

Prozessverhalten und Bohrungsqualität beschichteter Werkzeuge beim Einlippentiefbohren nichtrostender Stähle

Weniger Werkzeug- verschleiss beim Tiefbohren

Zur Steigerung der Produktivität kann im Bereich der Produktionstechnik auf den Einsatz beschichteter Zerspanwerkzeuge nicht verzichtet werden. In Abhängigkeit des Fertigungsverfahrens und des zu bearbeitenden Werkstoffs ist es heute möglich, speziell auf den Bearbeitungsprozess abgestimmte Beschichtungssysteme einzusetzen.

Die zunehmend an Bedeutung gewinnenden nichtrostenden Stähle erfordern nach wie vor eine Anpassung der Zerspanprozesse. Die mechanischen Eigenschaften sowie die Neigung dieser Stähle zur Adhäsion führen zu einem ausgeprägten Werkzeugverschleiss, der die Standzeit, die Prozesssicherheit und die Bauteilqualität einschränken kann, so dass der Einsatz von Beschichtungen als sinnvoll erscheint. Im Rahmen des vorliegenden Beitrags wird das Einsatzverhalten verschiedener Beschichtungen beim Einlippentiefbohren nichtrostender Stähle untersucht.

Eigenschaften der Beschichtungen

Zu den wichtigsten Aufgaben der Beschichtungen zählt, die Auswirkungen von Adhäsions- und Abrasivverschleiss sowie Diffusions- und Oxida-

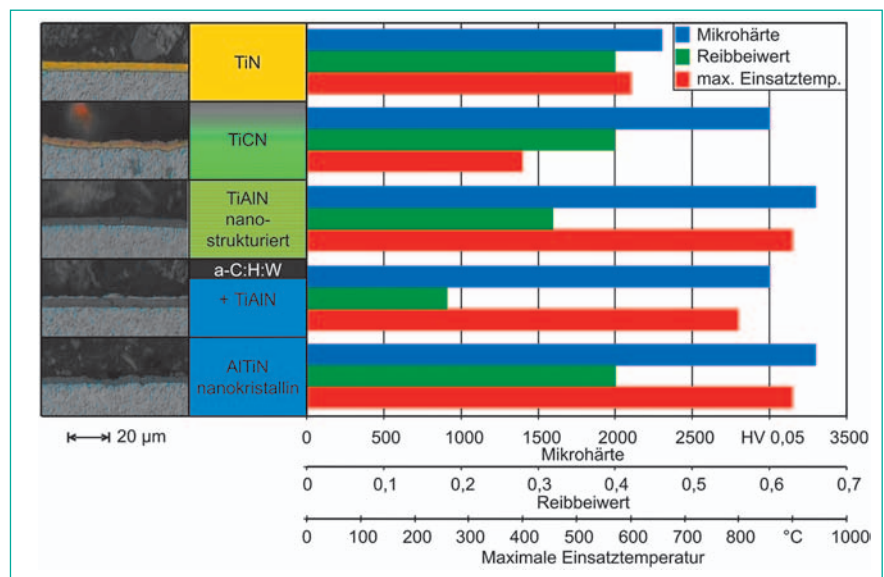


Abb. 1 Eigenschaften der untersuchten Beschichtungen (nach Balzers).

tionsvorgänge zu reduzieren. Durch die hohe Härte und die chemische Stabilität der eingesetzten Hartstoffe und der damit verbundenen Minderung der Adhäsion zwischen Werkzeug und Werkstoff sowie der Wirkung als thermische Sperrschicht wird die Verschleissbeständigkeit des Schneidstoffs erhöht. Für Werkzeuge aus Vollhartmetall, die in der Stahlbearbeitung, insbesondere der Bearbeitung nichtrostender Stähle, eingesetzt werden, ist die Verringerung des Adhäsionsverschleisses besonders wichtig. Diese Werkstoffe neigen zu Materialanhaftungen an der Schneidkante, die abreißen und zu Schneidkantenabrüchen führen können.

Dem Hartmetallsubstrat kommen u. a. die Aufgaben zu, für eine gute Schichthaftung zu sorgen und eine ausreichende Zähigkeit zu gewährleisten. Diese Zähigkeit sollte nicht durch den Beschichtungsprozess vermindert werden. Daher kommen für Bohrwerkzeuge zumeist nur die PVD-

Verfahren zum Einsatz [1]. Die Verbesserung der Beschichtungsverfahren ermöglicht es, zahlreiche Hartstoffe und Hartstoffkombinationen in variablen Zusammensetzungen und Schichtstrukturen abzuscheiden. Zum Tiefbohren nichtrostender Stähle nach dem Einlippverfahren mit beschichteten Werkzeugen sind nur vereinzelt Erkenntnisse über das Prozessverhalten und die erreichbare Bohrungsqualität vorhanden. Vor diesem Hintergrund wurden martensitische, austenitische und austenitisch-ferritische Werkstoffe mit unterschiedlich beschichteten Werkzeugen zerspannt, um für das Tiefbohren geeignete Beschichtungen zu ermitteln.

Einsatzverhalten der eingesetzten Beschichtungen

Die Eigenschaften von Beschichtungen können anhand verschiedener Kennwerte beschrieben werden. Abb. 1 zeigt eine Übersicht der untersuchten Beschichtungen und Angaben zu

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Klaus Weinert
Leiter des Instituts für Spanende
Fertigung (ISF) der Uni Dortmund.
Dipl.-Ing. Stephan Wittkop und
Dipl.-Ing. Fabian Felderhoff,
beide wissenschaftliche
Mitarbeiter am ISF.

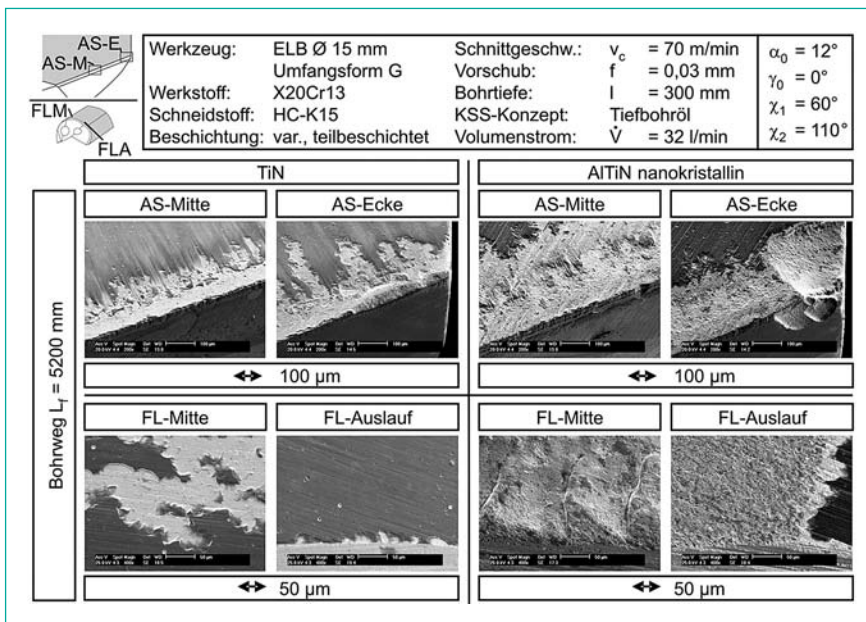


Abb. 2 Vergleich des Werkzeugverschleisses von TiN- und AlTiN-Beschichtungen.

Härte, Reibbeiwert und max. Einsatztemperatur.

TiN konnte sich als Werkzeugschicht durch ein grosses Einsatzfeld verbreiten und wird vielfach genutzt, obwohl diese Schicht eine relativ geringe Härte und maximale Einsatztemperatur aufweist. Die Entwicklung der Beschichtungen hat andere Sorten mit verbesserten Neneigenschaften hervorgebracht, sodass die TiN-Schicht von Herstellern nur noch für einfache Anwendungsfälle empfohlen wird. Im Rahmen der durchgeführten Versuche zeigt die TiN-Schicht ein gutes Verschleissverhalten. Eine relativ gute Bohrungsqualität wird erzeugt und der Spanbruch ist allgemein günstig. Der zur Adhäsion neigende austenitische Stahl führt jedoch zu einem relativ hohen Verschleiss, insbesondere an der Führungsleiste.

Die TiCN-Schicht ist eine Modifikation der TiN-Schicht. Durch die Zugabe von Kohlenstoff wird die Härte der Schicht erhöht, die Oxidationsbeständigkeit jedoch gemindert. Das empfohlene Einsatzgebiet zeigt in Relation zur TiN-Schicht Eisenwerkstoffe höherer Festigkeit an. Die Versuchsauswertung zeigt für diese Schicht sehr gute Ergebnisse, denn der Verschleiss ist an Schneiden und Führungsleisten äusserst gering. Am Ende des Bohrweges kam es jedoch bei der Bearbeitung des austenitischen Stahls zu einem geringfügigen und

bei der Bearbeitung des austenitisch-ferritischen Stahls zu einem deutlichen Ausbruch des Hartmetalls.

Die nanostrukturierte TiAlN-Schicht wird vom Hersteller für viele Zerspanaufgaben von Eisenwerkstoffen mit geometrisch bestimmter Schneide empfohlen. Im Versuch zeigt sich, dass die universelle Einsetzbarkeit auch Vorteile beim Einlippentiefbohren durch moderaten Verschleiss, günstiges Bruchverhalten der Späne und gute Bohrungsflächen bietet. Die Einsatzgebiete der mehrlagigen a-C:H:W + TiAlN-Schicht liegen in der Trockenbearbeitung und Gewindeherstellung. Die amorphe Kohlenstoffschicht weist einen geringen Reibbeiwert auf und soll damit für eine günstige Spanabfuhr sorgen. Im Rahmen dieser Untersuchung zeigte sich der Einfluss der Weichstoffschicht nur in Einzelfällen wie bei der Bearbeitung des martensitischen Stahls X20Cr13. Die entstehenden Spanformen waren jedoch ungünstiger als bei den anderen Beschichtungen. In Einzelfällen verklemmten sich Späne in der Späneschleuse der Tiefbohrmaschine, verstopften diese und machten den Abtransport der Späne unmöglich.

Das Einsatzfeld der nanokristallinen AlTiN-Beschichtung liegt in der Hart- und Hochgeschwindigkeitsbearbeitung. Bei dieser und der a-C:H:W + TiAlN-Schicht zeigt sich ein ungünstiges Verschleissverhalten bei schlech-

ter Bohrungsqualität. Die schlechtere Bohrungsrauheit beim Einsatz dieser Werkzeuge kann durch den stärkeren Verschleiss der Führungsleisten begründet werden. Die Ergebnisse dieses Beitrags zeigen, dass die hohe Oxidationsbeständigkeit der Schichten aus dem System TiAlN nicht das entscheidende Kriterium für die Wahl der richtigen Beschichtung ist. Auch die Reduzierung des Reibbeiwerts durch eine Weichstoffschicht führt zu keinen signifikanten Vorteilen, die einen Einsatz rechtfertigen. Als nützliche Schichteigenschaften zeigen sich eine mittlere bis hohe Härte bei einer guten Scherfestigkeit und Zähigkeit.

Vergleich zwischen TiN- und AlTiN-Beschichtung

Abb. 2 zeigt einen exemplarischen Vergleich von Werkzeugen mit TiN- und nanokristalliner AlTiN-Beschichtung. Der Vergleich stellt den Verschleiss im mittleren Bereich der Aussenschneide und an der Aussenschneidenecke dar. Für die Führungsleiste sind Aufnahmen der Führungsleistenmitte und des -auslaufs abgebildet. Der Bohrweg beträgt für beide Werkzeuge $L_f = 5,2$ m.

Die Vergleichsdarstellung zeigt für das mit TiN beschichtete Werkzeug abrasiven Verschleiss an der Aussenschneidenecke. Auffällig sind in diesem Bereich die schmalen, spitz zulaufenden Abschieferungen auf der Spanfläche, die vermutlich durch die Schartigkeit der Schneidkante hervorgerufen werden. In der Führungsleistenmitte ist die Beschichtung abgeplatzt, das freigelegte Hartmetall jedoch ungeschädigt. Im Führungsleistenauslauf zeigen sich nur geringe Schädigungen im Übergang zur Stirnseite. Diese können jedoch auch eine Vorschädigung des Werkzeugs sein, die durch das Nachschleifen hervorgerufen wurde.

Im Vergleich dazu zeigt das mit AlTiN beschichtete Werkzeug eine erheblich stärker abgetragene Hartstoffschicht und einen ausgeprägten Kolk auf der Spanfläche. An der Aussenschneidenecke ist darüber hinaus Hartmetall ausgebrochen. Am Führungsleistenauslauf ist die Beschichtung bis über das Ende der Führungsleiste hinaus abgetragen. Im aufgerauten Hartmetall sind geringe Materialanhaftungen zu erkennen. In der Führungsleis-

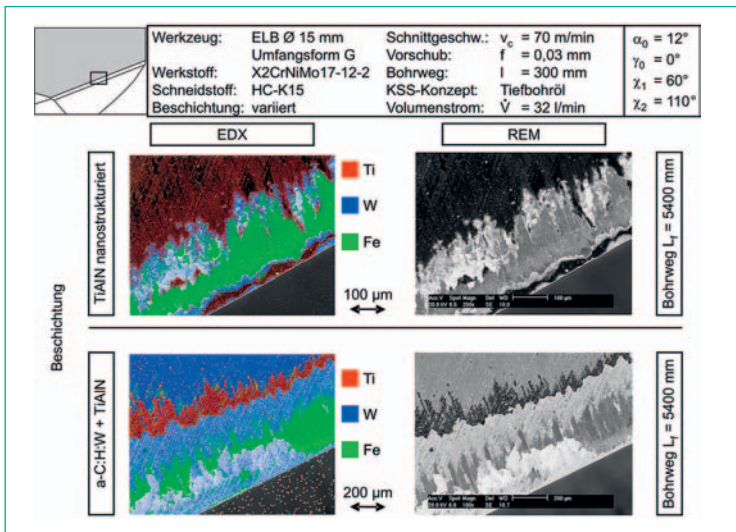


Abb. 3 Vergleich des Werkzeugverschleisses von TiAlN- und a-C:H:W+TiAlN-Beschichtungen.

tenmitte ist das Hartmetall sogar deutlich zerklüftet. Dieser Vergleich zeigt ein Beispiel für das Verhalten der eingesetzten Schichten, das für andere Werkstoffe vergleichbar ist. Um das Einsatzverhalten weiterer Schichten näher zu analysieren, werden neben den Rasterelektronenmikroskopaufnahmen auch Darstellungen herangezogen, die mit Hilfe der energiedispersiven Röntgenanalyse erzeugt wurden (Abb. 3). In diesem Falle werden Werkzeuge verglichen, die zur Bearbeitung des austenitischen Werkstoffs eingesetzt wurden. Auf der Spanfläche des mit der nanostrukturierten TiAlN-Beschichtung versehenen Werkzeugs ist ein schmaler Streifen Restbeschichtung zu erkennen, hinter dem sich ein Kolk ausbildet. Der ablaufende Span trägt Beschichtung und Hartmetall ab und erzeugt so eine raue Oberfläche. Durch das Ausbilden und Ablösen von Pressschweißverbindungen wird Hartmetall mitgerissen. Es ist zu sehen, dass die Materialanhaftungen ebenfalls spitz zulaufen. Es entsteht der Eindruck, dass der Werkstoff auf der Spanfläche ausgewalzt wird. Der Übergangsbereich von geschädigtem Hartmetall mit Materialanhaftungen zum Bereich der intakten Beschichtung ist schmal.

Reduzierte Verschleissmarkenbreite

Auf der Spanfläche des mit a-C:H:W + TiAlN beschichteten Werkzeugs ist ein stärkerer Verschleiss zu erkennen.

An der Schneidkante ist keine Restbeschichtung auszumachen, jedoch sind unscharfe Schleifriefen aus dem Werkzeugschleifprozess noch vorhanden. Diese gehen in einen Kolk mit zerklüftetem Hartmetall über, in dem Materialanhaftungen festzustellen sind. Im Gegensatz zum Werkzeug mit der nanostrukturierten TiAlN-Beschichtung folgt ein Übergangsbereich von intaktem Hartmetall. Auch in der Rasterelektronenmikroskopaufnahme ist eine ebene Fläche mit sichtbaren Riefen aus dem Werkzeugschleifprozess auszumachen. Erst nach einem Abstand von ca. 150 µm ist Beschichtung zu erkennen. Zunächst ist die TiAlN-Schicht zu sehen, die im weiteren axialen Verlauf der Spanfläche von der amorphen Kohlenstoffschicht bedeckt wird. Im Übergang von Hartstoffschicht zu Weichstoffschicht ist ebenfalls eine geringe Menge des Stahls festzustellen, die auf ein Anhaften während des Ablaufens des Spans hindeutet. Die Aufnahmen zeigen deutlich einen Zustand, in dem das Hartmetall ohne Unterstützung einer Hartstoffschicht die Ausbreitung des Kolks verhindert. Die Hartstoffschicht ist bereits stärker abgetragen und kann somit keinen Einfluss mehr haben.

In bisherigen Untersuchungen zum Einlippentiefbohren nichtrostender Stähle mit einem Werkzeugdurchmesser von $d = 15$ mm wurden ausschließlich unbeschichtete Werkzeuge eingesetzt. Die Messergebnisse der Verschleissmarkenbreite und die



Ob in Zukunft bereits Raumsonden oder Roboter aus Kunststoff ferne Planeten erkunden, wissen wir noch nicht. Aber wir sind sicher, dass raffinierte Spritzgussteile aus Hightechkunststoffen bei der Eroberung neuer Welten eine wichtige Rolle spielen.

Schon heute fertigen wir anspruchsvolle Spezialteile mit Einlegeteilen zu einbaufertigen Komponenten, welche in anspruchsvollen Umgebungen erfolgreich eingesetzt werden und die hohen Anforderungen der Hightechindustrie erfüllen.

Dürfen wir Sie auf Ihrer nächsten Mission begleiten?

KTEC

Spritzgiesstechnik

K-Tec
 Spritzgiesstechnik AG
 Rietliaustrasse 2
 CH-8804 Au ZH
 Tel. 044 683 24 40
 Fax 044 683 24 44
 www.k-tec.ch

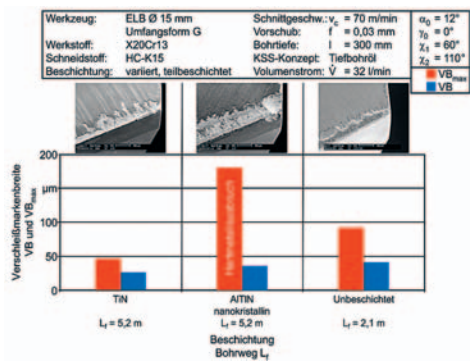


Abb. 4 Vergleich der Verschleissmarkenbreite bei Variation der Beschichtung.

Aufnahmen der Werkzeuge mit dem Rasterelektronenmikroskop sind in Abb. 4 dargestellt.

Ein Vergleich der Ergebnisse dieser Untersuchung mit den bisherigen Ergebnissen zeigt, dass eine Reduzierung der maximalen Verschleissmarkenbreite an der Aussenschneide durch bestimmte Schichten erreicht werden kann. Der Vergleich bezieht sich auf identische Schnittwertkombinationen. Obwohl die unbeschichteten Werkzeuge nur für eine geringere Bohrgewlänge von $L_f = 2,1$ m eingesetzt wurden, lässt sich eine deutliche Verbesserung der Verschleissbeständigkeit bei der Bearbeitung der jeweiligen Werkstoffe feststellen [4].

Bohrungsqualität

Der Einsatz von Beschichtungen auf der Führungsleiste führt zu veränderten Reibverhältnissen und beeinflusst somit die entstehende Bohrungsqua-

lität. Der Einfluss der Beschichtungen auf die Bohrungsqualität zeigt sich besonders deutlich bei der Bearbeitung des martensitischen Stahls. Der Vergleich der Bohrungsqualität berücksichtigt die Ergebnisse zum Einsatzverhalten unbeschichteter Einlippenbohrer, die für die Schnittwertkombination von $v_c = 70$ m/min und $f = 0,03$ mm bei der Bearbeitung des martensitischen Werkstoffs in einer vorherigen Untersuchung ermittelt wurden [5]. Der Vergleich dieser Ergebnisse mit den im Rahmen dieser Arbeit ermittelten Messwerten ist in Abb. 5 dargestellt. Zur Beschreibung der Bohrungsqualität wurden die Kenngrößen der gemittelten Rautiefe und des Rundheitsfehlers herangezogen, da diese in der Versuchsauswertung am empfindlichsten auf das Verschleissverhalten der Werkzeuge reagieren. Die zur Beschreibung der Qualität von Bohrungen ebenfalls wichtigen Kennwerte der Durchmesserabweichung und des Mittenverlaufs zeigen keine eindeutige Beeinflussung in Abhängigkeit der Beschichtung und sind deshalb nicht dargestellt.

Die Übersichtsdarstellung verdeutlicht, dass bei Einsatz der TiN-Beschichtung die geringsten Rundheitsfehler und Bohrungsrauheiten erzeugt werden. Diese Kenngrößen nehmen bei Einsatz der nanokristallinen AlTiN-Schicht zu. Die höchsten Werte werden beim Einsatz des unbeschichteten Werkzeugs festgestellt.

Dabei ist zu beachten, dass die Werkzeuge in einer vorherigen Versuchsreihe nur für einen Bohrgew $L_f = 2100$ mm eingesetzt wurden. Der Ver-

schleiss des Werkzeugs spielt eine entscheidende Rolle für die Bohrungsqualität, sodass bei einem weiteren Einsatz des unbeschichteten Werkzeugs die Messwerte steigen werden.

Fazit

Zu den für das Einlippentiefbohren nichtrostender Stähle geeigneten Beschichtungen zählen die TiN-, die TiCN und die nanostrukturierte TiAlN-Schicht. Die Ergebnisse der Versuche zeigen, dass die nanokristalline AlTiN- und die a-C:H:W+TiAlN-Beschichtung weniger geeignet sind. Die geeigneten Schichten zeichnen sich durch geringeren Schneiden- und Führungsleistenverschleiss, eine günstige Spanform sowie eine gute Bohrungsroundheit und -oberfläche aus. Damit wurden grundlegende Erkenntnisse zum Prozessverhalten beschichteter Werkzeuge bei der Tiefbohrbearbeitung nichtrostender Stähle gesammelt, die zur Auswahl geeigneter Beschichtungen genutzt werden können. Gegenüber unbeschichteten Werkzeugen kann ebenfalls eine signifikante Verbesserung von Bohrungsqualität und Werkzeugverschleissverhalten bei Einsatz der geeigneten Beschichtungen festgehalten werden. Die Ergebnisse dieses Berichtes sind Teil eines Forschungsprojektes, das von der DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft) gefördert wird.

Literatur:

- [1] Cselle, T.: Mono- oder Multilayer, das ist hier die Frage! – Beschichtungen für rotierende Werkzeuge um 2000. Konferenz-Einzelbericht: Werkstoffwissenschaftliche Schriftenreihe, Band 41 (2000) Seite 3–8, Aachen.
- [2] Müller, P.: Schichtsysteme für Bohrwerkzeuge. In Spanende Fertigung 3. Ausgabe, Vulkan Verlag, Essen, 2001.
- [3] Tillmann, W.; Vogli, E.: Einsatz von PVD-Beschichtungen für Zerspanwerkzeuge. In Spanende Fertigung, 4. Ausgabe, Vulkan Verlag, Essen, 2005.
- [4] Weinert, K.; Wittkop, S.: Einlippenbohren von austenitischem Stahl mit hohen Schnittdaten. Technica, Ruppertsuil, Band 52 (2003), Heft 24, Seite 10–14.
- [5] Wittkop, S.: Einlippentiefbohren korrosionsbeständiger Stähle unter Einsatz von Werkzeugen mit unterschiedlichen Umfangaformen. In: Spanende Fertigung, 4. Ausgabe, Hrsg. K. Weinert, Vulkan Verlag, Essen, 2005.

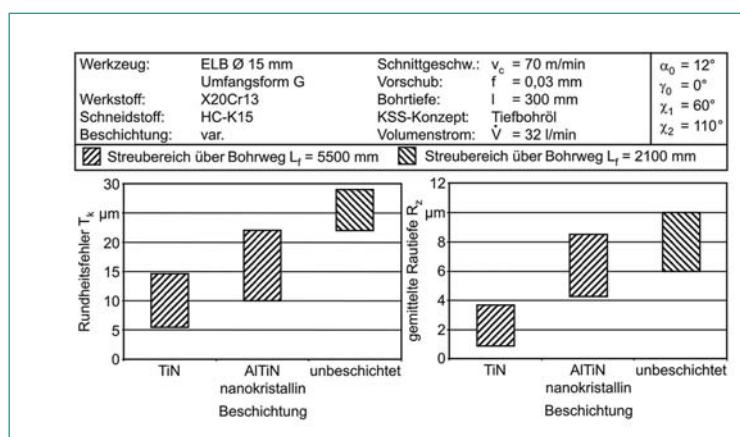


Abb. 5 Einfluss der Beschichtung auf die Bohrungsqualität.