

ISSN 2078-7405. Резание и инструмент в технологических системах, 2015, выпуск 85

УДК 621.91.01

B. Karpuschewski, Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. h.c. Th. Emmer, Dr.-Ing. Dr. h.c.
H. Popke, Prof. Dr.-Ing. Habil D.A. Borysenko, M.Sc.
Magdeburg, Deutschland

STRATEGIE DER SCHNITTAUFTEILUNG. EINE WIRKSAME METHODE ZUR LEISTUNGSANPASSUNG UND VERBESSERUNG DES DYNAMISCHEN SCHNITTVERHALTENS BEIM PLANFRÄSEN

В статті розглядається ефективний метод регулювання потужності фрезерування та покращення динамічних характеристик фрезерування. Запропоновано стратегію скорочення проходів.

В статье рассматривается эффективный метод регулирования мощности и улучшения динамических характеристик фрезерования. Предложена стратегия сокращения проходов.

Der Beitrag beinhaltet eine zusammenfassende Darstellung des Prinzips der Schnittaufteilung als Methode zur dynamischen Prozessstabilisierung beim Planfräsen. Es wird dargelegt, wie die Schnittaufteilung beim Fräsen durch die Kombination von WSP mit unterschiedlichen Formen prinzipiell realisiert werden kann. Neben der Erläuterung weiterer positiver Effekte wird auf die Nutzung der Schnittaufteilung zur Leistungsanpassung unter stabilen Bearbeitungsbedingungen eingegangen.

1. Stand der Technik beim Planfräsen

Der gegenwärtige Stand der Technik beim Fräsen von ebenen Werkstückoberflächen wird bestimmt durch leistungsstarke Werkzeugmaschinen und produktive Werkzeuge, die als Fräsköpfe und Ansteckfräser zur Verfügung stehen. Der Fräsprozess kann also mit hoher Produktivität ausgeführt werden, wenn die vorhandenen technischen Potentiale ausgeschöpft werden. Wesentlichen Einfluss dabei haben aber die konkret in der Praxis vorliegenden Bearbeitungsbedingungen im Gesamtsystem, die vom Werkstück und den Aufspannungen entscheidend mitbestimmt werden. So kann sich die Gestalt der Werkstücke von robuster Kompaktheit bis hin zu filigraner Konfiguration ändern, woraus sich der Stabilitätszustand im Fräsprozess ergibt. Durchgeführte Recherchen haben ergeben, dass kompakte dynamisch stabile „Laborbedingungen“ nur selten vorkommen. Überwiegend werden Flächen an gegossenen oder geschweißten gehäuseförmigen Werkstücken überfräst, bei denen auch die Aufspannbedingungen unzureichend sind. Insgesamt muss eingeschätzt werden, dass in der Fräspraxis sehr oft semistabile bis labile Bearbeitungsbedingungen beim Planfräsen vorliegen.

Erschwerend kommt dazu, dass verfahrenstechnisch durch den unterbrochenen Schnitt beim Fräsen periodische Kraftimpulse auf das Gesamtsystem einwirken und damit eine Schwingungserregung unvermeidlich ist.

© B. Karpuschewski, Th. Emmer, H. Popke, D.A. Borysenko, 2015

Aus dieser Situation erwächst die Forderung nach Werkzeugen, die diese Gegebenheiten berücksichtigen und einen wirtschaftlichen und schwingungstechnisch beherrschbaren Fräsprozess gewährleisten. Fräser mit einer Schneidenanordnung nach der Strategie der Schnittaufteilung können durch ihre stabilisierenden Effekte einen wirksamen Beitrag dafür leisten. Abgeleitet wurde die Entwicklung der Schnittaufteilung aus der jahrelangen Praxiserfahrung, wonach ein kurzer und dicker Span im Spannungsvorgang stabilisierend wirkt und umgekehrt. Offensichtlich geht diese Wirkung auf die geometrische Form des Spanungsquerschnittes und die Kontaktlänge zwischen Schneide und Schnittfläche zurück. Eine weitere Nutzung der Methode der Schnittaufteilung ist aber durchaus auch bei stabilen Bearbeitungsbedingungen auf leistungsstarken Fräsmaschinen gegeben. Im Zusammenhang mit den neueren Schneidelementen, den sogenannten Trigon-Wendescheidplatten sind Hochleistungsfräser auf dem Markt, die vorschubseitig an die Leistungsgrenzen der Maschinen stoßen und für die Praxis nur beschränkt nutzbar sind. Fräswerkzeuge mit einer gestuften Schneidenanordnung können eine Anpassung an die hochmoderne Technik bei stabilen Gegebenheiten und damit eine bessere Nutzung der Leistungspotentiale gewährleisten.

2. Die Strategie der Schnittaufteilung und ihr Einfluss auf das dynamische Schnittverhalten

2.1 Grundanliegen der Schnittaufteilung

Das dynamische Schnittverhalten beim Fräsen und Maßnahmen zur Stabilisierung sind Gegenstand jahrelanger Forschungsarbeiten. So wurden umfangreiche Untersuchungen zu den Auftreffbedingungen, zur Optimierung der Schneidengeometrie, zur Ungleichteilung u. a. durchgeführt. Eine Umsetzung der Erkenntnisse in schwingungsdämpfende Werkzeugkonstruktionen ist jedoch nur ansatzweise erfolgt. Die Möglichkeit zur dynamischen Stabilisierung durch die geometrische Form des Spanungsquerschnittes ist forschungsseitig dagegen nicht aufgegriffen worden, obwohl die Effekte aus der Praxis längst bekannt sind. Mit der Strategie der Schnittaufteilung wurde eine Methode entwickelt, mit der die Wirkung aus der Geometrie des Spanungsquerschnittes deutlich gemacht wird, sich technisch im Werkzeug einfach realisieren lässt und somit einen wirksamen Beitrag zur Verbesserung des dynamischen Verhaltens im Spannungsvorgang leisten kann.

Das Grundanliegen besteht darin, eine solche Schneidenanordnung an den Fräsern vorzunehmen, bei der die Späne mit einer kleinen Spanungsbreite und großer Spanungsdicke entstehen und gleichzeitig geringe Kontaktlängen mit Schnittunterbrechungen auftreten. Üblicherweise wird das Gesamtmaß des Werkstückes in einem oder mehreren Durchgängen abgefräst. Alle Fräferschneiden laufen dabei auf einem gemeinsamen Flugkreis, sind axial auf der gleichen Tiefe angeordnet und erzeugen jeweils einen Span mit vorgegebener Größe und Form.

Bei der Schnittaufteilung wird die Gesamtschnitttiefe auf mehreren aufeinanderfolgenden Schneiden so aufgeteilt, dass sich Größe und Form der einzelnen Spanungsquerschnitte ändern.

Grundsätzlich gilt dabei, dass keine Einbußen an der Produktivität des Fräsvorganges erfolgen. Konkret heißt dies, den Umdrehungs-Vorschub bewusst konstant zu halten. Daraus ergibt sich zwangsläufig, dass sich beispielsweise bei einer Aufteilung der Gesamtschnitttiefe auf zwei Stufen die Schnitttiefe einer Schneidenreihe halbiert und der Zahnvorschub verdoppelt. Mit dieser Grundidee bleibt zwar die Größe des Spanungsquerschnittes gleich, es ändert sich aber seine geometrische Form in der Weise, dass ein möglichst kurzer und dicker Span mit geringem Schlankheitsgrad entsteht, so wie es die bereits erwähnte Praxiserfahrung fordert.

Zu beachten ist aber, dass neben dem erreichbaren Effekt der dynamischen Stabilisierung eine Erhöhung der partiellen Belastung der Werkzeugschneide einhergeht. Wegen dieser gegenläufigen Auswirkungen erfordert die praktische Anwendung der Methode der Schnittaufteilung eine ständige Suche nach der geeigneten Variante und einer akzeptablen Kompromisslösung. Diese Aufgabe ist immer in Abhängigkeit von den aktuell vorliegenden dynamischen und statischen Bearbeitungsbedingungen zu erfüllen.

2.2 Konstruktive Maßnahmen zur Werkzeuggestaltung nach dem Prinzip der Schnittaufteilung

Für eine anwenderfreundliche konstruktive Gestaltung der Werkzeuge müssen folgende Anforderungen erfüllt werden:

- a) Die entwickelten Varianten der Schnittaufteilung sollen für alle Typen von Planfräswerkzeugen, also für Aufsteckfräser und Planfräsköpfe nutzbar sein.
- b) Als Wendeschneidplatten werden die üblichen Formen als Acht- und Zwölfkant sowie Trigon verwendet.
- c) Die Anordnung der Schneidplatten erfolgt entweder direkt im Werkzeug-Grundkörper (Monoblockbauweise) oder über Schneidenträger (Kassettenbauweise).
- d) Für verschiedene Werkzeugdurchmesser sollte die Zähnezahl nach der Anzahl der vorgesehenen Stufen der axialen Schnittaufteilung wie folgt ausgewählt werden:
 - für 2 Stufen: $z = 6, 10, 12, 16, 18, 22$
 - für 3 Stufen: $z = 6, 12, 18, 24$
- e) Die notwendigen konstruktiven Maßnahmen sollen sich auf geringfügige Veränderungen und lediglich auf die Plattensitz-Aufnahmen beschränken.

2.3 Bedeutung der Geometrie des Spanungsquerschnittes

Der Spanungsquerschnitt wird in Größe und Form von den Schnittgrößen Zahnvorschub f_z , Schnitttiefe a_p und dem Einstellwinkel κ_r bestimmt, womit auch die Kontaktlänge festgelegt ist. Wie bereits dargelegt, haben eine kurze Kontaktlänge und ein kompakter Span mit geringem Schlankheitsgrad eine stabilisierende Wirkung im Spanungsvorgang. Dynamisch gesehen ist der quadratische Spanungsquerschnitt ein Extrem- und ebenso ein Idealfall, er verursacht aber gleichzeitig eine maximale partielle Schneidenbelastung und eine große Bruchgefahr. Eine große Kontaktlänge und ein schlanker Span ergeben dagegen eine geringe Verschleißausprägung, eine minimale Gefahr von Eckenausbrüchen und eine meist günstige Spanbildung bewirken jedoch dynamisch eine hohe Instabilität.

In Bild 1 sind die beiden Extremfälle mit dem Einfluss des Einstellwinkels κ_r schematisch dargestellt. Aufgrund der extremen Schneidenbelastung ist der quadratische Spanungsquerschnitt praktisch nicht gebräuchlich. Im zweiten Extremfall ist die volle Ausnutzung einer langen Schneide mit dem kleinstmöglichen Einstellwinkel dargestellt. Bild 1 verdeutlicht den großen Einfluss des Einstellwinkels auf die geometrische Form des Spanungsquerschnittes bei konstanter Größe.

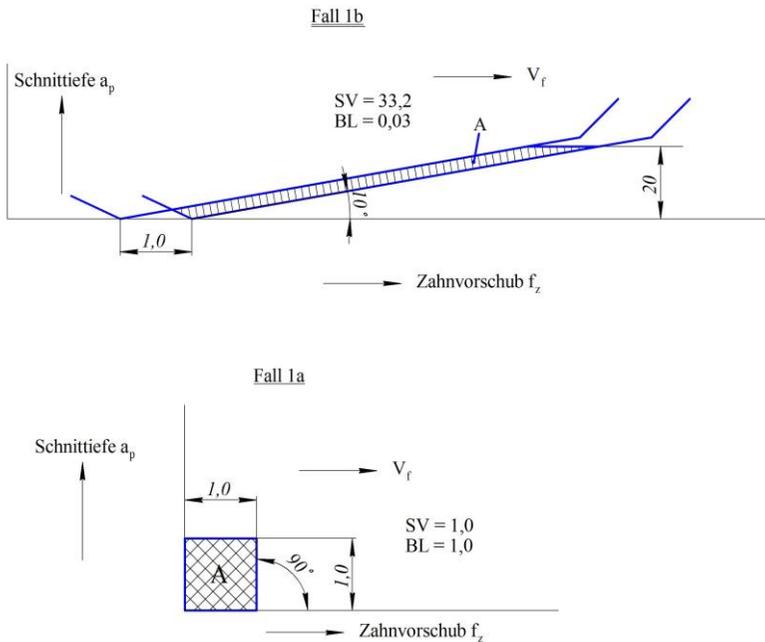


Bild 1 – Einfluss des Werkzeugeinstellwinkels auf die Form des Spanungsquerschnittes

2.4 Quantitative Bewertung des dynamischen Effektes

Für die Bewertung des Einflusses von Größe und geometrischer Form des Spanungsquerschnittes auf das dynamische Schnittverhalten wird das sogenannte Spanungsverhältnis SV eingeführt, das auch den Schlankheitsgrad des Spanes zum Ausdruck bringt.

$$SV = a_p / f_z \cdot 1 / \sin \kappa_r \quad (1)$$

Wendet man diese Gleichung auf die in Bild 1 dargestellten Spanungsquerschnitte an, dann erhält man:

SV = 1,0 für den quadratischen Querschnitt

SV = 32,2 für die schlanke Form

Der zahlenmäßige Betrag von SV = 1,0 drückt also die maximale Stabilität aus. Je größer dieser Wert, desto instabiler wird der Prozess.

2.5 Quantitative Bewertung des Einflusses auf die Schneidenbelastung

Die Haupteinflussgröße für die Schneidenbelastung BL ist der Einstellwinkel κ_r . Kleine Einstellwinkel verschlanken die Spanform, vergrößern die Spanungsbreite, verringern die Spanungsdicke und verbessern damit das Verschleißverhalten der Hauptschneide.

$$BL = a_p / f_z \cdot 1 / \sin \kappa_r \quad (2)$$

Bezogen auf die geometrischen Formen der Spanungsquerschnitte im Bild 1 ergeben sich folgende Zahlenwerte:

BL = 1,0 für die quadratische Form

BL = 0,03 für die schlanke Form

Kleinere Beträge von BL sind ein Ausdruck für eine geringe partielle Schneidenbelastung.

2.6 Festlegung von konstanten Schnittdaten für die Bewertung der vorgeschlagenen Varianten der Schnittaufteilung

- Schnitttiefe $a_p = 3,0$ mm
- Zahnvorschub $f_z = 0,3$ mm
- Spanungsquerschnitt $A = 0,9$ mm²
- Zähnezahl $z = 12$
- Umdrehungsvorschub $f_U = 3,6$ mm/U
- Drehzahl $n = 300$ U/min
- Vorschubgeschwindigkeit $v_f = 1.080$ mm/min

In Bild 2 sind die geometrischen Grundformen des Spanungsquerschnittes A für das Eckfräsen und das Planfräsen schematisch dargestellt.

Mit den obigen Schnittdaten lassen sich folgende Bewertungskenngrößen berechnen:

- für das Eckfräsen: $SV = 10,0$
 $\kappa_r = 90^\circ$ $BL = 0,1$
- für das Planfräsen: $SV = 20,0$
 $\kappa_r = 45^\circ$ $BL = 0,05$
 $\kappa_r = 30^\circ$ $SV = 40,0$
 $BL = 0,025$

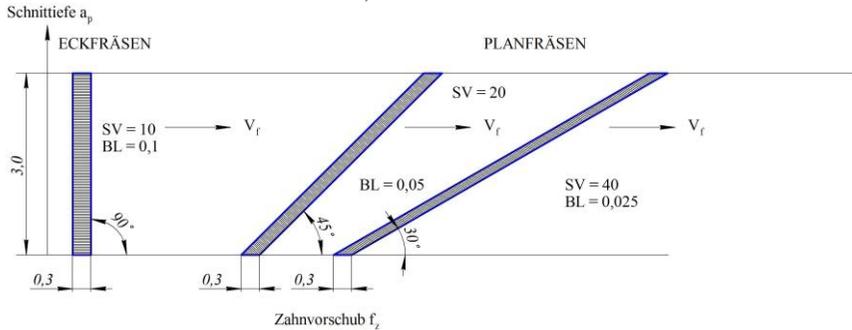


Bild 2 – Grundformen des Spannungsquerschnitts

3. Entwickelte Varianten für die Schnittaufteilung zur dynamischen Stabilisierung sowie zur Leistungsanpassung

3.1 Varianten der Schnittaufteilung zur dynamischen Stabilisierung

3.1.1. Schnittaufteilung durch Schneidenüberkreuzung von zwei aufeinanderfolgenden Acht- und Zwölfkant-Wendeschneidplatten

Durch den wechselnden Eintritt von Acht- und Zwölfkant-Platten mit den Einstellwinkeln $\kappa_r = 45^\circ$ bzw. $\kappa_r = 30^\circ$ kommen unterschiedliche Schneideteile in Kontakt und teilen das Gesamtaufmaß in zwei getrennte Späne auf, wie Bild 3 zeigt. Im Fall 3a wird deutlich, dass bei dem vorgegebenen Zahnvorschub von $f_z = 0,3$ mm durch die Verdoppelung des Vorschubes und Halbierung der Schnitttiefe eine stabilisierende Wirkung erreicht wird, was durch ein durchschnittliches Spannungsverhältnis von $SV = 8,3$ quantitativ zum Ausdruck kommt. Eine Vergrößerung des Vorschubes auf $f_z = 0,5$ mm (siehe Fall 3b) ist durchaus möglich, wobei noch immer eine Schneidenüberkreuzung entsteht und neben der Stabilität eine höhere Produktivität erreicht wird. Erst mit einer Erhöhung des Zahnvorschubes auf $f_z = 0,75$ mm wird der Grenzwert für die Schneidenüberkreuzung erreicht. Dieser Fall 3c ist zudem praktisch nicht relevant, da mit dem realen Zahnvorschub von $f_z = 1,5$ mm die Belastungsgrenze an der Einzelschneide überschritten ist.

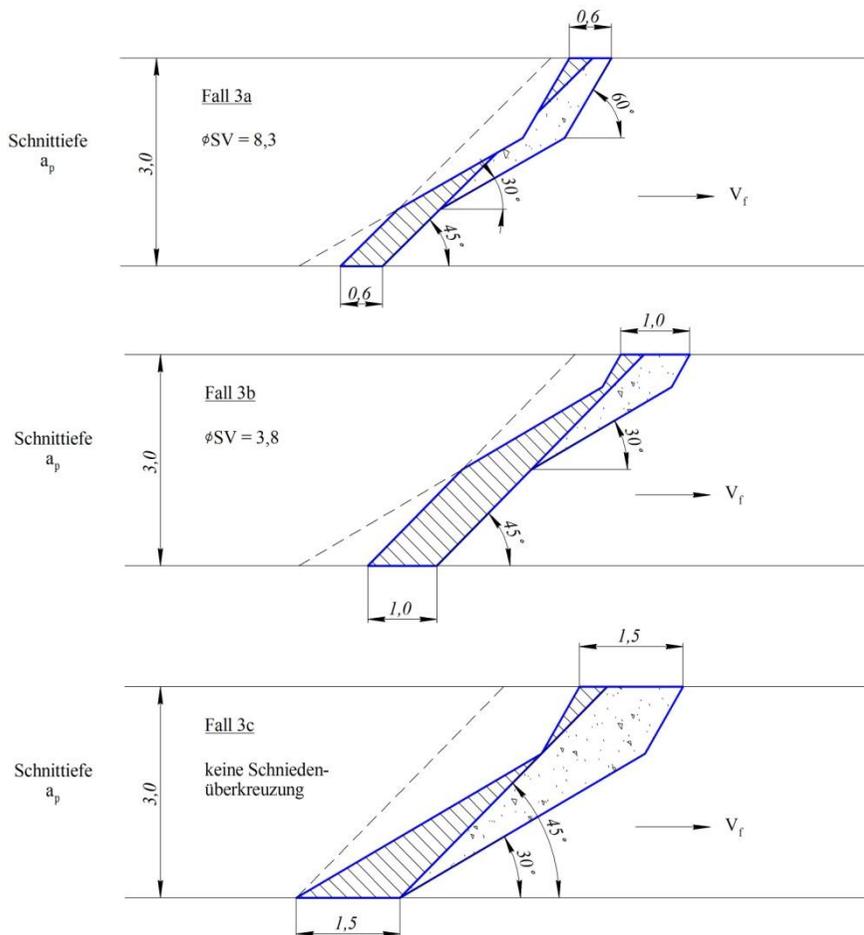


Bild 3 – Varianten zur Aufteilung des Gesamtaufmaßes

3.1.2. Schnittaufteilung durch koaxiale Durchdringung von zwei aufeinanderfolgenden Achtkant-Wendeschneidplatten

Bei dieser Variante wird jede zweite Schneidplatte bei koaxialer Lage um einen Winkel von 30° verdreht, sodass es zu einer Schneidendurchdringung mit der nachfolgenden Achtkant-Schneidplatte kommt. Es entstehen drei voneinander getrennte Späne (Bild 4). Alle Schneidplatten laufen auf einem gemeinsamen Flugkreis, die notwendige konstruktive Maßnahme beschränkt sich lediglich auf die veränderte Winkelstellung jedes zweiten Plattensitzes. Nachteilig ist bei dieser Variante allerdings, dass die Schneidenecke unter $\kappa_r = 15^\circ$ deutliche

Vorschubriefen auf der Werkstückoberfläche hinterlässt, was oft nicht akzeptiert werden kann.

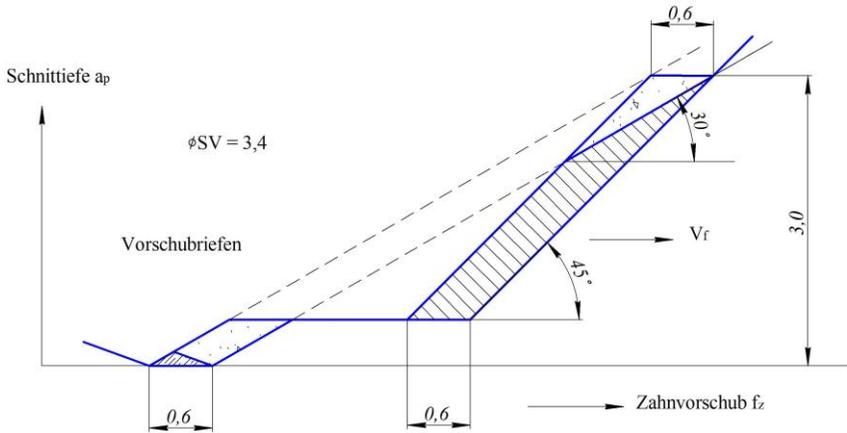


Bild 4 – Prinzip der Schnittaufteilung mit koaxialer Durchdringung

3.1.3. Axiale Schnittaufteilung in zwei und drei Stufen mit Kombination von Acht- und Zwölfkant-Wendeschneidplatten

Bei der zweistufigen Schnittaufteilung entstehen jeweils zwei getrennte Späne mit entsprechender Änderung des Spanungsquerschnittes durch Halbierung der Schnitttiefe und Verdopplung des Zahnvorschubes (siehe Bild 5).

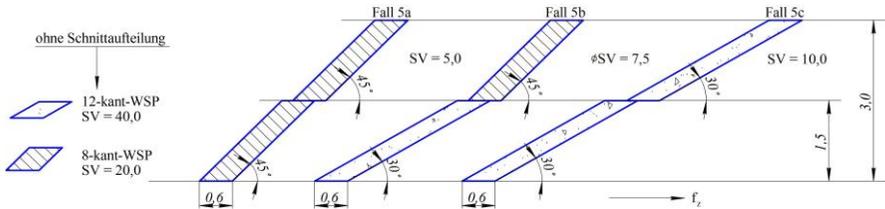


Bild 5 – Prinzip der axialen Schnittaufteilung in zwei Stufen

Im Fall 5a wird ein Spanungsverhältnis von $SV = 0,5$ gegenüber dem Normalfall von $SV = 20,0$ erzielt. Zu der Konstellation 5b wird durch die Anordnung von Zwölfkant-Platten auf der unteren Stufe eine Verstärkung der Schneidenecke angestrebt, während im Fall 5c durch die Nutzung von $\kappa_r = 30^\circ$ auf beiden Stufen eine weitere Entlastung der Schneiden ermöglicht wird.

Bei der dreistufigen Schnittaufteilung fällt eine generell stärkere Wirkung auf die dynamische Stabilisierung auf. Das Spanungsverhältnis von $SV = 2,2$ im Fall 6a nähert sich bereits dem Idealwert von $SV = 1,0$. Allerdings kommt es zu einer extremen Schneidenbelastung mit $BL = 0,45$ und einer hohen Bruchgefahr an den Schneidecken, die im Fall 6b wesentlich entschärft wird. Die Variante 6c führt durch den Einsatz von Zwölfkant-Wendeschneidplatten auf allen drei Stufen zu einer wirksamen Schneidentlastung und hat außerdem den bedeutsamen Vorteil, dass mit der Verfügbarkeit von 12 Schneidkanten eine praktisch relevante Einsparung des Schneidstoffes Hartmetall erreicht werden kann.

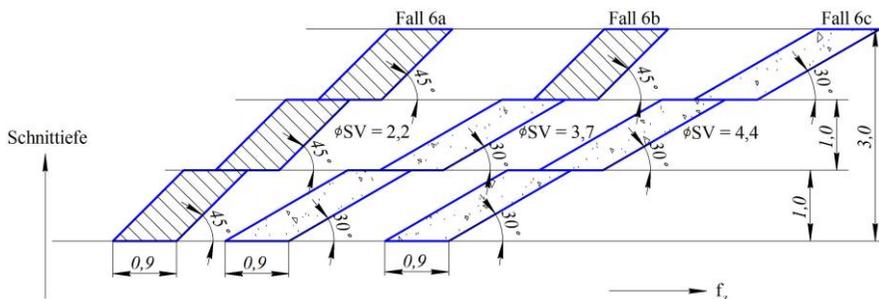


Bild 6 – Prinzip der axialen Schnittaufteilung in drei Stufen

3.2 Nutzung der Schnittaufteilung zur Leistungsanpassung bei stabilen Bearbeitungsbedingungen

3.2.1 Anliegen beim Einsatz von Werkzeugen mit Trigon-Wendeschneidplatten

Zur Leistungssteigerung auf modernen Fräsmaschinen und stabilen Bearbeitungsgegebenheiten wurden Hochleistungs-Fräswerkzeuge auf den Markt gebracht, die mit sogenannten Trigon-Wendeschneidplatten sehr hohe Zahnvorschübe in der Größenordnung von $f_z = 4$ bis 5 mm ermöglichen. Durch die elliptische Schneidengestaltung verfügen diese Schneidplatten über ein großes Leistungspotential und können Vorschubgeschwindigkeiten von 15 bis 20 m/min und damit eine extrem hohe Produktivität erbringen. Allerdings verfügen auch die leistungsstärksten Fräsmaschinen nicht über derart hohe Vorschubgeschwindigkeiten, zudem machen diese in der praktischen Anwendung wenig Sinn. Nachteilig ist auch, dass wegen der balligen Schneidenform nur Schnitttiefen von etwa $a_p = 1,0$ mm in einem Durchgang abgespannt werden können. Um ein mehrmaliges Überfräsen bis zu einem üblichen Aufmaß zu vermeiden, kann hier die Strategie der Schnittaufteilung zweckdienlich zum Einsatz kommen, nicht wie bisher zur dynamischen Stabilisierung, sondern zur besseren Anpassung an die praktischen Erfordernisse. Dabei werden die Schneidplatten im Fräser axial

gestuft angeordnet. In Bild 7 ist der Spanungsquerschnitt einer Trigon-Wendeschneidplatte mit einer Schnitttiefe von $a_p = 1,0$ mm und einem noch moderaten Zahnvorschub von $f_z = 3,0$ mm schematisch dargestellt. Bei einer Drehzahl von angenommen 300 U/min und einer Zähnezahl von $z = 12$ ergibt sich rechnerisch eine Vorschubgeschwindigkeit von $v_f = 10,8$ m/min, die praktisch realisiert werden kann. Über die Steigerung der Drehzahl wird eine gewünschte Vorschubgeschwindigkeit einstellbar.

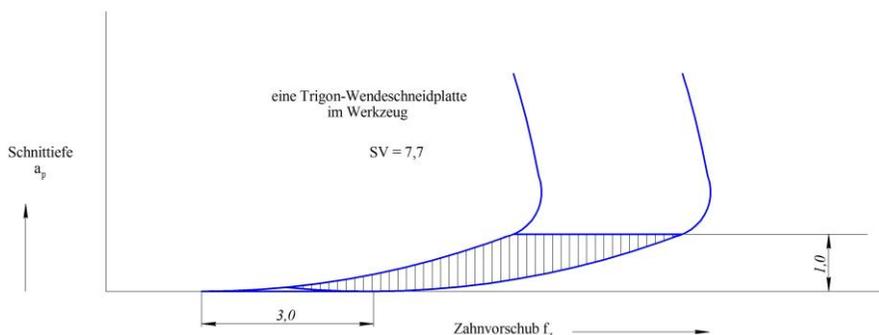


Bild 7 – Spanungsquerschnitt bei Einsatz einer Trigon-Platte

3.2.2 Konstruktive Realisierung zur Leistungsanpassung

Nach der Strategie der Schnittaufteilung können auch die Trigon-Schneidplatten auf zwei oder drei Stufen axial im Werkzeug angeordnet werden.

Bild 8 zeigt ein Beispiel mit einer zweistufigen axialen Anordnung, mit der in einem Durchgang eine Gesamttiefe von 2,0 mm abgespannt werden kann. Dabei halbiert sich die Zähnezahl je Stufe und damit auch die Vorschubgeschwindigkeiten. Um eine praktisch übliche Schnitttiefe von $a_p = 3,0$ mm abzuheben, müssen die Schneidplatten auf 3 Stufen angeordnet werden, wodurch nur noch 4 Zähne auf jeder Stufe zur Verfügung stehen. Die Vorschubgeschwindigkeit reduziert sich dadurch auf $v_f = 3,6$ m/min. Dennoch ist auch in diesem Fall noch eine sehr hohe Produktivität gegeben, die nur bei höchster Maschinen- und Bearbeitungsstabilität technisch und praktisch realisierbar ist. Eine weitere Anpassung an die technischen Gegebenheiten ist mit dieser Strategie dadurch gegeben, den Zahnvorschub f_z weiter zu verringern oder die Gesamtzähnezahl am Fräser zu reduzieren.

Insbesondere durch die Variation des Zahnvorschubes ist eine optimale Ausnutzung und Ausschöpfung des vorliegenden Leistungsvermögens im Gesamtsystem möglich.

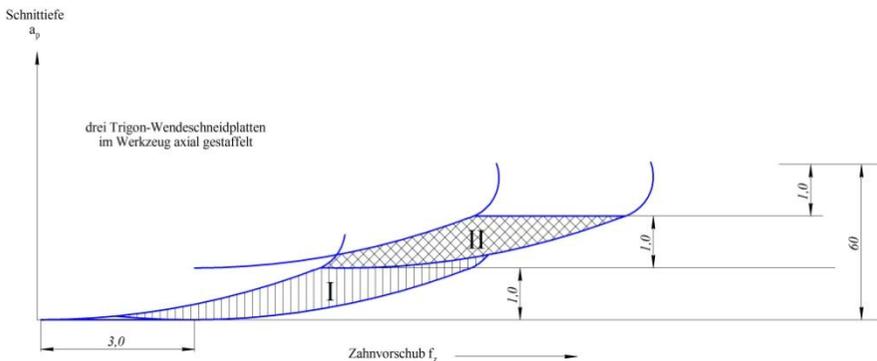


Bild 8 – Zweistufige Anordnung von Trigon-Platten

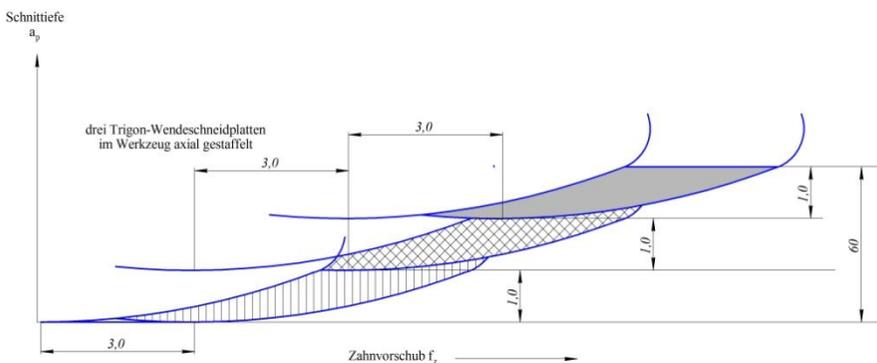


Bild 9 – Dreistufige Anordnung von Trigon-Platten

4. Bewertung der Varianten der Schnittaufteilung

Ausgehend vom Grundanliegen der Schnittaufteilung können die entwickelten Varianten mit den vorgestellten Kenngrößen SV und BL bezüglich ihrer Effekte im Schnittverhalten quantitativ bewertet werden. Für eine Einführung in die Praxis ist darüber hinaus der Aufwand für konstruktive Änderungen z. B. an den Plattensitzen sowie eine möglichst hohe Ausnutzung des Schneidstoffes Hartmetall zu berücksichtigen.

Unter dem Aspekt einer aufwandsarmen Praxiseinführung kann die Variante mit der gegenseitigen Schneidenüberkreuzung (Bild 3) empfohlen werden. Hinsichtlich der stabilisierenden Wirkung ist die axiale dreistufige Schnittaufteilung unübertroffen, wobei die Variante im Fall 6c mit dem generellen Einsatz von Zwölfkant-Schneidplatten ein Optimum darstellt. Die

Anwendungsmöglichkeit, auch bei stabilen Bearbeitungsbedingungen und Hochleistungswerkzeugen, wertet die Strategie der Schnittaufteilung noch auf. Für eine praktische Nutzung der Trigon-Wendeschnidplatten in einfacher Werkzeuggestaltung sollte durch eine Variation des Zahnvorschubes ein Optimum bei möglichst hoher Produktivität angestrebt werden.

5. Schlussbemerkungen

Die Methode der Schnittaufteilung hat sich als wirksame Möglichkeit zur Verbesserung des dynamischen Schnittverhaltens, aber auch zur Steigerung der Produktivität erwiesen.

Die vorgeschlagenen Varianten sind unter Laborbedingungen geprüft worden und haben ihre erwarteten Effekte zum Teil bereits nachgewiesen. Nunmehr gilt es, konstruktive Lösungen zu entwickeln, um der Industrie ausgereifte und leistungsstarke Fräswerkzeuge bereitzustellen, die unter oft labilen Bearbeitungsbedingungen als auch stabilen Gegebenheiten eine schwingungsarme und zuverlässige Fräsbearbeitung gewährleisten.

Literaturnachweise: 1. *Beňo, J.; Maňková, I.; Karpuschewski, Bernhard; Emmer, Thomas; Schmidt, Konrad*; Some results from FEM analysis of advanced milling tool design; In: 13th International Conference on Tools. - Miskolc: Univ., S. 265-270, 2012; Kongress: ICT 2012; 13 (Miskolc, Hungary): 2012.03.27-28. 2. *Karpuschewski, Bernhard ; Jandečka, Karel ; Emmer, Thomas ; Schmidt, Konrad ; Česánek, Jiří ; Kushnarenko, Olga ; Česáková, Ivana ; Mourek, Daniel*: Postprocessor development for multi-axis machining; Kongress: ERIN 2010 ; 4 (Plzeň) : 2010.03.16-17. 3. *Emmer, Th.; Kundrák, J.; Nguyen, D. T.*: Qualifizierung der Einsatzbedingungen eines universell einsetzbaren Rundschaff-Werkzeug-Systems mittels Belastbarkeitsuntersuchungen, MicroCAD ; 23 (Miskolc) : 2009.03.19-20, XXIII. MicroCAD; M szekció: Gépgyártástechnológia és gyártórendszerek . - Miskolc : Univ., ISBN 978-963-661-878-0. - 2009, S. 91-97. 4. *Schmidt, K.; Emmer, Th.; Beňo, J.; Maňková, I.*: Advanced design of milling cutter with cassette-shaped insert holding, Acta mechanica Slovaca . - Kosice, ISSN 1335-2393. - Vol. 4A.2008, H. 12, S. 71-74. 5. *Schmidt, K.; Emmer, Th.; Beňo, J.; Maňková, I.*: Analysis of cornering cut when end milling with tool inserts, Acta mechanica Slovaca . - Kosice, ISSN 1335-2393. - Vol. 4A.2008, H. 12, S. 75-78. 6. *Karpuschewski, B.; Emmer, Th.; Nguyen, D. T.; Petzel, M.*: All-purpose tool-system for research and industry based on circle shanks, COMEC 2008; 5 (Santa Clara, Cuba) : 2008.11.04-06, Memorias "La ingeniería mecánica en el milenio" . - Editorial Freijóo, ISBN 978-959-250404-2. - 2008, insges. 9 S. 7. *Karpuschewski, B.; Emmer, Th.; Schmidt, K.; Nguyen, D. T.*: Flexible tool concept based on circle shanks for high performance cutting, CIRP International Conference High Performance Cutting ; 3 (Dublin) : 2008.06.12-13, International Conference High Performance Cutting <3, 2008, Dublin> : High performance cutting - micromachining; Vol. 1: . - Dublin: Univ. College Dublin. - 2008, S. 305-314. 8. *Kundrák, J. ; Schmidt, K.; Emmer, Th.* Werkzeuge für eine schwingungsarme Zerspannung : theoretische Ansätze und Lösungen. In: Dudás, Illés (Hrsg.); University of Miskolc (Veranst.): ICT-2004 (11th international conference on tools, Miskolc, Hungary, September 9-11, 2004). Miskolc : Univ. Press, 2004, S. 227 - 232 (ICT-2004) . - Production processes and systems. 9. *Emmer, Th., Schmidt, K., Sova, F.*: Fräskopfrundmeißelsystem – ein altes Prinzip neu aufgelegt Sborník z konference TECHNOLOGIE 2004,ZČU Pzeň,září 2004.

Поступила в редакцию 20.07.2015