, *Geometric Product Specifications (GPS) — Surface texture: Profile method — Rules and procedures for the assessment of surface texture*

ISO 6508-2, *Metallic materials — Rockwell hardness test — Part 2: Verification and calibration of testing machines (scales A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T)*

ISO/IEC 17025, *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*

3 Kurzbeschreibung

Die Ritzprüfung dient zur Bewertung der mechanischen Unversehrtheit beschichteter Oberflächen. Bei diesem Prüfverfahren werden mit einem Stift festgelegter Form (üblicherweise Diamant mit einer Rockwell-C-Geometrie) Ritzspuren erzeugt, indem der Stift mit konstanter oder zunehmender Normalkraft über die Oberfläche des zu prüfenden Systems Beschichtung/Grundwerkstoff gezogen wird (siehe Bild 1). Versagensereignisse werden mittels mikroskopischer Untersuchung der Ritzspur direkt und in einigen Fällen durch Messung der akustischen Emission und/oder Reibungskraft ermittelt.

Die treibenden Kräfte für das Versagen des Systems Beschichtung/Grundwerkstoff bei der Ritzprüfung stellen eine Kombination aus elastisch-plastischen Spannungen, die durch das Eindringen des Diamantstifts hervorgerufen werden, Reibungsspannungen und vorhandener Eigenspannung in der Beschichtung dar. Die Normalkraft, bei der Versagen auftritt, wird als kritische Normalkraft L_c bezeichnet.

ANMERKUNG 1 Anstelle von „kritische Normalkraft“ wird manchmal der Begriff „kritische Last“ verwendet. Die Verwendung des Begriffs „kritische Last“ wird abgelehnt, weil das Versagen üblicherweise eher durch das Aufbringen einer Kraft als durch eine Last ausgelöst wird.

ANMERKUNG 2 Bei einer Ritzprüfung kann bei zunehmenden Werten für die kritische Normalkraft eine Anzahl von nacheinander auftretenden Versagensereignissen der Beschichtung beobachtet werden. Ein Riss durch die gesamte Dicke der Beschichtung (Schichtdurchbruch) tritt im Allgemeinen bei geringeren Normalkräften auf, als das Ablösen der Beschichtung. Daher ist es üblich, den Beginn der Rissbildung durch die kritische Normalkraft L_{c1} zu kennzeichnen, während dem Beginn der Schichtablösung die kritische Normalkraft L_{c2} zugeordnet wird. Im Allgemeinen werden mehrere Versagensarten beobachtet und bei der Untersuchung des mechanischen Verhaltens der beschichteten Oberfläche verwendet, wobei der Beginn des n -ten Versagens die kritische Normalkraft L_{cn} festlegt (siehe Bild 2).

ANMERKUNG 3 Die kritischen Normalkräfte, bei denen Versagensereignisse auftreten, hängen nicht nur von der Haftfestigkeit der Beschichtung ab, sondern auch von anderen Parametern, z. B. Anstiegsrate der Normalkraft, Traversengeschwindigkeit, Verschleiß der Diamantspitze des Prüfstiftes sowie Rauheit von Grundwerkstoff und Beschichtung, von denen einige direkt mit dem Prüfverfahren und andere mit dem System Beschichtung/Grundwerkstoff zusammenhängen.

4 Prüfeinrichtung und Materialien

4.1 Ritzprüfgerät

Ein Ritzprüfgerät ist ein Gerät, bei dem der Stift starr gehalten wird und mit dem sowohl die Normalkraft als auch die treibende Kraft zum Erzeugen von Ritzspuren aufgebracht werden. Bild 3 zeigt eine schematische Darstellung für einen üblichen Aufbau.

ANMERKUNG 1 Im Allgemeinen werden zur Aufbringung der Normalkraft federgesteuerte Systeme eingesetzt, bei denen die Verformung einer Feder genutzt wird, um das ausgewählte Kraftprogramm zu realisieren. Magnetisch gesteuerte Krafteinleitungssysteme sind ebenfalls verfügbar.

Falls erforderlich, kann das Ritzprüfgerät mit einem Messwertaufnehmer für die akustische Emission (AE) und/oder die Reibungskraft (FF) ausgestattet sein.

ANMERKUNG 2 Obwohl diese Verfahren bei der automatischen On-line-Qualitätslenkung beschichteter Teile von Vorteil sind, können sie jedoch weder zwischen Kohäsions- und Adhäsionsversagen unterscheiden noch in allen Fällen das erste Auftreten eines Versagens erkennen. Folglich können AE- und FF-Signale nicht als zuverlässiges Mittel zur Bestimmung der kritischen Normalkräfte bei der Ritzprüfung verwendet werden. Diese Verfahren können allenfalls bei der Qualitätslenkung beschichteter Teile zu Warnzwecken eingesetzt werden, und zwar erst, nachdem eine große Anzahl von Versuchen am gleichen Beschichtungstyp zur Ermittlung der Korrelationsstatistik für eine bestimmte Versagensart durchgeführt wurden. Die mikroskopische Untersuchung der Ritzspur stellt das einzige zuverlässige Verfahren dar, um einem Versagensereignis eine gemessene kritische Normalkraft zuzuordnen.

Um die Anforderungen dieser Internationalen Norm zu erfüllen, müssen Ritzprüfgeräte den Kalibrieranforderungen nach Anhang A entsprechen.

4.2 Diamantstift

Der Diamantstift besteht aus einem starr befestigten Diamanten, der üblicherweise eine Rockwell-C-Geometrie nach ISO 6508-2 hat.

Der Stift muss regelmäßig auf Verunreinigungen und Veränderungen seiner geometrischen Form untersucht werden. Wenn bei einer höchstens 200-fachen Vergrößerung Schäden festgestellt werden, muss der Stift ausgewechselt werden (siehe Literaturhinweis [1]) und, wenn entweder Schäden oder Verunreinigungen festgestellt werden, müssen alle seit der letzten Untersuchung ermittelten Prüfergebnisse verworfen werden. Falls bei der Prüfung mit konstanter Kraft eine Zunahme der Reibkraft beobachtet wird, ist zu vermuten, dass der Prüfstift verunreinigt ist.

ANMERKUNG 1 Ungenauigkeiten der Spitzenform des Rockwell-C-Diamantstiftes sowie Herstellungsfehler sind die Hauptursache für Fehler bei der Ritzprüfung. Ein mangelhafter Prüfstift kann zu unterschiedlichen Werten für die kritische Normalkraft führen, wenn der Prüfstift in seiner Halterung gedreht wird. Um einen Verschleiß der Spitze nachzuweisen, ist die Überprüfung der Form des Prüfstiftes unerlässlich, sowohl beim Einsatz eines neuen Prüfstiftes als auch während des Gebrauchs. Verschleiß tritt im Allgemeinen in Form von Ringrissen oder Verschleißkratern auf und ist mit einem Auflichtmikroskop (> 100-fache Vergrößerung) gut zu erkennen.

ANMERKUNG 2 Es wurde ein zertifiziertes Referenzmaterial (BCR-692) entwickelt, das vom Institute of Reference Materials and Measurements, European Commission Joint Research Centre, Retieseweg, B-2440 Geel, Belgium (www.irmm.jrc.be) angeboten wird¹⁾. Dieses Material, ein mit diamantähnlichem Kohlenstoff beschichteter Grundwerkstoff, stellt drei wiederholbare Versagensereignisse bei bekannten kritischen Normalkraftintervallen dar und dient zu Verifizierungszwecken. Es kann einen guten Hinweis auf die Gesamtleistung, einschließlich Stiftzustand und Kalibrierung, bieten.

1) Diese Angabe dient lediglich der Anwenderfreundlichkeit dieser Internationalen Norm und stellt keine Bevorzugung dieses Produkts durch ISO dar.

5 Probenvorbereitung

5.1 Allgemeine Anforderungen

Es muss eine repräsentative Probe des zu prüfenden Erzeugnisses verwendet werden.

Grundwerkstoff, Grenzfläche und Beschichtung müssen über die gesamte Ritzlänge (Prüfbereich) eine möglichst große Homogenität hinsichtlich Zusammensetzung, Mikrostruktur, Dichte, Eigenspannung und Dicke aufweisen.

5.2 Oberflächenrauheit, Welligkeit und horizontale Ausrichtung

Die Oberfläche der Probe muss eine gleichmäßige statistische Rauheit aufweisen. Der Rauheitswert R_a , der nach den in ISO 4288 festgelegten Verfahren gemessen wird, darf höchstens $0,5\text{ }\mu\text{m}$ betragen.

ANMERKUNG 1 Bei Geräten mit federgesteuerter Krafteinleitung (übliche Federkonstante: $0,02\text{ N}/\mu\text{m}$) hängt die Normalkraft von der Rauheit und Welligkeit der Oberfläche ab. Ein Rauheitswert R_a von $0,5\text{ }\mu\text{m}$ kann zu Normalkraftschwankungen von $0,1\text{ N}$ führen. Schwankungen der Normalkraft unter 1 N (1% des üblichen Kraftbereiches) erfordern eine Welligkeit und/oder Abweichung von der horizontalen Ausrichtung unter $50\text{ }\mu\text{m}$.

ANMERKUNG 2 Die kritische Kraft nimmt im Allgemeinen durch Spannungskonzentrationen an den Rauheitsspitzen als auch aufgrund des bei der Reinigung rauer Grundwerkstoffe meist nur geringeren Reinigungszustandes mit zunehmender Oberflächenrauheit ab.

Die Prüfoberfläche muss unter Berücksichtigung der Vorschubrichtung des Prüfstiftes/der Probe nivelliert werden, siehe Anhang A. In der Praxis werden zu diesem Zweck Flachproben auf einem Probenhalter angeordnet. Bei zylindrischen Proben sind spezielle Justiereinrichtungen erforderlich.

Die Einrichtung zur horizontalen Ausrichtung der Probe sollte starr sein, damit eine Schwankung der Änderungsrate der Normalkraft durch Nachgiebigkeit des Probenträgers auszuschließen ist. Es wurde festgestellt, dass die Änderungsrate der Normalkraft in Abhängigkeit von der Verdrehung der Feder und der Nachgiebigkeit der Probe beträchtlich schwanken kann. Idealerweise sollten Justiereinrichtungen mit einer *In-situ*-Überprüfung der Krafteinleitung verwendet werden.

5.3 Reinigung der Probe

Die Probenoberfläche muss von Fremdstoffen, z. B. Öl, Fett und Feuchtigkeit, befreit werden, indem sie vor der Prüfung gereinigt wird.

Wenn keine ungewöhnlichen Verunreinigungen vorliegen, reicht das folgende Reinigungsverfahren aus: die Probe wird 5 min in ein Ultraschallbad mit analysenreinem Petrolether gelegt. Vor der Prüfung muss die Probe Raumtemperatur erreichen. Falls sich beim Trocknen Flecken bilden, wird die Probe mit einem weichen, in Petrolether getränktem Tuch abgewischt. Vor der Prüfung wird eine Ausgleichszeit von mindestens 3 min eingehalten.

Während der Prüfung dürfen keine Fingerabdrücke auf die Probenoberfläche und die Stiftspitze gelangen.

5.4 Für eine Prüfung relevante Parameter des Systems Beschichtung/Grundwerkstoff

Zu den für eine Prüfung relevanten Parametern des Systems Beschichtung/Grundwerkstoff gehören:

- a) Härte und Oberflächenrauheit des Grundwerkstoffes;
- b) Härte und Oberflächenrauheit der Beschichtung;
- c) Schichtdicke;
- d) Reibungskoeffizient zwischen Beschichtung und Prüfstift;
- e) Eigenspannung in der Beschichtung.

Bei direkten Vergleichsmessungen zwischen zwei oder mehreren Proben derselben Kombination Beschichtung/Grundwerkstoff müssen alle zuvor angegebenen Parameter bei jeder Probe gleich sein.

6 Durchführung der Prüfung

6.1 Allgemeines

Derzeit werden je nach verfügbarer Prüfeinrichtung und den gewünschten Informationen drei Arten der Ritzprüfung angewendet. Bei der Ritzprüfung mit zunehmender Kraft (en: progressive force scratch test, PFST) steigt die auf den Prüfstift aufgebrachte Normalkraft linear an, während sich der Stift mit konstanter Geschwindigkeit über die Prüfoberfläche bewegt. Bei der Ritzprüfung mit konstanter Kraft (en: constant force scratch test, CFST) werden auf unterschiedlichen Bereichen der Probenoberfläche Ritzspuren mit jeweils konstanter Normalkraft erzeugt, wobei die Normalkraft zwischen aufeinanderfolgenden Ritzprüfungen stufenweise erhöht wird, bis Versagen auftritt. Bei der Ritzprüfung mit mehreren Durchläufen (en: multi-pass scratch test, MPST) wird dieselbe Ritzspur der Probe mehrere Male mit einer konstanten Kraft, die kleiner als die kritische Normalkraft ist, geritzt.

ANMERKUNG 1 Das PFST-Verfahren dient im Allgemeinen als eine Bewertung erster Ordnung für die kritischen Kräfte, die der größten Schädigung und dem größten Versagen zuzuordnen sind, während das CFST-Verfahren die statistische Auswertung der Schädigung der Beschichtungen über die Probenoberfläche ermöglicht. Beim MPST-Verfahren wird die beschichtete Oberfläche einer niederfrequenten Ermüdungsbeanspruchung ausgesetzt, die als besser geeignet für die Simulation der tatsächlichen Betriebsbedingungen der Mehrzahl der beschichteten Teile gilt.

ANMERKUNG 2 In den meisten Fällen ist beim CFST-Verfahren eine exaktere Unterscheidung zwischen besseren oder schlechteren Haftungseigenschaften als beim genormten PFST-Verfahren möglich. Mit der Ritzprüfeinrichtung, die dem gegenwärtigen Stand der Technik entspricht, ist das CFST-Verfahren jedoch sehr zeit- und arbeitsintensiv. Es wurde festgestellt, dass spröde Beschichtungen mit dem MPST-Verfahren besser hinsichtlich ihrer Haftungseigenschaften eingeteilt werden können. Gegenwärtig ist jedoch der erforderliche Aufwand sogar noch größer als beim CFST-Verfahren (siehe Literaturhinweis [2]).

ANMERKUNG 3 Es gibt einen Trend zur Erweiterung und Automatisierung der verschiedenen Verfahrensschritte der Ritzprüfung, um die Anwendung modernerer Prüfabläufe zu erleichtern (siehe Literaturhinweis [3]).

6.2 Vorbereitung der Prüfgeräte

Vor Beginn der Prüfung müssen folgende Maßnahmen ergriffen werden:

- 1) es muss bestätigt werden, dass das Ritzprüfgerät nach dem normativen Anhang A kalibriert ist;
- 2) es muss bestätigt werden, dass der Diamantstift keine Oberflächenverunreinigungen aufweist (Öl, Fett, bei der vorherigen Prüfung aufgenommene Stoffe).

Erforderlichenfalls kann der Stift mit einem weichen, in Petrolether getränkten Tuch abgewischt werden. Wenn unter einem Lichtmikroskop (empfohlene Vergrößerung: 200-fach) weiterhin anhaftende Verunreinigungen erkennbar sind, kann SiC-Papier mit den Körnungen 1 200 und 2 400 sowie anschließend ein weiches, in Petrolether getränktes Tuch zum Abwischen verwendet werden. Der Stift sollte nicht im Ultraschallbad gereinigt werden, da auf diese Weise Schäden durch Hohlraumbildung auftreten können.

Nach dem Reinigen muss der Stift auf Raumtemperatur abkühlen gelassen werden, bevor mit der Prüfung begonnen wird.

6.3 Umgebungsbedingungen

Die Ritzprüfung erfordert eine Wechselwirkung durch Reibung zwischen dem Stift und der Probenoberfläche, wobei die Reibungseigenschaften durch die Umgebungsbedingungen beeinflusst werden können. Temperatur und relative Luftfeuchte der Prüfumgebung müssen daher bekannt und nach Möglichkeit zu regeln sein, damit die Wiederholpräzision sichergestellt ist.

Als Umgebungsbedingungen werden empfohlen:

Temperatur: $(22 \pm 2) ^\circ\text{C}$;

relative Luftfeuchte: $(50 \pm 10) \%$.

6.4 Ritzvorgang

6.4.1 Allgemeines

Das Prüfverfahren, das die gewünschten Informationen liefert, wird ausgewählt, siehe 6.1.

ANMERKUNG In Abhängigkeit von der Art der Beschichtung, der Kombination Beschichtung/Grundwerkstoff und der entsprechenden Versagensart ist es möglicherweise erforderlich, verschiedene Prüfverfahren anzuwenden.

6.4.2 Ritzprüfung mit zunehmender Kraft

Die Probe wird in der Probenhalterung starr befestigt und der Stift wird mit der beschichteten Oberfläche in Kontakt gebracht. Auf den Stift wird die erforderliche Anfangskraft aufgebracht. Die Zunahmegeschwindigkeit der Normalkraft und die Vorschubgeschwindigkeit des Probentisches werden ausgewählt. Es werden Werte von 100 N/min bzw. 10 mm/min empfohlen. Die Probe wird geritzt und die kritischen Normalkräfte der ausgewählten Versagensereignisse werden, wie in 6.5 beschrieben, bestimmt.

Orientierende Ritzspuren sollten genutzt werden, um eine Mindestanfangskraft, bei der ein unter dem Mikroskop sichtbarer Eindruck erreicht wird (siehe 6.5.2), sowie die entsprechende höchste kritische Normalkraft festzulegen. Die für die nachfolgenden Ritzspuren angewendete höchste Normalkraft kann anschließend begrenzt werden, um einen unnötigen Verschleiß des Prüfstiftes zu verhindern.

Falls die kritische Normalkraft, die das zu untersuchende Versagensereignis festlegt, weniger als 10 N beträgt, werden eine Zunahmegeschwindigkeit der Normalkraft von 10 N/min und eine Vorschubgeschwindigkeit des Prüfstiftes von 10 mm/min empfohlen.

6.4.3 Ritzprüfung mit konstanter Kraft

Die Probe wird in der Probenhalterung starr befestigt und die Diamantspitze wird mit der beschichteten Oberfläche in Kontakt gebracht. Wenn das Gerät nach dem PFST-Verfahren betrieben werden kann, wird die Oberfläche nach dem in 6.4.2 beschriebenen Verfahren geritzt, um den entsprechenden Bereich der Normalkraft zu bestimmen. Die Probe wird so bewegt, dass ein neuer, ungeritzter Bereich geprüft werden kann. Beginnend mit einem Fünftel der im PFST-Verfahren ermittelten kritischen Normalkraft wird mit zunehmender Normalkraft mit einer Vorschubgeschwindigkeit des Prüfstiftes von 10 mm/min eine Reihe von Ritzspuren mit einer Ritzspurlänge von 10 mm erzeugt. Nach der Bewertung der erzeugten Ritze kann zur genaueren Untersuchung der betroffenen Bereiche eine neue Reihe von Ritzspuren erzeugt werden, wobei kleinere Stufen der Normalkraftzunahme angewendet werden.

6.4.4 Ritzprüfung mit mehreren Durchläufen

Die Probe wird in der Probenhalterung starr befestigt und die Diamantspitze wird mit der beschichteten Oberfläche in Kontakt gebracht. Die Oberfläche wird nach dem PFST-Verfahren geritzt, um eine ungefähre Normalkraft zu bestimmen, bei der die entsprechende Versagensart auftritt. Bei 50 % der im PFST-Verfahren ermittelten Kraft, einer Vorschubgeschwindigkeit des Prüfstiftes von 10 mm/min und einer Ritzspurlänge von mindestens 3 mm wird die Probe so lange nach dem MPST-Verfahren geprüft, bis Versagen auftritt.

ANMERKUNG In Abhängigkeit vom mechanischen Verhalten der untersuchten Probe kann eine Anpassung der Normalkraft erforderlich sein, um entweder durch Verringerung der Normalkraft eine bessere Trennschärfe zu erzielen oder durch Zunahme der Normalkraft Ergebnisse in einem annehmbaren Zeitrahmen zu erhalten.

6.5 Bewertung der Ritzspuren und Bestimmung der kritischen Normalkraft

6.5.1 Allgemeines

Für die Bewertung von Ritzspuren und die Bestimmung der kritischen Normalkräfte werden mehrere unterschiedliche Verfahren angewendet, von denen jedoch nur die mikroskopische Untersuchung der Ritzspur verlässlich zwischen verschiedenen Versagensarten unterscheiden und bestimmten Versagensarten L_c -Werte zuordnen kann.

ANMERKUNG Um Anwender dieses Prüfverfahrens bei der Erstellung eines genormten Berichts zu den Ergebnissen der Ritzprüfung zu unterstützen, enthält Anhang B einen Atlas der bei der Ritzprüfung auftretenden Versagensarten. Die wichtigsten Versagensereignisse werden unterteilt in plastische Verformung, Rissbildung (L_{c1}), Abplatzungen (wobei die Beschichtung vorwiegend an den Ecken abplatzt) (L_{c2}) und Perforieren der Beschichtung bis zum Grundwerkstoff in der Mitte der Spur (L_{c3}).

6.5.2 Mikroskopische Untersuchung

Die erzeugten Ritzspuren werden unter einem Auflichtmikroskop betrachtet. Wenn der zu prüfende Bereich von losen anhaftenden Teilchen verdeckt ist, werden diese entfernt. Die entsprechende Versagensart wird ausgewählt und es wird entweder eine Skizze oder eine Mikroaufnahme angefertigt, die dem Prüfbericht beigelegt wird. Alternativ darf auf ein entsprechendes Bild in Anhang B verwiesen werden. Bei Ritzspuren, die nach dem PFST-Verfahren erzeugt wurden, wird die kritische Normalkraft für das ausgewählte Versagensereignis bestimmt, indem längs zur Mittellinie der Ritzspur der Abstand vom Beginn (Hinterkante) der Spur bis zur senkrecht zur Mittellinie verlängerten Versagensstelle gemessen (siehe Bild 2) und das Ergebnis mit der Änderungsrate der Normalkraft, in Newton je Millimeter, multipliziert wird, die aus der Änderungsrate dieser Kraft und der Vorschubgeschwindigkeit der Probe bestimmt wird.

Beim Entfernen von lose anhaftenden Teilchen, z. B. mit trockener Luft oder einem sauberen, weichen Pinsel, muss Sorge getragen werden, dass keine weiteren Schäden verursacht werden.

ANMERKUNG 1 Isolierte Versagensereignisse werden üblicherweise ignoriert; Werte der kritischen Normalkraft entsprechen im Allgemeinen der Normalkraft, die beim ersten Auftreten gehäufte Ereignisse auf den Stift einwirkt (siehe Bild 2).

ANMERKUNG 2 Für die mikroskopische Untersuchung wird eine 100-fache bis 500-fache Vergrößerung empfohlen.

ANMERKUNG 3 Um die Schichtschädigung genauer zu beurteilen, können modernere Untersuchungsverfahren, z. B. Rasterelektronenmikroskopie (REM) mit energiedispersiver Analyse (EDX), REM im Rückstreumodus, Profiltastschnittverfahren oder Rasterultraschallmikroskopie, angewendet werden. Mit der Rasterultraschallmikroskopie und dem Profiltastschnittverfahren können Schichttrennungseignisse unterhalb der Beschichtungs Oberfläche (Blasenbildung) nachgewiesen werden.

6.5.3 Akustische Emission (AE) und Aufzeichnung der Reibungskraft (FF)

Wenn beim Ritzen unter dem Prüfstift ein Versagensereignis auftritt, können *in-situ* überwachte AE- und FF-Signale gestört sein (siehe Bild 4). Bei einer derartigen Überwachung werden die Normalkräfte aufgezeichnet, bei denen Störungen auftreten, damit diese bei der mikroskopischen Untersuchung der Ritzspuren den Versagensereignissen zugeordnet werden können.

Akustische Emission wird durch elastische Wellen erzeugt, die aus der Energie entstehen, die bei der Rissentstehung und -ausbreitung freigesetzt wird, kann aber auch von Reibungsphänomenen und gerätebedingten Störgrößen (z. B. von der Reibfläche) herrühren. Der Prüfer darf einen Schwellenwert für die Empfindlichkeit festlegen, um die AE-Aufzeichnung dem vereinbarten Versagenskriterium anzupassen. Der AE-Sensor sollte ein Resonanzmesswertaufnehmer sein und die Elektronik sollte ein 30-kHz-Hochpassfilter haben (ohne Energieintegration), um eine Unempfindlichkeit gegenüber mechanischen Schwingungsfrequenzen der Geräte (im Allgemeinen von 0 kHz bis etwa 30 kHz) zu erreichen.

ANMERKUNG Die Verschiebung der Probe sollte *in-situ* gemessen werden, um eine direkte Korrelation zwischen Normalkraft, Verschiebung und anderen Messsignalen zu ermöglichen.

7 Wiederholpräzision und Grenzen

Aufgrund der statistischen Natur der Versagenswahrscheinlichkeit ist ein bei einer Einzelmessung bestimmter exakter Wert für die kritische Kraft nicht signifikant, und es müssen mindestens fünf Messungen durchgeführt werden. Aufeinanderfolgende Prüfungen müssen so durchgeführt werden, dass die kritischen Normalkräfte nicht durch zuvor erzeugte Ritzspuren beeinflusst werden können.

Zulässige Grenzen für die Ritzprüfung sind:

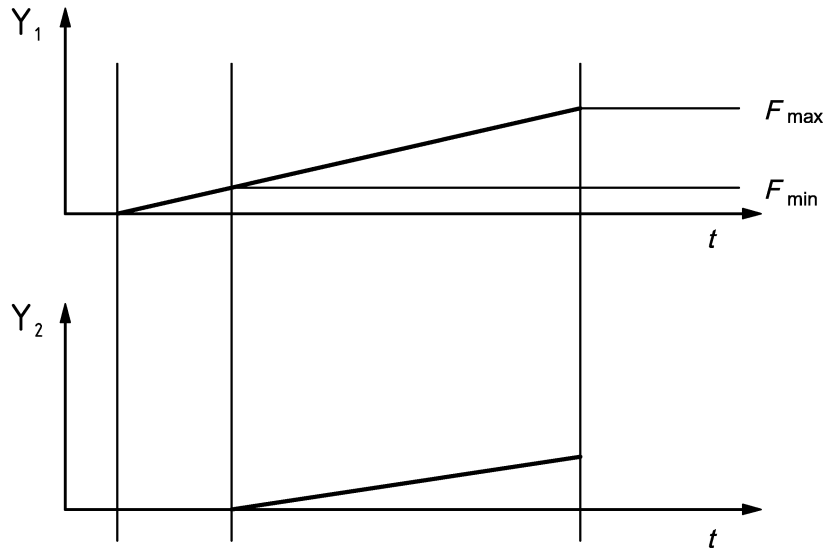
- a) kritische Kraft $L_c > 1 \text{ N}$;
- b) Auflösung der Normalkraft: $0,1 \text{ N}$;
- c) Schichtdicke $< 20 \text{ }\mu\text{m}$;
- d) Rauheitsparameter $Ra < 0,5 \text{ }\mu\text{m}$.

ANMERKUNG Bei einem Vertrauensniveau von 95 % beträgt die Messunsicherheit üblicherweise 20 %, und durch unterschiedliche Prüfer werden Abweichungen in einem Bereich von 5 % bis 10 % eingebracht. Unter optimalen Bedingungen beträgt die Vergleichsgrenze für verschiedene Ritzprüfeinrichtungen unter 15 % (siehe Literaturhinweis [4]).

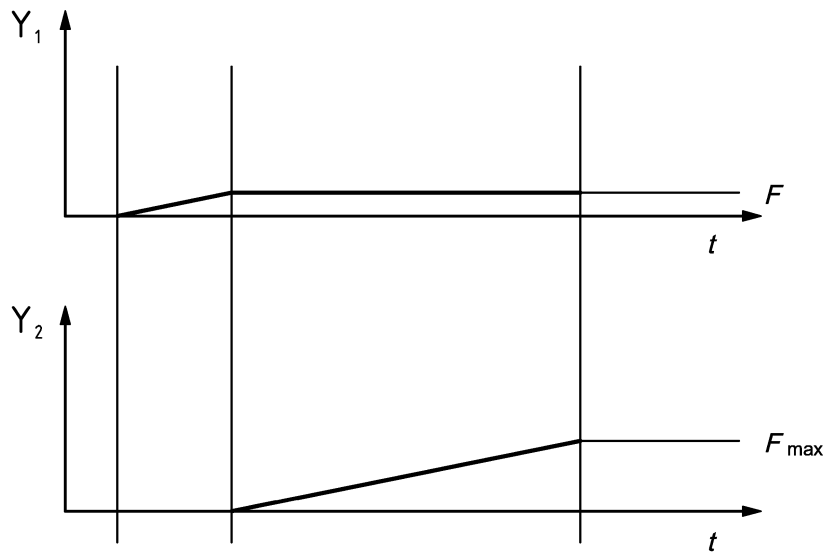
8 Prüfbericht

Der Prüfbericht muss die folgenden Angaben enthalten:

- a) Name der Prüfstelle;
- b) Datum der Prüfung, eindeutige Kennzeichnung des Berichts sowie jeder Seite;
- c) Name und Adresse des Auftraggebers und Unterschrift;
- d) Verweisung auf diese Europäische Norm, d. h. „Bestimmt nach ISO 20502“;
- e) Kennzeichnung des Prüfwerkstoffes oder des untersuchten Erzeugnisses;
- f) Verfahren zur Probenvorbereitung;
- g) Ebenheit der Probe;
- h) Beanspruchungsrate der Normalkraft;
- i) Traversengeschwindigkeit;
- j) Radius der Prüfstiftspitze;
- k) Umgebungsbedingungen;
- l) Prüfergebnisse für L_{cn} ;
- m) Beschreibung der Versagensarten durch Bezugnahme auf eine Mikroaufnahme, Skizze oder das entsprechende Bild in Anhang B;
- n) Datum der letzten Kalibrierung von Prüfeinrichtung und Prüfstift;
- o) Bemerkungen zur Prüfung oder zu den Prüfergebnissen, die nach ISO/IEC 17025 anzugeben sind;
- p) bei Prüfung nach dem MPST-Verfahren benötigte Durchgänge.



a) Prüfvorfahren mit zunehmender Kraft

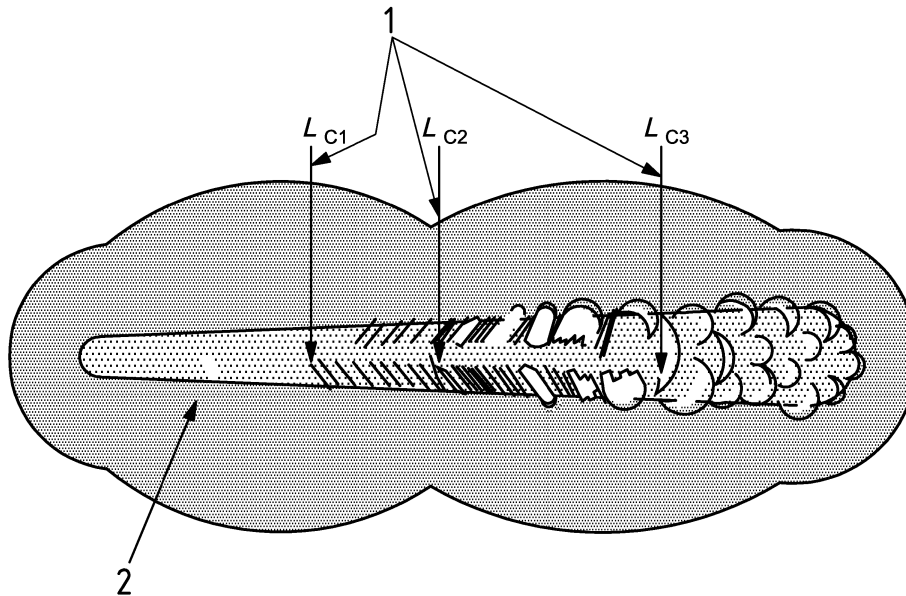


b) Prüfvorfahren mit konstanter Kraft

Legende

t	Zeit
Y_1	Normalkraft
Y_2	Abstand zwischen Prüfstift und Traverse
$F_{\max}$	höchste Kraft
$F_{\min}$	kleinste Kraft

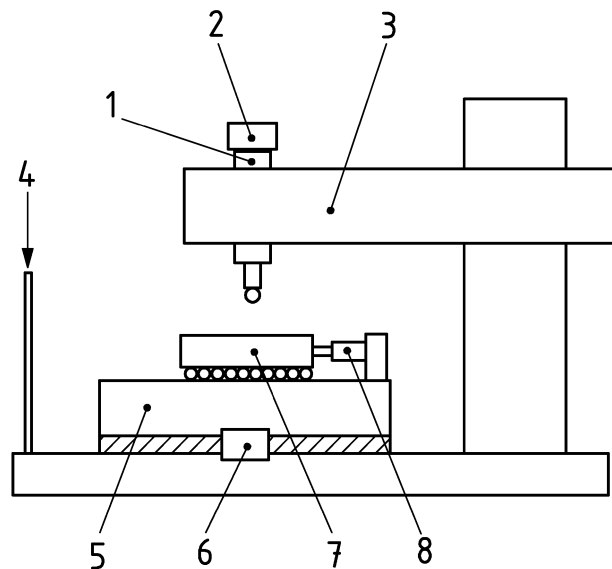
Bild 1 — Skizzen mit Darstellungen der Normalkraft und der Traversengeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Zeit



Legende

- 1 kritische Normalkräfte, die den Beginn gehäufter Versagensereignissen anzeigen
- 2 isoliertes Versagensereignis

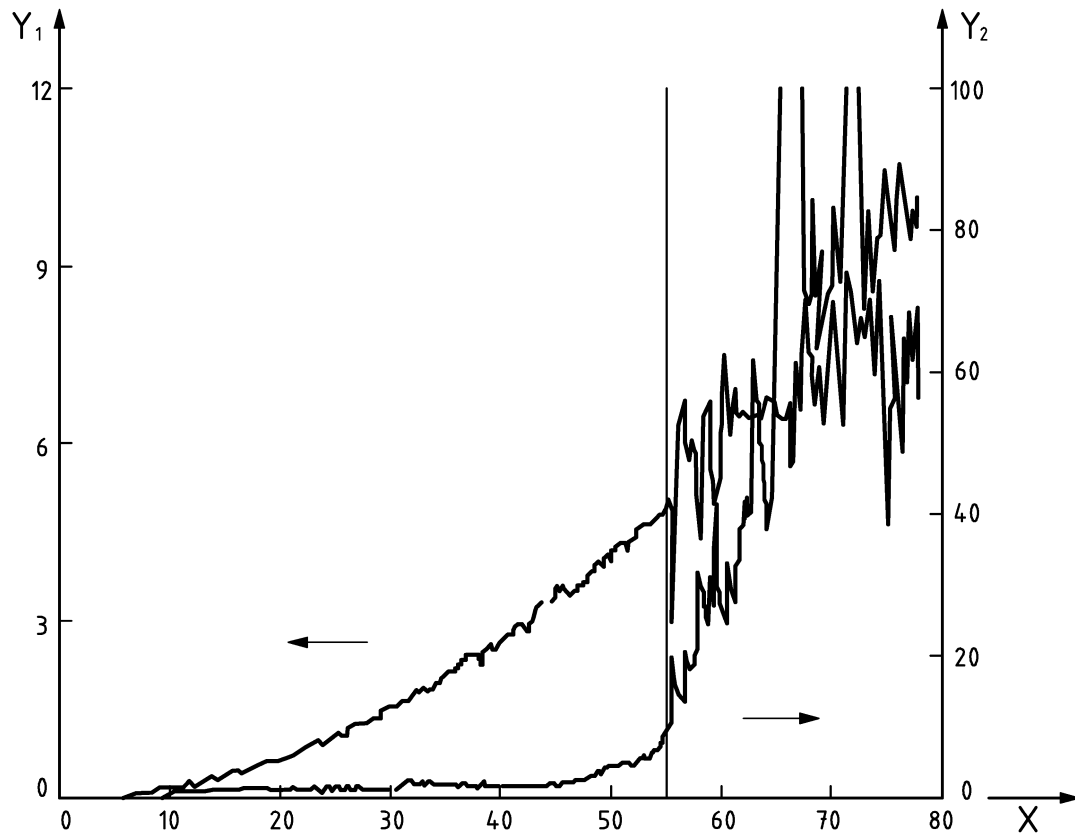
Bild 2 — Schematische Darstellung isolierter und gehäufter Versagensereignisse



Legende

- 1 Stiftschaft
- 2 Messwertaufnehmer für Vertikalkraft
- 3 oberer Träger
- 4 Basisreferenz
- 5 X-Y-Tisch zum Verschieben der Probe
- 6 Antriebsvorrichtung für X-Y-Tisch
- 7 Probenstisch mit geringer Reibung
- 8 Messwertaufnehmer für Horizontalkraft

Bild 3 — Schematische Darstellung eines üblichen Ritzprüfgeräts



Legende

- X Normalkraft, in N
- Y_1 Reibungskraft, in N
- Y_2 akustische Emission, a. u.

Bild 4 — Aufzeichnung der akustischen Emission und der Reibungskraft in Abhängigkeit von der Normalkraft

Anhang A (normativ)

Verfahren zur Kalibrierung des Ritzprüfsystems

A.1 Einleitung

Wenn relevante Werte für die kritischen Normalkräfte angegeben werden müssen, muss unbedingt sichergestellt werden, dass die mit den Ritzprüfgeräten durchgeführten Kraft- und Verschiebungsmessungen korrekt sind. In diesem Anhang sind Verfahren zur verbindlichen Kalibrierung von Ritzprüfgeräten beschrieben.

Die beschriebenen Verfahren wurden im Rahmen des FASTE-Programms zur Entwicklung und Validierung von Prüfverfahren für dünne, harte Beschichtungen mit Unterstützung durch den EU-Vertrag MAT1-CT-940045 entwickelt. Es sind Kalibrierverfahren zur Messung der horizontalen Verschiebung, der aufgetragenen Normalkraft sowie der Reibungskraft angegeben, zusammen mit einem Verfahren, das sicherstellt, dass die zu prüfende Oberfläche in eine Richtung senkrecht zum Stift bewegt wird.

Die beschriebenen Verfahren wurden von Teilnehmern des FASTE-Programms (Aufgabe S) zur quantitativen Erfassung des Verhaltens ihrer Prüfsysteme eingesetzt und bildeten die Grundlage für die Auswertung der Ergebnisse eines Ringversuchs, der ein wesentliches Element des FASTE-Programms darstellte.

ANMERKUNG Bei sorgfältiger Durchführung beträgt die Kalibrierunsicherheit unter 1 %.

A.2 Anwendungsbereich

In diesem Anhang sind Verfahren für folgende verbindliche Kalibrierungen beschrieben:

- a) Kalibrierung der Bewegung der Prüfoberfläche bezüglich des ortsfesten Stiftes;
- b) Kalibrierung des Kraftaufnehmers, der die aufgetragene Normalkraft misst;
- c) Kalibrierung der Messung der horizontalen Verschiebung des Prüfstiftes auf der Probe;
- d) Kalibrierung des Kraftaufnehmers, der die Reibungskraft misst (falls eingebaut).

A.3 Kurzbeschreibung

Mit Ausnahme der Kalibrierung bezüglich der Ebenheit der Probe werden bei den beschriebenen Verfahren bei Messung der gleichen Parameter unter identischen Bedingungen die Ausgabewerte der Messwert-aufnehmer mit den Ausgabewerten der rückführbar kalibrierten Messgeräte verglichen.

A.4 Prüfeinrichtung

A.4.1 Einleitung

Zur Durchführung der Kalibrierverfahren sind zusätzliche Einrichtungen erforderlich. Die zusätzlichen Einrichtungen, die zur Bereitstellung von Daten für die Kalibrierung vorgesehen sind, d. h. Kraftaufnehmer, Wegaufnehmer usw., müssen ebenfalls mit einem nationalen Normal rückführbar kalibriert werden.

Bei den Verfahren sind unbedingt Geräte für die Aufzeichnung der von den Messwertaufnehmern erfassten Ausgabewerte erforderlich. In Betracht kommt mindestens ein Zwei-Kanal-XY-Bandschreiber. Die beste Lösung ist eine im Computer eingebaute AID-Karte, da die anschließende Datenverarbeitung automatisiert werden kann und weniger Verarbeitungsfehler eingebracht werden. Diese Aufzeichnungsgeräte müssen mit einem nationalen Normal rückführbar kalibriert werden.

Für zwei der Vorgänge, nämlich Aufbringen der Normalkraft und horizontale Verschiebung, wird eine bestimmte zu erreichende „Geschwindigkeit“ festgelegt. Dazu wird die Zeit aufgezeichnet, und somit muss auch die Kalibrierung der Zeit möglich sein.

In A.4.2 bis A.4.4 sind die Zusatzgeräte und/oder Proben aufgeführt, die zur Durchführung jedes einzelnen Verfahrens erforderlich sind.

A.4.2 Normalkraft

- a) Kraftaufnehmer mit geeignetem Messbereich (üblicherweise reicht ein Bereich von 0 N bis 100 N aus) und geeigneten Maßen, um zwischen Prüfstift und Probenaufnahmeplatte eingesetzt zu werden;
- b) Platte aus gehärtetem Stahl, die auf der Oberseite des Kraftaufnehmers anzuordnen ist, die der Prüfstift berührt. Sie dient zum Schutz.

A.4.3 Horizontale Verschiebung

- a) langhubiger Wegaufnehmer (Messbereich > 10 mm, Auflösung 5 µm) und Einrichtung zum Befestigen am Probenstisch;
- b) Schlittenmikroskop zum Messen der Länge der Ritzspuren.

A.4.4 Reibungskraft

- a) Kraftaufnehmer mit geeignetem Messbereich (üblicherweise reicht ein Bereich von 0 N bis 100 N aus);
- b) geeignete Maße, um auf die Probenaufnahmeplatte zu passen;
- c) Platte aus gehärtetem Stahl zum Schutz des Kraftaufnehmers;
- d) Einrichtungen zur Einleitung einer horizontalen Kraft in den Probenstisch;
- e) es sollte ein auf Rollen gelagertes Krafteinleitungssystem verwendet werden;
- f) alternativ kann ein Rollensystem mit frei hängenden Gewichten verwendet werden.

A.5 Kalibrierverfahren

A.5.1 Verfahren 1: Bewertung der Orthogonalität der Bewegungen von Prüfstift und Prüfoberfläche

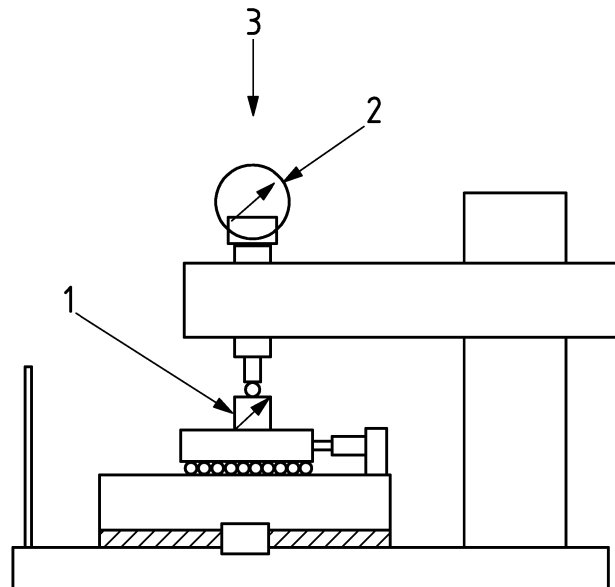
A.5.1.1 Die zu prüfende Probe wird auf dem Probenstisch befestigt und bei einer konstanten Kraft von 10 N und einer Geschwindigkeit von 10 mm/min wird eine Ritzprüfung durchgeführt, wobei Ritzspuren von 10 mm Länge erzeugt werden.

A.5.1.2 Die Probe gilt als eben, wenn die größte Abweichung der aufgezeichneten Normalkraft höchstens $\pm 0,5$ N beträgt. Erfüllt die Prüfoberfläche die Anforderungen nicht, müssen geeignete Anpassungen vorgenommen werden, bis eine Übereinstimmung erreicht ist.

A.5.1.3 Falls der Probenstisch oder die in Prüfstellung gebrachten Probe lichtmikroskopisch untersucht werden können, gelten alternativ diese dann als ausreichend eben, wenn sie über die gesamte Ritzlänge scharf eingestellt bleiben. Um den Einfluss der durch die Optik erzeugten Tiefenschärfe auf die Untersuchung zu verringern, muss mindestens eine 200-fache Vergrößerung verwendet werden.

A.5.2 Verfahren 2: Normalkraft

A.5.2.1 Der kalibrierte Kraftaufnehmer wird auf den Probenstisch gestellt und mit einer Platte aus gehärtetem Stahl so abgedeckt, dass der Prüfstift eine axiale Kraft auf die Messeinrichtung ausübt, siehe Bild A.1.



Legende

- 1 kalibrierter Kraftaufnehmer
- 2 Gerätekraftaufnehmer
- 3 Kraftaufbringung

Bild A.1 — Anordnung für die Kalibrierung der Normalkraft

A.5.2.2 Mit dem Normalkrafteinleitungssystem des Ritzprüfgeräts wird die aufgebrachte Normalkraft stufenweise erhöht und die Ausgabewerte des kalibrierten Kraftaufnehmers werden in Abhängigkeit vom Kraftaufnehmer des Ritzprüfgeräts aufgezeichnet. Bis zur höchsten aufgebrachten Normalkraft (üblicherweise 100 N) des Ritzprüfgeräts müssen mindestens zwanzig Krafterhöhungsstufen erreicht werden.

ANMERKUNG Zum Ablesen kann ein Bandschreiber, ein Digital-Spannungsmessgerät oder ein Computer mit digitaler Datenerfassung verwendet werden.

A.5.2.3 Dieser Prüfablauf wird viermal wiederholt, wobei die erste Messreihe verworfen wird.

A.5.2.4 Die Ausgabewerte des kalibrierten Kraftaufnehmers werden in bekannte aufgebrachte Normalkräfte, in N, umgerechnet, und für die Daten wird eine lineare Regression nach der Methode der kleinsten Quadrate durchgeführt; die Kalibrierkoeffizienten für den Anstieg der Normalkraft L_{NS} und den Offset der Normalkraft L_{NO} müssen dokumentiert werden.

Bei dieser Analyse sollte der an dem Kraftaufnehmer des Ritzprüfgerätes abgelesene Ausgabewert V_N als die unabhängige Variable und die bekannte Normalkraft F_n als die abhängige Variable behandelt werden, sodass die Daten durch die lineare Regressionsanalyse an einen Ausdruck der folgenden Form anpasst werden:

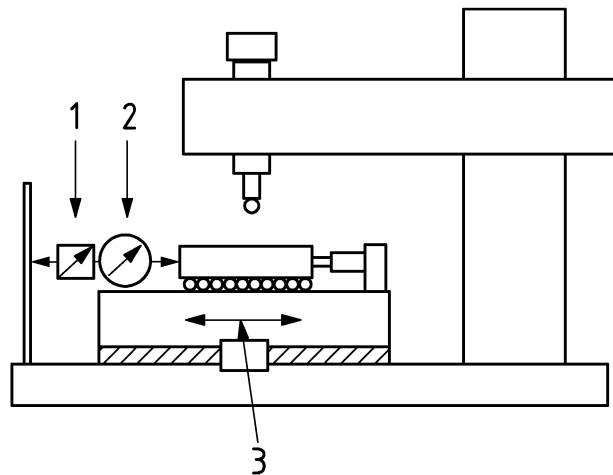
$$F_n = L_{NS} V_N + L_{NO}$$

A.5.2.5 Ferner muss mit dem bei der Prüfung verwendeten Prüfstift und der Probe ein kontinuierlicher Beanspruchungszyklus (bis zu einer höchsten Normalkraft von 100 N) durchgeführt werden; die Normalkräfte müssen über der Zeit aufgetragen werden. Dadurch sollte die Kraftanstiegsrate kalibriert werden. Die Kraftanstiegsrate L_{NR} entspricht dem Anstieg der Kurve der Normalkraft über der Zeit. Die Kraftanstiegsrate sollte auf (100 ± 1) N/min eingestellt werden.

Bei einigen Ausführungen von Ritzprüfgeräten kann die Anstiegsrate der Normalkraft, insbesondere zu Beginn der Prüfung, dadurch beeinträchtigt werden, dass die normalkraftübertragende Feder am Ende des Hebelarmes angeordnet ist. Es sollte sichergestellt werden, dass die Feder korrekt angeordnet ist.

A.5.3 Verfahren 3: Horizontale Verschiebung

A.5.3.1 Die kalibrierten Wegaufnehmer werden parallel zum Wegaufnehmer des Ritzprüfgerätes für die Messung der horizontalen Verschiebung fest eingespannt. Der Probestisch wird mit dem üblichen Bewegungsmechanismus stufenweise über den gesamten Messbereich des Wegaufnehmers bewegt, siehe Bild A.2.



Legende

- 1 kalibrierter Wegaufnehmer
- 2 Wegaufnehmer des Geräts
- 3 Bewegungsrichtung

Bild A.2 — Anordnung zur Kalibrierung der horizontalen Verschiebung

A.5.3.2 Die Ausgabewerte des kalibrierten Wegaufnehmers werden als Funktion der Ausgabewerte des eingebauten Wegaufnehmers für die Bestimmung der horizontalen Verschiebung aufgezeichnet. Es müssen mindestens 20 Verschiebungsschritte bis zur maximalen Einstellung durchgeführt werden.

ANMERKUNG Zum Ablesen kann ein Bandschreiber, ein Digital-Spannungsmessgerät oder ein Computer mit digitaler Datenerfassung verwendet werden.

A.5.3.3 Dieser Prüfablauf wird viermal wiederholt und die erste Messreihe wird verworfen.

A.5.3.4 Die Ausgabewerte des kalibrierten Wegaufnehmers werden auf die bekannten horizontalen Verschiebungen d_H umgerechnet; für die Daten wird eine lineare Regression nach der Methode der kleinsten Quadrate durchgeführt; die Kalibrierkoeffizienten für die Skalierung D_{HS} und den Offset der horizontalen Verschiebung D_{HO} werden aufgezeichnet.

Bei dieser Analyse sollten der am Wegaufnehmer der Ritzprüfeinrichtung abgelesene Ausgabewert V_{dH} als die unabhängige Variable und die bekannte horizontale Bewegung d_H als die abhängige Variable behandelt werden, sodass die Daten durch die lineare Regressionsanalyse an einen Ausdruck der folgenden Form angepasst werden:

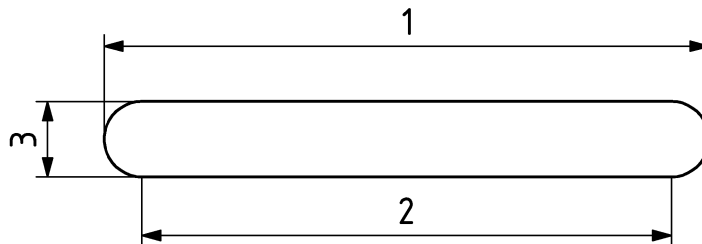
$$d_H = D_{HS} V_{dH} + D_{HO}$$

A.5.3.5 Die Ausrichtung des Wegaufnehmers gegenüber dem Probestisch wird überprüft, indem die Länge einer Ritzspur auf einer Stahlprobe gemessen und mit der Länge verglichen wird, die aus den Ablesungen des Wegaufnehmers errechnet wurde. Wenn zwischen den beiden Messungen Abweichungen auftreten, muss die Ausrichtung des Wegaufnehmers überprüft werden.

A.5.3.6 Außerdem sollte eine Weg-Zeit-Kurve aufgezeichnet werden, um die Kalibrierung der horizontalen Verschiebungsrate (Geschwindigkeit) des Probestisches zu ermöglichen. Die Geschwindigkeit D_{HR} entspricht dem Anstieg der Weg-Zeit-Kurve. Die Geschwindigkeit sollte auf $(10 \pm 0,1)$ mm/min eingestellt werden.

A.5.3.7 Falls kein zweiter Wegaufnehmer verfügbar ist, kann zur Überprüfung des eingebauten Wegaufnehmers wahlweise folgendes Verfahren angewendet werden. In einem leicht zu ritzen Grundwerkstoff (z. B. gehärteter Stahl oder Keramikwerkstoff) wird mit einer geringen konstanten Normalkraft (z. B. 10 N) eine Reihe unterschiedlich langer Ritze erzeugt. Die Gesamtlänge der Ritze, abzüglich der Ritzbreite, wird gemessen und diese Ritzlängen werden mit den Ritzlängen verglichen, die vom eingebauten Wegaufnehmer angezeigt werden (siehe Bild A.3).

ANMERKUNG Dieses Verfahren kann gleichzeitig mit dem Verfahren zur Überprüfung der Ebenheit der Probe durchgeführt werden.



Legende

- 1 Gesamtlänge des Ritzes
- 2 angezeigte Ritzlänge
- 3 Ritzbreite

ANMERKUNG Ritzweg = Gesamtlänge – Ritzbreite.

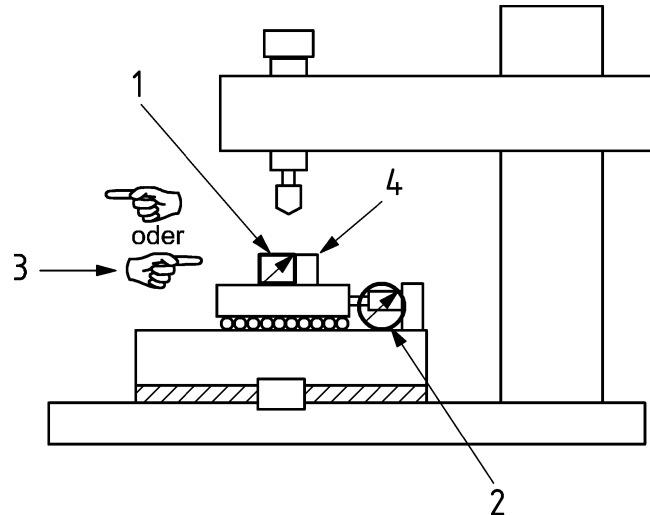
Bild A.3 — Schematische Darstellung der Bestimmung der Probenverschiebung

Eine einfache Bewertung der Verschiebungsrate kann erreicht werden, indem mit einer konstanten Kraft (10 N) ein Ritz erzeugt und die Ritzlänge mit einem Schlittenmikroskop gemessen wird. Aus der aufgetragenen Normalkraft, die aufgezeichnet werden sollte, kann eine Zeitlinie abgeleitet werden. Dieses Verfahren kann gleichzeitig mit dem Verfahren zur Überprüfung der Ebenheit der Probe durchgeführt werden.

A.5.4 Verfahren 4: Reibungskraft

A.5.4.1 Damit die Kalibrierkraft geregelt aufgebracht werden kann, ist eine spezielle Einrichtung erforderlich (Schubstange mit von Hand zu betätigender Rändelschraube, Rollensystem oder üblicher Antriebsmechanismus mit Handsteuerung).

A.5.4.2 Der kalibrierte Kraftaufnehmer wird, z. B. mit einem Halteklotz, so auf dem Ritzprüfgerät angebracht, dass sowohl der kalibrierte Kraftaufnehmer als auch der im Ritzprüfgerät eingebaute Kraftaufnehmer axial beansprucht werden, siehe Bild A.4. Der kalibrierte Kraftaufnehmer sollte so angebracht sein, dass dessen axiale Position möglichst dem Flächennormal der Probe entspricht, auf keinen Fall jedoch weiter als ± 10 mm von diesem entfernt, siehe Bild A.4.



Legende

- 1 kalibrierter Kraftaufnehmer
- 2 Kraftaufnehmer des Geräts
- 3 Kraftaufbringung
- 4 Halteklotz

Bild A.4 — Anordnung für die Kalibrierung der Reibungskraft

A.5.4.3 Die horizontale Kraft wird stufenweise erhöht, und am kalibrierten Kraftaufnehmer sowie dem Kraftaufnehmer des Ritzprüfgerätes werden die Ausgabewerte abgelesen. Es sollten mindestens 20 Krafterhöhungsstufen bis zur höchsten erwarteten Reibungskraft verwendet werden.

ANMERKUNG Zum Ablesen kann ein Bandschreiber, ein Digital-Spannungsmessgerät oder ein Computer mit digitaler Datenerfassung verwendet werden.

A.5.4.4 Dieser Prüfablauf wird viermal wiederholt und die erste Messreihe wird verworfen.

A.5.4.5 Um die mögliche Empfindlichkeit des Kraftaufnehmers für die horizontale Kraft gegenüber der relativen Anordnung des Ritzes nachzuweisen, sollten die Kalibrierungen durchgeführt werden, während der Probentisch um 10 mm nach links und rechts von der Mittellinie dieses Kraftaufnehmers versetzt angeordnet wird.

A.5.4.6 Die Ausgabewerte des kalibrierten Kraftaufnehmers werden in bekannte simulierte Reibungskräfte F umgerechnet, und für die übrigen Daten wird eine lineare Regression nach der Methode der kleinsten Quadrate durchgeführt; die Kalibrierkoeffizienten für die Skalierung L_{FS} und den Offset der Reibungskraft L_{FO} werden aufgezeichnet.

Bei dieser Analyse sollte der an dem Kraftaufnehmer des Ritzprüfgerätes abgelesene Ausgabewert V_F als die unabhängige Variable und die bekannte simulierte Reibungskraft F als die abhängige Variable behandelt werden, sodass die Daten durch die lineare Regressionsanalyse an einen Ausdruck der folgenden Form angepasst werden:

$$F = L_{FS} V_F + L_{FO}$$

A.6 Aufzeichnung der Ergebnisse

Die Ergebnisse der zuvor beschriebenen Kalibrierungen müssen aufgezeichnet und bei Bedarf dem Prüfbericht beigelegt werden. Die aufzuzeichnenden Ergebnisse sind in Tabelle A.1 aufgeführt.

Tabelle A.1 — Kalibrierergebnisse

Parameter	Beschreibung
L_{NS}	Kalibrieren der Skalierung für die Normalkraft
L_{NO}	Offsetkalibrierung für die Normalkraft
L_{NR}	Kraftanstiegsrate
D_{HS}	Kalibrieren der Skalierung für die horizontale Verschiebung
D_{HO}	Offsetkalibrierung für die horizontale Verschiebung
D_{HR}	Horizontale Verschiebungsrate
L_{FS}	Kalibrieren der Skalierung für die Reibungskraft
L_{FO}	Offsetkalibrierung für die Reibungskraft