

Die Zerspanbarkeit von offenzelligen metallischen Werkstoffen beim Fräsen

Dipl.-Ing. U. Teicher

1 Einleitung

Anisotrope und inhomogene Werkstoffe werden zunehmend aufgrund ihrer spezifisch auslegbaren technischen Eigenschaften eingesetzt, auch um Leichtbauforderungen zu berücksichtigen oder multifunktionelle Anwendungen zu gewährleisten.

Zu dieser Gruppe der anisotropen Werkstoffe gehören auch metallische zelluläre Werkstoffe. Der strukturelle Aufbau ist in der Natur häufig zu finden wie beispielsweise im Knochen oder bei Holzern und wird im Kunststoffbereich in Form von Schaumstoffen schon seit geraumer Zeit angewandt.

Die Anwendung metallischer Schaumstrukturen erfolgt heutzutage speziell im medizinischen Bereich und in der chemischen Industrie.

Die Bearbeitung erfolgt zurzeit hauptsächlich mit funkenerosiven Verfahren mit denen relativ gute Oberflächengüten erreichbar sind [1,2]. Jedoch sind diese Verfahren unproduktiv gegenüber spanenden Technologien und ebenfalls beschränkt hinsichtlich der erreichbaren Formenvielfalt der erzeugbaren Geometrien. Es sind nur wenige Untersuchungen zum spanenden Verhalten dieser Werkstoffe vorhanden [3,4].

Ziel der Arbeiten ist es, spanende Verfahren mit geometrisch bestimmter Schneide am Beispiel von Fräsverfahren bei der Bearbeitung offenzelliger metallischer Schäume auf deren Zerspanbarkeit zu untersuchen.

2. Experimenteller Aufbau und Durchführung

Die Untersuchungen wurden am Beispiel der Fräsbearbeitung im Umfangsschnitt durchgeführt. Das heißt, dass ein Schafffräser eingesetzt wurde. Das Werkzeug unterlag folgender Spezifikation:

- unbeschichtetes Vollhartmetall VHM K10/20
- Durchmesser 10 mm

Für die Untersuchungen wurden Werkzeuge betrachtet, deren Orthogonal-Spanwinkel γ_0 variierten. Bei dem untersuchten Werkstoff handelte es sich um einen offenzelligen austenitischen Stahlwerkstoff, der mit Hilfe eines pulvermetallurgischen Herstellungsprozesses hergestellt wurde.

Die Bewertung des Verschleißes als auch der Oberfläche der Werkstückproben wurde mit Hilfe mikroskopischer Verfahren durchgeführt.

3. Versuchsergebnisse

Die Untersuchungen beziehen sich auf die Zerspanbarkeit des Werkstoffes, wobei dieser Begriff die komplexe Eigenschaft eines Werkstoffes beschreibt, sich unter gegebenen Bedingungen spanend bearbeiten zu lassen. Dazu notwendigen Bewertungskenngrößen als Teilaspekte der Zerspanbarkeit sind vor allem in Form des Verschleißverhaltens der Werkzeuge, der erreichbaren Oberflächengüten, der Zerspankräfte sowie spezifischere Kriterien wie die Spanentstehung bzw. Spanform gegeben.

Werkzeugverschleiß

Die Verschleißformen lassen sich grundsätzlich in drei verschiedene Mechanismen einteilen

- Ausplatzungen an der Hauptschneide (Abb. 1)
- Schneidkantenverrundung
- Adhäsionsverschleiß

Hauptursache für den Mechanismus der Ausplatzungen ist die punktuelle Belastung der Stegquerschnitte auf die Hauptschneide. Im Gegensatz zur Zerspanung homogener Werkstoffe tritt damit nur lokal eine hohe Last die infolge einer Werkstoffüberlastung zu Ausplatzungen führt. Befördert wird dieser Prozess zusätzlich durch Werkstoffinhomogenitäten am Schneidkeil, die bei der Werkzeugherstellung durch die Schleifbearbeitung in Form von Randzonenschäden induziert wurden. Weiterhin ist der Schneidwerkstoff Hartmetall als Sinterwerkstoff durch Mikrolunker gekennzeichnet, die ebenfalls die Struktur des Schneidkeils schwächen. Diese Form des Verschleißvorganges stellt den Initialverschleiß dar und tritt schon nach sehr geringen Vorschubwegen auf.



SF 40°-Freifl_Nr.1-Alt, 15.04.08, 20kV, 15mm, 500x — 30 µm —

Abb. 1: Ausplatzungen an der Hauptschneide

Parallel kommt es auch zu Adhäsionsverschleiß, in dem der zu zerspanende Werkstoff in die ausgeplatzten Strukturen eingepresst wird. Da es sich bei dem zu zerspanenden Werkstoff um einen austenitischen Stahl handelt, ist dieses Phänomen besonders ausgeprägt. Dieser Effekt kann jedoch durch die stützende Wirkung des Werkstoffes in den ausgeplatzten Strukturen des Schneidwerkstoffes vorteilhaft sein und stabilisierend wirken. Nachteilig wirkt sich die Adhäsion des Werkstoffes auf der Spanfläche aus, die als Aufbauschneide besonders bei Werkzeugen mit geringen Spanwinkeln auftritt.

Durch den Einsatz der Werkzeuge bei hohen Spanvolumina kommt jeder Punkt der Hauptschneide statistisch gesehen zum Eingriff mit dem Werkstoff. Damit ergibt sich nach größeren Vorschubwegen eine Schneidkantenverrundung, die besonders bei Werkzeugen mit großem Spanwinkel ausgeprägt ist.

Zerspankräfte

Die Zerspankräfte sind sehr gut für die Prozessbewertung geeignet, wobei die Zerspankraft in Schnitt-, Vorschub- und Passivkräfte unterteilt werden kann. Aufgrund der Messung mit einem 3-Komponenten-Dynamometer sollen hier jedoch auf die Kräfte in Vorschubrichtung und die Kräfte orthogonal zur Vorschubrichtung eingegangen werden, die Teilkomponenten der Aktivkraft sind. Da es sich bei den Versuchen um Messungen im freien orthogonalen Schnitt handelt, wurde die Passivkraft als Axialkraft in der Auswertung vernachlässigt.

Legt man die Berechnung der Teilkomponenten der Zerspankraft dem Ansatz von Kienzle zu Grunde (Gleichung 1), ist mit sehr geringen Kräften zu rechnen, da die Spannungsdicke als auch Spannungsbreite durch die inhomogene poröse Struktur des Werkstoffes weitaus geringer als der homogene Werkstoff sind. Gleichzeitig ändern sich diese Größen während der Bearbeitung entlang des Eingriffsbogens, so dass bei gleichen Eingriffswinkeln variable Spannungsbreiten vorhanden sind.

$$F_{c/f/p} = b \cdot (f_z \cdot \sin \kappa_r) \cdot K_{1c/f/p} \cdot (f_z \cdot \sin \kappa_r)^{K_{2c/f/p}} \quad \text{Gleichung 1}$$

Mit diesem Verhalten kann maßgeblich die Ausbildung des Verschleißbildes begründet werden. Die Untersuchungen zeigten, dass sowohl die Kraft in Vorschubrichtung als auch die Kraft orthogonal zur Vorschubrichtung abhängig vom eingestellten Vorschub sind. Dies entspricht auch der Erwartungshaltung auf der Basis der Kraftgleichung nach Kienzle. Weiterhin könnte festgestellt werden, dass mit steigendem Spanwinkel, d.h. mit sinkendem Keilwinkel, die Teilkomponenten der Aktivkraft sinken. Jedoch ist dieser Einfluss aufgrund der geringen Spanstauchung und Spanreibung auf der Spanfläche gering. Der Einfluss der Schnittgeschwindigkeit auf die Teilkomponenten der Aktivkraft im untersuchten Bereich von 50 bis 400 m/min ist zu vernachlässigen.

Oberflächenqualität

Die Ausbildung der Oberflächenqualität ist eines der wichtigsten Kriterien der Zerspanbarkeit, da damit direkt die Produkteigenschaften beeinflusst werden können. Die visuelle Überprüfung der Oberflächenstruktur nach der Bearbeitung zeigte drei Schädigungsmechanismen ausgehend von einer idealen Trennfläche:

- Werkstoffverschmierungen
- Gratbildung
- Materialausrisse

Grundlage für diese Einordnung war die Definition einer Soll- oder auch Optimaloberfläche. Diese Optimaloberfläche ist ein theoretisches Gebilde, stellt eine Ebene im mathematischen Sinne dar und wird fertigungstechnisch am ehesten durch Drahterodierprozesse erreicht.

Verschmierungen sind dabei verquetschte Spanreststücke, abgerissene Aufbauschneidenelemente des Werkzeuges oder auch nicht abgetrennte sondern umgeformte Stegstrukturen. All diese Reststücke werden doch in jedem Fall in die vorhandenen offenen Poren eingedrückt. Das Ergebnis äußert sich dann in einem Flächenelement innerhalb der Poren.

Es konnte festgestellt werden, dass mit steigendem Vorschub pro Zahn die Neigung zu verschmierten Oberflächen abnimmt. Weiterhin kann die Neigung zur Verschmierung direkt mit dem Schneidkantenradius des Werkzeuges beeinflusst werden, wobei mit steigenden Radien ein höheres Verschmierungsverhalten verbunden ist.

Die Gratbildung stellt sich als ein Überstehen von einzelnen Reststegen gegenüber der Optimaloberfläche dar. Ursache des Verhaltens ist eine Zurückfederung von unzureichend abgetrenntem Material. Dieses Phänomen tritt mehrheitlich beim Austritt des Werkzeuges aus der Werkstückkontur auf und stochastisch auch auf der Werkstückoberfläche.

Die Materialausrisse sind dadurch gekennzeichnet dass größere verbundene Stegstrukturen unterhalb der Optimaloberfläche aus dem Werkstoffverbund herausgerissen werden. Die Ursache dieses Verhaltens ist im Herstellungsprozess der offenzelligen Metallschäume zu suchen. Dabei ist festzustellen, dass die Stege keinen einheitlich konstanten Stegdurchmesser aufweisen. Durch die Einwirkung Zerspankräfte kommt es zu einer Überlastung von tiefer liegenden Stegstrukturen und damit zum Ausreißen größerer Werkstoffpartikel.

Im Gegensatz zur Verschmierungsneigung ist mit steigendem Vorschub pro Zahn ein Anstieg der ausgerissenen Strukturen festzustellen.

Diese Aussagen beruhen auf einer Auszählung der Oberflächenunvollkommenheiten SIM [5,6], d.h. genauer einer Betrachtung der Fläche einer einzelnen Oberflächenunvollkommenheit je Flächeneinheit $SIMa/A$. Die Auswertung gestaltet sich aufgrund der genauen Charakterisierung der jeweiligen Oberflächenunvollkommenheit als aufwendig, so dass eine kennwertbezogene Oberflächenbewertung mit Hilfe von mechanischen oder optischen vorteilhaft wäre.

4. Zusammenfassung

Anhand der experimentellen Untersuchungen konnte gezeigt werden, wie sich die Teilaspekte der Zerspanbarkeit bei der Fräsbearbeitung von offenzelligen metallischen Werkstoffen grundlegend verhalten.

Das Zerspanverhalten des Werkstoffes gleicht dabei in vielen Gesichtspunkten homogenen Werkstoffen. Maßgebliche Unterschiede sind jedoch im Verschleißverhalten zu finden. Das Auftreten von Ausplatzungen an der Hauptschneide ist daher Ausdruck der besonders hohen punktuellen Belastung der Hauptschneide.

Die Bewertung der Oberflächenstruktur gestaltet sich als schwierig, da etablierte Bewertungsverfahren aufgrund der Struktur nicht anwendbar sind. Die visuelle Beurteilung anhand bestehender Empfehlungen [Quelle ISO 8785] ist jedoch möglich und zeigt den Einfluss der Schnittparameter bzw. der Werkzeuggestalt auf die Oberflächenstruktur. Dabei kann die gezielte Beeinflussung der Oberflächenstruktur anhand des Bearbeitungsregimes und die nachfolgende Beurteilung der Oberflächenstruktur für die Zukunft ein wichtiges Forschungsgebiet darstellen.

Literatur

- [1] Ashby M.F.; Evans A.G.; Fleck N.A.; Gibson L.J.; Hutchinson J.W.; Wadley H.N.G.: Metal foams: a design guide; Butterworth – Heinemann, 2000, ISBN 0-7506-7219-6
- [2] Miller, S.F.; Shih, A.J.; Qu, J.: Investigation of the spark cycle on material removal rate in wire electrical discharge machining of advanced materials; International Journal of Machine Tools & Manufacture, (44) 2004, pp. 391-400.
- [3] Bram, M.; Kempmann, C.; Laptev, A.; Stöver, D.; Weinert, K.: Investigations on the machining of sintered titanium foams utilizing face milling and peripheral grinding; ADVANCED ENGINEERING MATERIALS, 5 (6) 2003, pp. 441-447.
- [4] Weinert, K.; Bram, M.; Kempmann, C.; Stöver, D.: Machinability Investigations Concerning the Milling and Grinding of Metal Foams; Production Engineering, Vol X/2 2003, pp. 65-70.
- [5] Noppen, G.; Sigalla, J.; Czichos, H.; Petersohn, D.; Schwarz, W.: Technische Oberflächen - Teil 1 -Oberflächenbeschaffenheit - Teil 2- Oberflächenatlas, 2nd Edition., 1985, Beuth Verlag GmbH, ISBN 3-410-11863-2
- [6] N.N.: Geometrical Product Specifications (GPS) - Surface Imperfections - Terms, definitions and parameters (ISO 8785: 1998), 1998, ISO standard