

DIN EN ISO 26424



ICS 81.060.30

Einsprüche bis 2015-12-02
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 1071-6:2008-01

Entwurf

**Hochleistungskeramik –
Bestimmung der Beständigkeit gegen Abrieb von Schichten durch eine
Mikroabriebprüfung (ISO 26424:2008);
Deutsche und Englische Fassung FprEN ISO 26424:2015**

Fine ceramics (advanced ceramics, advanced technical ceramics) –
Determination of the abrasion resistance of coatings by a micro-scale abrasion test
(ISO 26424:2008);

German and English version FprEN ISO 26424:2015

Céramiques techniques –

Détermination de la résistance à l'abrasion des revêtements par essai d'abrasion à
micro-échelle (ISO 26424:2008);

Version allemande et anglaise FprEN ISO 26424:2015

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 41 Seiten

DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP)

Nationales Vorwort

Der Text von ISO 26424:2008 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 206 „Fine ceramics“ der Internationalen Organisation für Normung (ISO) erarbeitet und als FprEN ISO 26424:2015 durch das Technische Komitee CEN/TC 184 „Hochleistungskeramik“ übernommen, dessen Sekretariat vom DIN gehalten wird.

Zu DIN EN ISO 26424 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 26424 beigefügt. 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/IEC 17025 siehe DIN EN ISO/IEC 17025

Änderungen

Gegenüber DIN EN 1071-6:2008-01 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Übernahme der ISO 26424:2008.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

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

Hochleistungskeramik — Bestimmung der Beständigkeit gegen Abrieb von Schichten durch eine Mikroabriebprüfung (ISO 26424:2008)

Céramiques techniques — Détermination de la résistance à l'abrasion des revêtements par essai d'abrasion à micro-échelle (ISO 26424:2008)

Fine ceramics (advanced ceramics, advanced technical ceramics) — Determination of the abrasion resistance of coatings by a micro-scale abrasion test (ISO 26424:2008)

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 Begriffe	4
4 Bedeutung und Anwendung	4
5 Kurzbeschreibung	5
6 Prüfeinrichtung und Materialien	5
6.1 Prüfsystem	5
6.2 Prüfkugeln	5
6.3 Schleifmittelaufschlammung	7
6.4 Ausmessen der Kalottenmaße	8
7 Probenvorbereitung	8
8 Prüfverfahren	9
8.1 Unterschiedliche Prüfarten	9
8.1.1 Prüfmethode A: ohne Perforation der Beschichtung	9
8.1.2 Prüfmethode B: mit Perforation der Beschichtung	9
8.2 Prüfung nach Prüfmethode A: ohne Perforation der Beschichtung	9
8.3 Prüfung nach Prüfmethode B: mit Perforation der Beschichtung	10
9 Auswertung	12
9.1 Prüfung nach Prüfmethode A: ohne Perforation der Beschichtung	12
9.1.1 Grundgleichungen	12
9.1.2 Berechnung von K_C	13
9.2 Prüfung nach Prüfmethode B: mit Perforation der Beschichtung	13
9.2.1 Grundgleichungen	13
9.2.2 Berechnung von K_C und K_S	14
10 Vergleichpräzision, Wiederholpräzision und Grenzen	14
10.1 Vergleichpräzision und Wiederholpräzision	14
10.2 Grenzen	16
11 Prüfbericht	17
Anhang A (informativ) Messung der Schichtdicke	19
Literaturhinweise	20

Europäisches Vorwort

Der Text von ISO 26424:2008 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 206 „Fine ceramics“ der Internationalen Organisation für Normung (ISO) erarbeitet und als FprEN ISO 26424:2015 durch das Technische Komitee CEN/TC 184 „Hochleistungskeramik“ übernommen, dessen Sekretariat vom DIN gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zum einstufigen Annahmeverfahren vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN 1071-6:2007 ersetzen.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO 26424:2008 wurde vom CEN als FprEN ISO 26424:2015 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm legt ein Verfahren zur Messung der Abriebverschleißrate keramischer Beschichtungen mithilfe einer Mikroabriebprüfung fest, die auf dem bekannten Kalottenschleifverfahren zur Bestimmung der Schichtdicke nach ISO 26423 [11] basiert.

Nach diesem Verfahren können Daten zur Bestimmung der Abriebverschleißraten sowohl der Beschichtung als auch des Grundwerkstoffes ermittelt werden, entweder durch zwei separate Prüfungen oder aber durch eine sorgfältige Analyse der aus einer einzigen Prüfsérie gewonnenen Daten.

Das Prüfverfahren kann bei Proben mit ebenen oder nicht ebenen Oberflächen angewendet werden, während die in Abschnitt 9 beschriebene Auswertung nur für ebene Proben gilt. Bei nicht ebenen Proben ist eine komplexere Auswertung erforderlich, möglicherweise mithilfe numerischer Verfahren.

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 3290-1, *Rolling bearings — Balls — Part 1: Steel balls*

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

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1

Abriebverschleißrate

Abriebverschleißkoeffizient

K

Materialvolumen, das in einer Gleitdistanzeinheit unter einer Kontakt-Normalkraft von 1 N abgerieben wird

4 Bedeutung und Anwendung

Obwohl einfache Verschleißprozesse nur bei wenigen Schutzschichten vorkommen, kann die Gebrauchstauglichkeit dieser Beschichtungen durch ihre Beständigkeit gegen Abriebverschleiß entscheidend beeinflusst werden. Folglich können Kenntnisse über die Beständigkeit gegen Abriebverschleiß keramischer Beschichtungen die geeignete Schichtauswahl in den Anwendungsfällen unterstützen, bei denen die Verschlechterung der Eigenschaften im Wesentlichen auf den Abrieb zurückzuführen ist. Zwar gibt es Verfahren zur Messung des Abriebverschleißverhaltens von Massivwerkstoffen und dicken Beschichtungen (siehe [1] bis [3]), aber diese Verfahren können nicht ohne weiteres auf dünne Beschichtungen übertragen werden und die Ergebnisse sind schwierig auszuwerten, wenn die Verfahren auf gekrümmten Oberflächen angewendet werden.

Das Ziel dieser Internationalen Norm ist die Festlegung eines Verfahrens zur Ermittlung der Beständigkeit gegen Abrieb sowohl für dünne und dicke Beschichtungen als auch für Massivwerkstoffe. Die Prüfung kann auf ebenen Oberflächen oder Oberflächen mit bekanntem Krümmungsradius durchgeführt werden und erfordert Proben von nur wenigen Quadratmillimetern. Die in Abschnitt 9 beschriebenen Berechnungen gelten jedoch nur für ebene Proben und sind nur bei homogenen einlagigen Beschichtungen anwendbar. Wenn dieses Verfahren bei inhomogenen Beschichtungen angewendet wird, können möglicherweise Fehler auftreten. Die Literaturhinweise [4] und [5] enthalten Einzelheiten der analytischen Behandlung zur Bestimmung der Abriebrate von Beschichtungen auf gekrümmten Oberflächen.

Wenn die Ergebnisse der Prüfungen, bei denen die Beschichtung perforiert wird, vorschriftsmäßig nach 9.2 ausgewertet werden, können die Abriebverschleißkoeffizienten sowohl für die Beschichtung als auch für den Grundwerkstoff aus einer einzigen Prüfserie bestimmt werden.

Obwohl die Prüfung zur quantitativen Ermittlung der Abriebverschleißkoeffizienten vorgesehen ist, kann sie auch zur Qualitätskontrolle von realen Bauteilen angewendet werden.

5 Kurzbeschreibung

Bei der Prüfung wird eine Kugel, die gegen die Probe gedrückt wird, auf der Probenoberfläche gedreht, während in den Kontaktbereich eine Schleifmittelaufschlämmung eingebracht wird. Auf diese Weise wird eine kugelförmige Vertiefung erzeugt, deren Größe ausgemessen wird. Wenn keine Perforation der Beschichtung erfolgt, kann die Abriebverschleißrate der Beschichtung an einer einzigen Kalotte bestimmt werden. Wird die Beschichtung perforiert, können die Abriebverschleißraten sowohl der Beschichtung als auch des Grundwerkstoffes berechnet werden, indem eine Serie derartiger Kalotten erzeugt und die Größe der Kalottenmaße bestimmt wird.

6 Prüfeinrichtung und Materialien

6.1 Prüfsystem

Es muss eine Kugel verwendet werden, die gedreht und gegen die Probe gedrückt werden kann. In Bild 1 werden zwei Varianten des Prüfsystems mit Kugel dargestellt, wobei entweder die Probe, die auf einem durch seine Eigenmasse beanspruchten Hebel angebracht ist, gegen eine direkt angetriebene Kugel gepresst wird oder die Eigenmasse der Kugel diese auf die Probe drückt.

ANMERKUNG Untersuchungen haben ergeben [6], dass die in einem Prüfsystem mit freier Kugel (siehe Bild 1 a)) ermittelten Ergebnisse in Abhängigkeit von der Exaktheit der Systemgeometrie schwanken können. Insbesondere wurde festgestellt, dass der Neigungswinkel der Probenhalterung und die Breite der zur Aufnahme der Kugel in die Antriebswelle eingearbeiteten Nut einen großen Einfluss auf die Ergebnisse haben können. Es wurde festgestellt, dass bei einem Neigungswinkel zwischen 60° und 75° und einer Nutbreite von 10 mm die geringste Schwankung der Ergebnisse unter üblichen Bedingungen erreicht wird.

Das Prüfsystem muss so gestaltet werden, dass die Drehzahl der Kugel während einer Prüfung konstant bleibt und bei Durchführung mehrerer Prüfungen eine Vergleichsgrenze für die Nenndrehzahl von mindestens $\pm 10\%$ erreicht wird. Die gesamte Rundlaufabweichung der Antriebswelle darf an ihren Berührungsstellen mit der Kugel höchstens 20 μm betragen.

6.2 Prüfkugeln

Die verwendeten Kugeln haben im Allgemeinen einen Durchmesser von 25 mm und bestehen aus gehärtetem Stahl, z. B. UNS G52986 (SAE 52100) und müssen vor einer Konditionierung den Anforderungen nach ISO 3290-1 entsprechen.

ANMERKUNG 1 Die Kugeln können eine polierte Oberfläche haben; es wurde jedoch festgestellt [7], dass bei Verwendung nicht konditionierter Kugeln ein abweichendes Prüfverhalten zu beobachten ist und unbefriedigende Ergebnisse ermittelt werden.

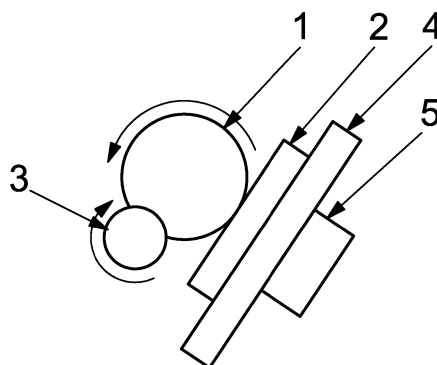
Zur Konditionierung wird empfohlen, dass eine neue Prüfkugel vor Beginn des Prüfprogramms mindestens 300 Umdrehungen auf einem unkritischen Teil der Probe oder einer anderen geeigneten Fläche unter Einhaltung der üblichen Prüfbedingungen durchläuft und diese Konditionierung bei mindestens 5 verschiedenen Kugelausrichtungen wiederholt wird.

ANMERKUNG 2 Zur Konditionierung der Kugel hat sich ein ebenes, geschliffenes Stück aus Stahl mit einer Härte zwischen 200 HV30 und 800 HV30 bewährt.

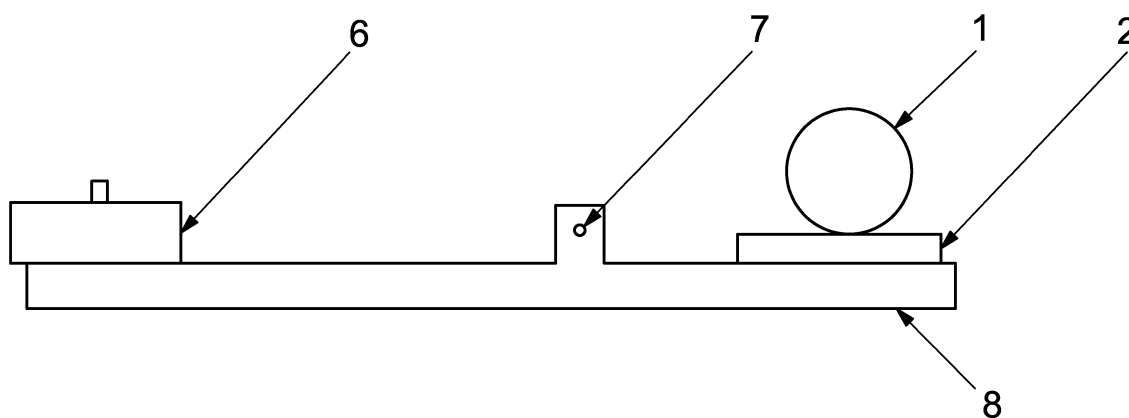
ANMERKUNG 3 Es wurde festgestellt, dass konditionierte Prüfkugeln in Abhängigkeit von den tatsächlich angewendeten Bedingungen zur Erzeugung von etwa 50 Kalotten verwendet werden können.

Die Gebrauchstauglichkeit der Kugeln muss regelmäßig überprüft werden, um sicherzustellen, dass sie weiterhin zulässige Kalotten erzeugen. Die Kugeln müssen ersetzt werden, wenn sich bei solch einer Überprüfung ein Hinweis darauf ergibt, dass anomale Kalotten entstehen.

ANMERKUNG 4 Mit einer repräsentativen Probe, z.B. gehärteter und angelassener Schnellstahl oder exakt charakterisiertes Titannitrid, oder mit einer anderen auf einen beständigen Grundwerkstoff aufgetragenen Beschichtung können Funktionsprüfungen durchgeführt werden.



a) Prüfsystem mit freier Kugel



b) Prüfsystem mit fester Kugel

Legende

- | | |
|-------------------|-----------------|
| 1 Kugel | 5 Kraftmessdose |
| 2 Probe | 6 Gewicht |
| 3 Antriebswelle | 7 Drehpunkt |
| 4 Probenhalterung | 8 Hebel |

Bild 1 — Zwei unterschiedliche Arten von Prüfsystemen mit Kugel zur Erzeugung einer Kalotte

6.3 Schleifmittelaufschlammung

In allen Fällen muss eine Aufschlammung aus Siliciumcarbid (SiC) oder einem anderen geeigneten Schleifmittel in einer geeigneten Flüssigkeit, üblicherweise Wasser, verwendet werden.

Als Schleifmittel dient üblicherweise F1200 SiC, es kann jedoch auch F1200 Aluminiumoxid oder ein anderes feines Schleifmittel verwendet werden. Die mittlere Korngröße des Schleifmittels sollte möglichst 5 µm nicht überschreiten.

Bei Verwendung eines anderen Schleifmittels treten andere Abriebverschleißraten auf, und es dürfen nur Ergebnisse verglichen werden, die an Kalotten unter identischen Bedingungen ermittelt wurden.

Die Homogenität der Aufschlammung muss während der gesamten Prüfung sichergestellt werden. Dazu kann die Aufschlammung kontinuierlich gerührt oder mit Stabilisatoren versetzt werden.

Falls die Prüfung an Beschichtungen durchzuführen ist, die auf einen Grundwerkstoff aus korrosionsanfälligen Stahl aufgebracht wurden, sollte der Aufschlammung Natriumnitrit (NaNO_2) mit 1 g je 100 cm³ Wasser hinzugefügt werden, um zu verhindern, dass die Kalotten korrodieren, bevor sie ausgemessen werden können.

Die Schleifmittelaufschlammung muss aus dem Schleifmittelpulver und der ausgewählten Flüssigkeit in den geforderten Anteilen angesetzt werden.

Da die Art des auftretenden Abriebs in kritischer Weise von der Konzentration des verwendeten Schleifmittels abhängen kann, werden zwei Konzentrationen empfohlen. Diese sind:

a) verdünnt (begünstigt Rillenabrieb)

Konzentration: 2 % Volumenanteil

Bei SiC mit z. B. einer Dichte von 3,2 g·cm⁻³ wird die angegebene Konzentration erreicht, indem 6,4 g SiC und 98 cm³ destilliertes oder entionisiertes Wasser gemischt werden.

b) konzentriert (begünstigt Rollabrieb)

Konzentration: 20 % Volumenanteil

Bei SiC mit z. B. einer Dichte von 3,2 g·cm⁻³ wird die angegebene Konzentration erreicht, indem 80 g SiC und 100 cm³ destilliertes oder entionisiertes Wasser gemischt werden.

ANMERKUNG Die Art des vorwiegend auftretenden Abriebs hängt sowohl von der Konzentration der Aufschlammung als auch von der Art des Schleifmittels und dem zu prüfenden Werkstoff ab. Beispielsweise wurde festgestellt, dass Rutil mit einer Körnung im Mikrobereich (Submikron) sogar bei geringer Konzentration von 3 % Volumenanteil Rollabrieb begünstigen kann.

Alternativ zum Ansetzen von Schleifmittelaufschlammungen können Fertigmischungen verwendet werden. In diesem Fall müssen alle Einzelheiten über den Anbieter und zur Zusammensetzung der Aufschlammung angegeben werden.

Es wird empfohlen, Vorprüfungen durchzuführen, um sicherzustellen, dass die Konzentration der ausgewählten Aufschlammung während der Prüfung zu der/den gewünschte(n) Abriebart(en) führt/führen.

6.4 Ausmessen der Kalottenmaße

Die Kalottenmaße dürfen mit einer beliebigen geeigneten Einrichtung, z. B. ein Mikroskop mit kalibrierter Strichkreuzplatte, unter der Voraussetzung gemessen werden, dass die Kalibrierung auf nationale Bezugsnormale rückführbar ist. Wenn die Messungen an photographischen Aufnahmen durchgeführt werden, ist es wichtig, dass die Aufnahmen (Bezugs-)Marken mit bekannten Maßen enthalten, um sicherzustellen, dass eine Schrumpfung des photographischen Films nach dem Entwickeln oder während der Lagerung ausgeschlossen werden kann. Es darf jedoch auch eine automatische Messung an einer elektronischen Aufnahme durchgeführt werden, sofern das verwendete Messsystem vollständig kalibriert wurde und die Kalibrierung auf nationale Bezugsnormale rückführbar ist.

ANMERKUNG In einigen Fällen, z. B. bei Rollabrieb mit relativ großem Schleifkorn, wurde festgestellt, dass die Ränder der Kalotten schwierig zu erkennen sind, besonders an der äußeren Oberfläche der Beschichtung. Unter diesen Umständen können profilometrische Verfahren, ein veränderter Beleuchtungswinkel oder Ätzen des Grundwerkstoffes (bei Kalotten mit Penetration der Beschichtung) hilfreich sein.

Profilometrische Verfahren können wegen abgerundeter Kalottenränder zu anderen Ergebnissen für die Kalottenmaße führen als mit lichtmikroskopischer Untersuchung erhalten wurden. Ergebnisse von Prüfungen, bei denen unterschiedliche Messverfahren ausgewertet wurden, dürfen nicht miteinander verglichen werden.

7 Probenvorbereitung

7.1 Die beschichteten Proben müssen eine für die Durchführung der geforderten Prüfserie ausreichend große, ebene Fläche haben. In allen Fällen muss die Schichtdicke über 1 µm betragen.

ANMERKUNG Proben mit nicht ebenen Oberflächen können zwar auch geprüft werden, zur Bestimmung der Abriebverschleißraten von Beschichtung und Grundwerkstoff ist jedoch eine andere als die in dieser Internationalen Norm beschriebene Analyse erforderlich (siehe Literaturhinweise [4] und [5]).

7.2 Die Genauigkeit, mit der Kalottendurchmesser bestimmt werden können, hängt von der Oberflächenqualität der Probe und vom verwendeten Schleifmittel ab. Die Oberflächenqualität der Beschichtung kann zwar vor der Prüfung durch Polieren verbessert werden, aber diese Möglichkeit entfällt für den Grundwerkstoff, und die Oberflächenqualität des Grundwerkstoffes beeinflusst die Exaktheit, mit der die Grenze Beschichtung/Grundwerkstoff lokalisiert werden kann. Zur exakten Ermittlung der Lage der Beschichtungsunterseite sollten Beschichtungen daher möglichst auf polierten Grundwerkstoffen aufgebracht werden. Zur Verbesserung der Oberflächenqualität darf die Oberfläche der Beschichtung bei Bedarf poliert werden.

Um eine Beschädigung der Beschichtungsoberfläche oder eine Beeinflussung ihrer Abriebverschleißrate zu vermeiden, wird empfohlen, mit dem Diamantschleifmittel mit der kleinsten Körnung und bei geringstem Druck zu polieren, die für die geforderte Oberflächenqualität angemessen sind. Deshalb sollte beispielsweise zunächst mit einem Diamantschleifmittel mit einer Körnung von 1 µm poliert werden und eine größere Körnung nur dann verwendet werden, wenn die geforderte Oberflächenqualität nicht erreicht werden kann.

7.3 Vor der Prüfung wird die Probe gereinigt, um alle Spuren von Verunreinigungen zu entfernen. Ein geeignetes Vorbereitungsverfahren ist wie folgt:

- a) im Ultraschallbad mit einem geeigneten Lösemittel reinigen;
- b) spülen;
- c) im Wärmeschrank bei (110 ± 10) °C für 10 min trocknen.

8 Prüfverfahren

8.1 Unterschiedliche Prüfarten

8.1.1 Prüfmart A: ohne Perforation der Beschichtung

Bei dieser Prüfmart wird die Prüfdauer so geregelt, dass keine Perforation der Beschichtung auftritt. Bis geeignete Bedingungen erreicht sind, können mehrere Vorprüfungen notwendig werden. Die Größe der Kalotte wird gemessen und die Abriebverschleißrate nach dem in 9.1 beschriebenen Verfahren berechnet.

8.1.2 Prüfmart B: mit Perforation der Beschichtung

Bei dieser Prüfmart wird die Beschichtung perforiert. Bei unterschiedlichen Prüfzeiten wird eine Reihe von Kalotten erzeugt und jedes Mal wird die Größe der Kalotte bestimmt. Die Abriebverschleißraten werden sowohl für den Grundwerkstoff als auch für die Beschichtung nach dem in 9.2 beschriebenen Verfahren berechnet.

Bei der Prüfmart B wird im Verlauf der Prüfung auch die Schichtdicke t bestimmt (siehe 8.3.10 und Anhang A).

8.2 Prüfung nach Prüfmart A: ohne Perforation der Beschichtung

8.2.1 Bei Verwendung einer Prüfeinrichtung mit einer freien Kugel wird sichergestellt, dass Kugel und Antriebswelle nicht durch Schleifmittelreste aus vorherigen Prüfungen verschmutzt sind. Sobald die Probe in dem Prüfsystem fest eingespannt ist, wird die Motordrehzahl auf den korrekten Wert eingestellt. Die Motordrehzahl wird während der gesamten Prüfserie so geregelt, dass eine konstante Drehzahl erreicht wird. Für die Kugel wird eine Oberflächengeschwindigkeit von $0,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ empfohlen, die bei einer Kugel mit einem Durchmesser von 25 mm einer Drehzahl von etwa 80 min^{-1} entspricht.

ANMERKUNG Bei Prüfsystemen mit freier Kugel sind die Drehzahl der Kugel und die Drehzahl der Antriebswelle im Allgemeinen verschieden.

8.2.2 Das Prüfsystem wird so eingestellt, dass an der Prüfstelle auf die gegen die Probe gepresste Kugel die vorgesehene Normalkraft wirkt. Die empfohlene Kraft beträgt 0,2 N.

Falls eine zu große Kraft auf die Probe aufgebracht wird, können unzureichend abgegrenzte Kalotten erzeugt werden. Um das zu verhindern, wird eine aufgebrachte Kraft von höchstens 0,4 N empfohlen.

Bei Prüfeinrichtungen mit einer freien Kugel führt die durch die Drehung der Kugel entstehende Reibung zu einer anderen auf die Probe aufgebrachten Normalkraft als bei Prüfeinrichtungen mit einer festen Kugel (siehe Literaturhinweis [8]). Deshalb sollte bei Prüfsystemen mit freier Kugel zur Ermittlung der wahren Normalkraft bevorzugt eine Kraftmessdose verwendet werden.

8.2.3 Die Einrichtung zur Zuführung der Aufschlammung und der Antriebsmotor für die Kugel werden eingeschaltet, wobei sichergestellt wird, dass die gesamte Kontaktfläche der Kugel schon während der ersten Umdrehung vollständig mit Schleifmittelaufschlammung bedeckt ist. Die Zuführgeschwindigkeit der Aufschlammung muss so eingestellt werden, dass die Kontaktfläche zwischen Kugel und Probe stets gut befeuchtet ist. Die benutzte Aufschlammung darf nicht aufgefangen und wiederverwendet werden. Die verwendete Kugeldrehzahl wird aufgezeichnet.

8.2.4 Während jeder Prüfserie wird die Umgebungstemperatur aufgezeichnet. Wenn die Feuchte die Viskosität der Aufschlammung beeinflussen kann, wird auch sie aufgezeichnet, z. B. bei Verwendung einer hygroskopischen Flüssigkeit.

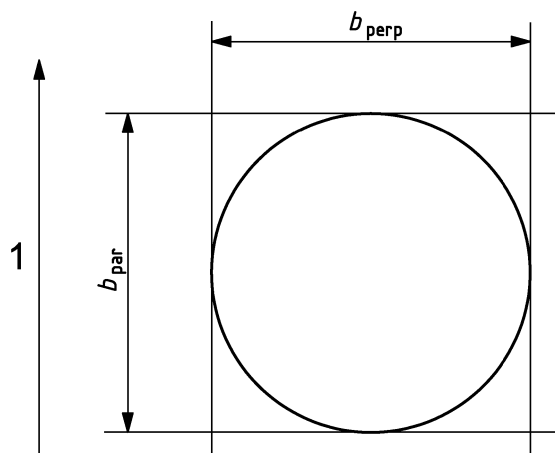
8.2.5 Die Normalkraft und alle während der Prüfung auftretenden Kraftänderungen werden aufgezeichnet.

8.2.6 Die Prüfung wird nach einer zuvor festgelegten Prüfdauer beendet (durch Ausschalten des Antriebsmotors und der Zuführeinrichtung für die Aufschlammung).

ANMERKUNG Die erforderliche Drehzahl hängt von dem zu prüfenden Werkstoff und den angewendeten Prüfbedingungen ab, und es wird erforderlich sein, diese durch Vorprüfungen festzulegen.

8.2.7 Nach Beendigung der Prüfung wird die Probe entnommen und nach dem gleichen Verfahren gereinigt, das vor der Prüfung angewendet wurde (siehe 7.3).

8.2.8 Der Kalottendurchmesser b wird parallel und senkrecht zur Richtung der Kugeldrehung gemessen (siehe Bild 2). Falls b_{par} und b_{perp} um weniger als 10 % voneinander abweichen, wird der Mittelwert aus diesen Messwerten bestimmt und als Kalottendurchmesser angegeben. Kalotten, die diese Bedingung nicht erfüllen, dürfen zur Berechnung der Abriebverschleißraten nicht verwendet werden.



Legende

- 1 Richtung der Kugeldrehung
- b_{perp} Durchmesser der Kalotte senkrecht zur Richtung der Kugeldrehung
- b_{par} Durchmesser der Kalotte parallel zur Richtung der Kugeldrehung

Bild 2 — Messung der Kalotte ohne Perforation der Beschichtung

8.2.9 Die Abriebverschleißrate der Beschichtung wird nach dem in 9.1 beschriebenen Verfahren berechnet.

8.2.10 Die Prüfung wird mindestens dreimal an jeder Probe wiederholt.

8.3 Prüfung nach Prüffart B: mit Perforation der Beschichtung

8.3.1 Bei der Prüfeinrichtung, bei der die Kugel nach jeder Messung des Kalottendurchmessers erneut in der Kalotte positioniert werden kann, darf eine einzige Kalotte verwendet und nach jeder Prüfung ausgemessen werden. Anderenfalls wird eine Serie von Kalotten ausgewertet, die mit zunehmenden Prüfzeiten erzeugt wurden.

8.3.2 Bei Verwendung einer Prüfeinrichtung mit einer freien Kugel wird sichergestellt, dass Kugel und Antriebswelle nicht durch Schleifmittelreste aus vorherigen Prüfungen verschmutzt sind. Sobald die Probe in dem Prüfsystem fest eingespannt ist, wird die Motordrehzahl auf den korrekten Wert eingestellt. Die Motordrehzahl wird während der gesamten Prüfserie so geregelt, dass eine konstante Drehzahl erreicht wird. Für die Kugel wird eine Oberflächengeschwindigkeit von $0,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ empfohlen, die bei einer Kugel mit einem Durchmesser von 25 mm einer Drehzahl von etwa 80 min^{-1} entspricht.

ANMERKUNG Bei Prüfsystemen mit freier Kugel ist die Drehzahl der Kugel im Allgemeinen von der Drehzahl der Antriebswelle verschieden.

8.3.3 Das Prüfsystem wird so eingestellt, dass an der Prüfstelle auf die gegen die Probe gepresste Kugel die vorgesehene Normalkraft wirkt. Die empfohlene Kraft beträgt 0,2 N.

Falls eine zu große Kraft auf die Probe aufgebracht wird, können unzureichend abgegrenzte Kalotten erzeugt werden. Um das zu verhindern, wird eine aufgebrachte Kraft von höchstens 0,4 N empfohlen.

Bei Prüfeinrichtungen mit einer freien Kugel führt die durch die Drehung der Kugel entstehende Reibung zu einer anderen auf die Probe aufgebrachten Normalkraft als bei Prüfeinrichtungen mit einer festen Kugel (siehe Literaturhinweis [8]). Deshalb sollte bei Prüfsystemen mit freier Kugel zur Ermittlung der wahren Normalkraft bevorzugt eine Kraftmessdose verwendet werden.

8.3.4 Die Einrichtung zur Zuführung der Aufschlammung und der Antriebsmotor für die Kugel werden eingeschaltet, wobei sichergestellt wird, dass die gesamte Kontaktfläche der Kugel schon während der ersten Umdrehung vollständig mit Schleifmittelaufschlammung bedeckt ist. Die Zuführgeschwindigkeit muss so eingestellt werden, dass die Kontaktfläche zwischen Kugel und Probe stets gut feucht ist. Die benutzte Aufschlammung darf nicht aufgefangen und wieder verwendet werden. Die verwendete Kugeldrehzahl wird aufgezeichnet.

8.3.5 Während jeder Prüfserie wird die Umgebungstemperatur aufgezeichnet. Wenn die Feuchte die Viskosität der Aufschlammung beeinflussen kann, wird auch sie aufgezeichnet, z. B. bei Verwendung einer hygroskopischen Flüssigkeit.

8.3.6 Die Normalkraft und alle während der Prüfung auftretenden Kraftänderungen werden aufgezeichnet.

8.3.7 Die Prüfung wird in zuvor festgelegten Intervallen unterbrochen (durch Ausschalten des Antriebsmotors und der Zuführeinrichtung der Aufschlammung). Falls eine *In-situ*-Messung des Kalottendurchmessers und eine erneute exakte Einbringung der Kugel in die erzeugte Kalotte möglich ist, wird die Kugel entnommen, die Kalotte auf geeignete Weise gereinigt und der Durchmesser a der Kalotte im Grundwerkstoff, sowohl parallel als auch senkrecht zur Richtung der Kugeldrehung, gemessen (siehe Bild 3). Nachdem der Durchmesser gemessen wurde, wird die Kugel wieder in die Kalotte eingebracht und die Prüfung fortgesetzt (durch Einschalten des Motors und der Zuführeinrichtung der Aufschlammung). Alternativ wird die Probe so verschoben, dass bei der nächsten Prüfung der Prüffolge eine neue Prüfstelle abgerieben werden kann.

Bei geringer Eindringtiefe in den Grundwerkstoff führt der Ablauf des Abriebprozesses zu einem ungleichmäßigen Kalottenrand im Grundwerkstoff. Dadurch wird eine Messunsicherheit für die Kalottengröße eingebracht, die größer als die Messabweichung sein kann. Eine Dominanz der üblichen Messabweichung wurde festgestellt [10], wenn die Eindringtiefe in den Grundwerkstoff die Korngröße des Schleifmittels d überschreitet. Diese Bedingung ist erfüllt [10], wenn der Kalottendurchmesser im Grundwerkstoff größer ist als das Produkt $8Rd$, wobei R der Kugelradius und d die mittlere Korngröße des Schleifmittels ist. Wenn der gemessene Kalottendurchmesser im Grundwerkstoff weniger als $8Rd$ beträgt, darf dieser Messwert bei der Auswertung nach Abschnitt 9 nicht verwendet werden.

ANMERKUNG Die geforderte Drehzahl hängt von dem zu prüfenden Werkstoff und den angewendeten Prüfbedingungen ab. Erwiesenermaßen ist eine Reihe von Kalotten, zu deren Erzeugung 400, 600, 900, 1 200, 1 500 und 2 000 Umdrehungen angewendet wurden, für eine Prüfung an einer Titannitridbeschichtung mit einer Dicke von etwa $3\text{ }\mu\text{m}$ auf einem Grundwerkstoff aus gehärtetem und angelassenen Schnellstahl unter Verwendung einer SiC-Schleifmittelaufschlammung mit einem Volumenanteil von 20 %, einer Kraft von 0,2 N, einem Kugeldurchmesser von 25 mm und einer linearen Geschwindigkeit von $0,1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ geeignet.

8.3.8 Nach Beendigung der Prüfung wird die Probe entnommen und nach dem gleichen Verfahren gereinigt, das vor der Prüfung verwendet wurde (siehe 7.3).