

Einsatz der konfokalen Weisslichtmikroskopie in der spanenden Fertigung

Optische Vermessung technischer Oberflächen

Die Beurteilung von Bauteiloberflächen ist ein wichtiges Kriterium bei der Bewertung des Fertigungsergebnisses spanend hergestellter Werkstücke. Die Werte für die Oberflächenrauheit müssen ähnlich wie die Bauteilmasse und die Werte für Form- und Lageabweichung in bestimmten Toleranzen liegen, um die Funktionalität des Bauteils zu gewährleisten. Durch den Einsatz eines konfokalen Weisslichtmikroskops können sowohl Masse und Konturen an einem Bauteil als auch dreidimensionale Rauheitskennwerte erfasst werden.

Die konfokale Weisslichtmikroskopie gehört zu den optischen Messverfahren und ist in der Lage, Oberflächen mit einer Auflösung bis in den Nanometerbereich zu erfassen. Im Gegensatz zur Rasterelektronenmikroskopie bietet es, neben der detaillierten Betrachtung der Oberfläche darüber hinaus die Möglichkeit, diese hochauflösend zu vermessen. In [1,2] wird die Funktionsweise dieser Messtechnik beschrieben. Aufgrund der hohen Messgenauigkeit und Reproduzierbarkeit der Ergebnisse kommt die konfokale Weisslichtmikroskopie bei einer Vielzahl von Anwendungen, wie der Medizintechnik, Oberflächentechnik,

Autor

Dipl.-Ing. Michael Hagedorn, Jahrgang 1971, studierte Maschinenbau mit dem Schwerpunkt Produktionstechnik an der Universität Dortmund. Er ist seit Juni 2000 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Spanende Fertigung (ISF) der Universität Dortmund.

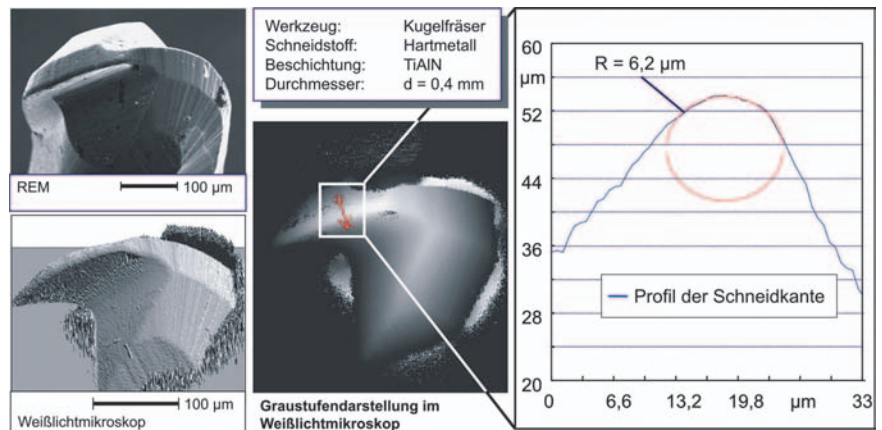


Abb. 1, Schneidkantenverrundung beim Mikrofräsen.

Automobilbau, Halbleitertechnik, Forensik, etc. zum Einsatz [3].

In der spanenden Fertigung wurde das Messprinzip bislang wenig eingesetzt. Insbesondere bei sehr kleinen Werkzeugen ist jedoch mit konventionellen Mitteln beispielsweise die Verschleissmessung oder die Bestimmung der Kantenverrundung kaum möglich. Rasterelektronische Untersuchungen können in diesem Zusammenhang nur qualitative Aussagen bieten, da eine Vermessung von Gegenständen im Rasterelektronenmikroskop (REM) aufgrund der zweidimensionalen Darstellungsweise nicht möglich ist.

Abb. 1 zeigt auf der linken Seite Abbildungen eines Mikrofräasers, die sowohl mit einem Weisslicht- als auch mit einem Rasterelektronenmikroskop aufgenommen wurden. Bei Fräsworkzeugen dieses Durchmesserbereiches kommt es häufig zu der Problematik, dass aufgrund der geringen Schnitttiefe die Schneidkantenverrundung einen erheblich grösseren Einfluss auf den Zerspanprozess besitzt als bei grösseren Werkzeugen. Aus diesem Grund ist die Kenntnis des tatsächlich vorliegenden Spanwinkels beim Mikrofräsen von grosser Bedeutung [4].

Beurteilung von Spannungswerkzeugen

Auch bei grösseren Werkzeugen ist die Kenntnis der tatsächlich am Werkzeug vorliegenden Abmessungen und Oberflächenbeschaffenheiten wichtig für die Prozessbeurteilung. Abb. 2 zeigt eine grossflächige Weisslichtmikroskopische Aufnahme einer Wendeschneidplatte, wie sie für Wendeplatzenbohrer im Durchmesserbereich von etwa 25 mm für die Bearbeitung nichtrostender Stähle eingesetzt wird. Mit Hilfe von weisslichtmikroskopischen Aufnahmen können die tatsächlich vorliegenden Winkel am Werkzeug vermessen und die Veränderungen in Folge des Zerspanprozesses verfolgt werden. Darüber hinaus bietet das Weisslichtmikroskop die Möglichkeit, die Oberflächenrauheiten von Bauteilen zu ermitteln. Diese sind auf Spanflächen von Schneidwerkzeugen von grosser Bedeutung, da eine grosse Oberflächenrauheit den Spanabfluss auf der Spanfläche behindern kann. Ist die Messung entlang des grünen Pfeils Nr. 2 aufgrund der ebenen Oberfläche und des langen Tastweges mit taktilen Messmitteln noch denkbar, ist eine Abtastung in Spanflussrichtung entlang des grünen Pfeils Nr. 1 taktil unmöglich, wo-

bei die Aussagekraft der Oberflächenrauheit in Spanflussrichtung zur Prozessbeurteilung deutlich grösser als orthogonal zu dieser Richtung ist. Auch bei Werkzeugen mit geometrisch unbestimmter Schneide bieten weisslichtmikroskopische Messungen die Möglichkeit, wichtige Erkenntnisse über das Einsatzverhalten beim Zerspanungsprozess zu gewinnen. *Abb. 3* zeigt einen so genannten Schleifstift, der eine Art Bohrwerkzeug mit geometrisch unbestimmter Schneide darstellt. Diese Werkzeuge werden zur Einbringung von Bohrungen in Werkstoffe eingesetzt, bei denen aufgrund ihrer Härte oder ihres strukturellen Aufbaus eine Zerspanung mit geometrisch bestimmter Schneide nicht möglich ist. Dies sind im Wesentlichen keramische oder hartstofffaserverstärkte Werkstoffe [5]. Mit Hilfe der konfokalen Weisslichtmikroskopie ist es möglich festzustellen, welche und wie viele der Hartstoffkörner momentan im Eingriff wären und zu verfolgen, wie sich die einzelnen Körner während des Zerspanprozesses verändern und schliesslich aufgrund von Abstumpfung oder umfassendem Verlust der Trägermatrix aus dem Verbund lösen [6].

3D-Oberflächenrauheitswerte

Neben werkzeugbezogenen Messungen können mit dem konfokalen Weisslichtmikroskop auch bauteilbezogene Kennwerte ermittelt werden,

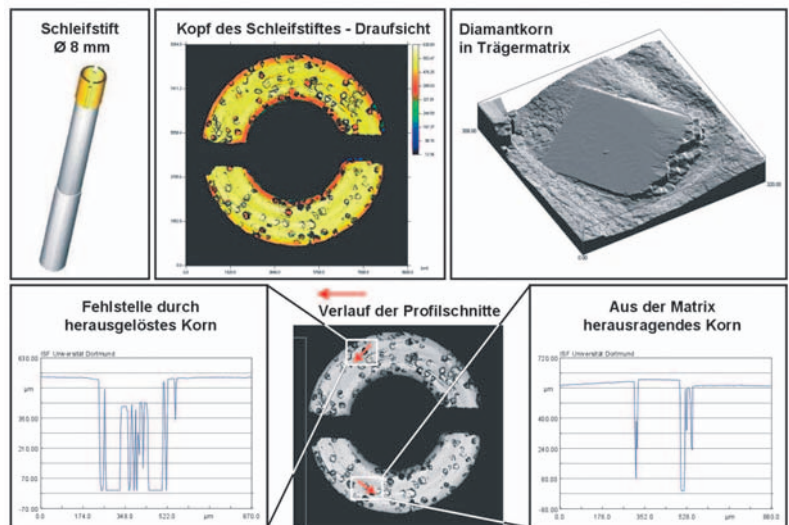


Abb. 3, Weisslichtmikroskopische Aufnahmen eines Schleifstiftes.

um so das Bearbeitungsergebnis besser beurteilen zu können. Dabei ist es beispielsweise möglich, für verschiedene Fertigungsverfahren charakteristische Oberflächengestalten sichtbar zu machen und miteinander zu vergleichen. *Abb. 4* zeigt Bauteiloberflächen, die mit unterschiedlichen Verfahren mit geometrisch bestimmter Schneide hergestellt wurden. Zu beachten ist dabei die unterschiedliche Auflösung der vertikalen Achse. Bei der durch Drehen hergestellten Oberfläche ist der Werkzeugvorschub als Abstand der Oberflächenspitzen und die verwendete Schneidengeometrie, die sich in der Bauteiloberfläche abbildet, deutlich erkennbar. Bei der

tiefgebohrten Probe wird der Einfluss der Führungsleisten auf die Ausbildung der Oberfläche besonders deutlich. Während in den Rauheitstälern die Schneide ähnlich wie bei der Drehoberfläche eine spitz zulaufende Kontur im Abstand des Vorschubes gebildet hat, wurden die Oberflächenhöhen durch die Führungsleisten eingeebnet und es bilden sich Plateaus. Bei der gebohrten Oberfläche zeigt sich das typische Profil aus offenen und geschlossenen Oberflächenbereichen, was zum einen durch die Schneidenecke zur Bildung von Tälern aber auch zum anderen durch den Einfluss der Nebenschneiden auf die Bohrungswand zum Einebnen der Oberflächenspitzen und zum Auffüllen der Täler führt. Bei durch Fräsen hergestellten Oberflächen ist weniger der Werkzeugvorschub als der Zahnvorschub erkennbar. Es bilden sich entlang der linearen Werkzeugbewegung um den Zahnvorschub versetzte Vorschubriefen auf der Bauteiloberfläche aus und die Bewegungsrichtung des Werkzeugs ist durch die Ausrichtung der konvexen Seite dieser Riefen deutlich erkennbar. Zusätzlich zu den durch spanende Bearbeitung hergestellten Oberflächen zeigt *Abb. 5* auch das Profil einer glattgewalzten Oberfläche. Dabei ist zu erkennen, dass sich durch das Glattwalzen die Oberflächenbeschaffenheit gegenüber der gebohrten Oberfläche vorher deutlich verbessert hat, und erheblich glatter und regelmässiger wird.

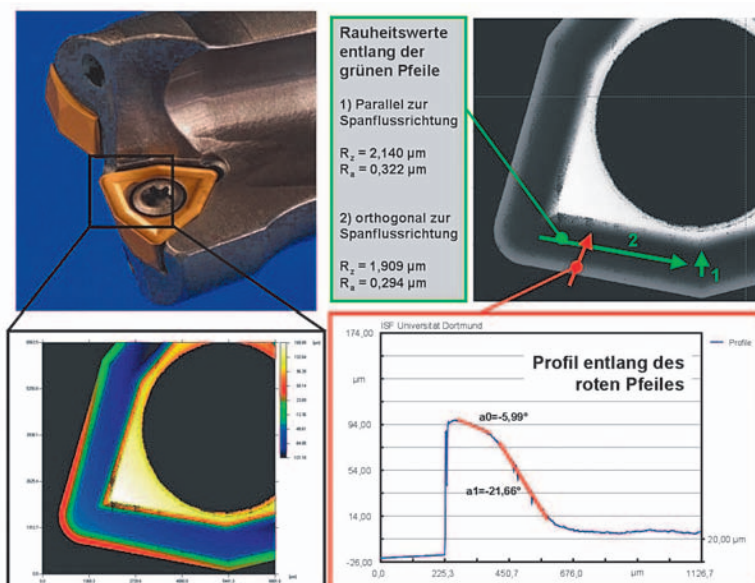


Abb. 2, Abbildung einer Wendschneidplatte.

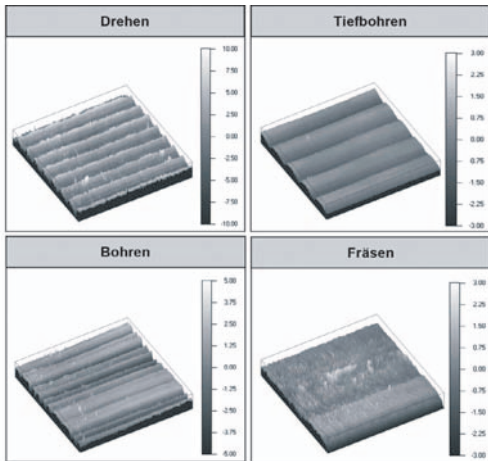


Abb. 4, Mit geometrisch bestimmter Schneide hergestellte Oberflächen.

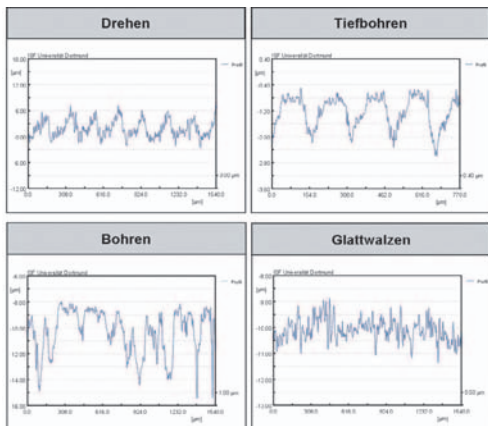


Abb. 5, Profilschnitte durch ausgewählte Bauteiloberflächen.

512 Einzelmessungen mit einer Aufnahme

Bei der Ermittlung von Oberflächenrauheitskennwerten mit Hilfe von R_a - und R_z - Werten hängt das tatsächliche Ergebnis nicht unerheblich von den gewählten Taststrecken ab. Dadurch können einzelne Oberflächen-defekte zu starken Wertschwankungen führen. Darüber hinaus ist insbesondere bei periodischen Profilen, wie bei der Herstellung von Oberflächen mit geometrisch bestimmter Schneide, die Ausrichtung der Taststrecke von grösster Bedeutung, da parallel zur Vorschubrichtung erheblich abweichende Oberflächenrauheiten gemessen werden, als dies orthogonal dazu der Fall ist.

Abb. 6 zeigt auf den beiden oberen Bildern die Oberflächenkennwerte R_a und R_z für Beispielmessungen von

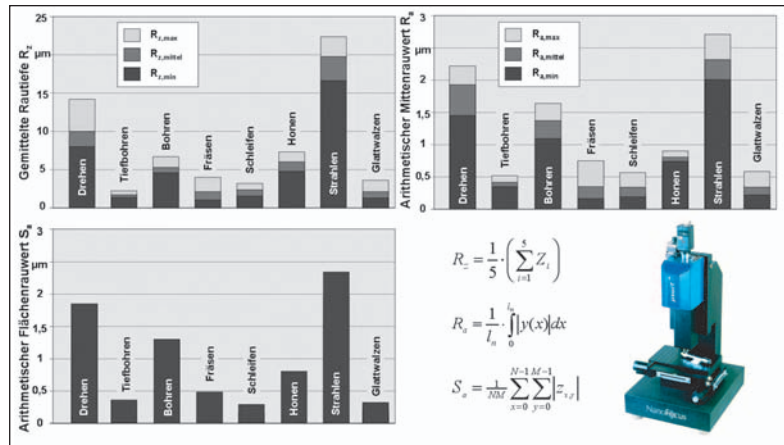


Abb. 6, Vergleich verschiedener mittels konfokaler Weisslichtmikroskopie ermittelter Rauheitskenngrößen.

Proben, die mit verschiedenen Fertigungsverfahren hergestellt wurden. Mit Hilfe des konfokalen Weisslichtmessmikroskops ist es möglich, in einer Aufnahme 512 Einzelmessungen oder mehr durchzuführen. Dabei zeigt sich, wie breit die Ergebnisse bei den einzelnen Verfahren streuen können und wie die Messungen durch Oberflächenfehler beeinflusst werden. So ist beispielsweise bei der hier untersuchten Fräsprobe einer TiAl-Legierung der Streubereich der Einzelwerte grösser als der Betrag des Mittelwertes.

Da bei der Bestimmung der Oberflächenkennwerte mit Hilfe der R_a - und R_z - Grössen die Ausrichtung der Taststrecke einen grossen Einfluss auf die Messergebnisse hat, ist es sinnvoll, einen dreidimensionalen Flächen-

kennwert zu ermitteln, der ausrichtungsunabhängig zur Beurteilung der Oberfläche herangezogen werden kann. Da dies mit den in der industriellen Anwendung häufig zum Einsatz kommenden taktilen Rauheitstastern nicht möglich ist, haben sich diese Oberflächenkenngrößen noch nicht durchgesetzt. Abb. 6 zeigt unten den arithmetischen Flächenrauwert S_a der Bauteiloberflächen.

Literatur:

- [1] Valentin, J.; Weber, M.; Brodmann, R.; Sharp, A.: 3D-characterisation of sheet metal and roller surfaces by means of confocal microscopy. Advanced Materials Research, Band 6-8 (2005), S. 543-550
- [2] Valentin, J.; Weber, M.; Brodmann, R.; Grigat, M.: Optische 3D-Charakterisierung technischer Oberflächen mittels konfokaler Mikroskopie. In: Spanende Fertigung, Prozesse - Innovationen - Werkstoffe, 4. Ausgabe, Hrsg.: Weinert, K., 2005, ISBN 3-8027-2935-8, S. 33-42
- [3] www.nanofocus.info
- [4] Weinert, K.; Kahnis, P.: Untersuchung von Gröseneinflüssen auf den Mikro-Fräsprozess. In: Prozessskalierung, Hrsg. Vollertsen, F., Bias Verlag Bremen, 2005, ISBN 3-933762-17-0, S. 253-259
- [5] Jansen, T.: Bohrungsbearbeitung hoch harter faserverstärkter Keramik mit Schleifstiften. In: Spanende Fertigung, Prozesse - Innovationen - Werkstoffe, 4. Ausgabe, Hrsg.: Weinert, K., 2005, ISBN 3-8027-2935-8, S. 156-162
- [6] Weinert, K.; Jansen, T.: Faserverstärkte Keramiken - Einsatzverhalten von Schleifstiften bei der Bohrungsfertigung in C/C-SiC. cfi ceramic forum international / Berichte der Deutschen Keramischen Gesellschaft, 82 (2005) 13, Sonderausgabe 2005, Hrsg.: Krenkel, W., ISSN 01739913, Göller Verlag, Baden Baden, S. 34-39

Zusammenfassung

Reproduzierbare Angaben zur Oberflächenbeschaffenheit

Die konfokale Weisslichtmikroskopie bietet völlig neue Möglichkeiten der Vermessung technischer Oberflächen und Konturen. Dies kann sich auf sehr kleine Objekte beziehen, wie beispielsweise die Ermittlung der Schneidkantenverrundung bei Mikrofräsen, aber auch auf die Vermessung grösserer Objekte wie bei der Ermittlung des Spanwinkels an Wendeschneidplatten oder der Eingriffsverhältnisse an Schleifstiften. Neben den Werkzeugen können auch die hergestellten Bauteile hinsichtlich der Erfüllung der an sie gestellten Anforderungen untersucht werden. Dabei ist es durch die Weisslichtmikroskopie möglich, deutlich aussagefähigere und reproduzierbarere Angaben zur Oberflächenbeschaffenheit der Werkstücke zu machen.

Infos

Institut für Spanende Fertigung
DE-44227 Dortmund
Tel. +49 231 755 48 59
hagedorn@isf.de