

UDK 621.91

Dr.-Ing. Jakobov, Tschingiz; Universität Simferopol, Ukraine

Dr.-Ing. Duc, Tran Minh; University of Technology, Thai Nguyen, Vietnam

Dr.-Ing. Nguyen, Trong Hieu; University of Science and Technology,  
Hanoi, Vietnam

Dr.-Ing. Schmidt, Konrad; Otto-von-Guericke Universität Magdeburg, Deutschland

Dr.-Ing. Emmer, Emmer; Otto-von-Guericke Universität Magdeburg, Deutschland

## **GRUNDLEGENDE BETRACHTUNGEN ZUR WIRKUNG EINES „INVERSEN“ SPANUNGSVERHÄLTNISSSES ALS BASIS FÜR DIE FRÄSWERKZEUGKONSTRUKTION**

*The demand for higher productivity and quality, flexibility as well as process safety are marking the development in the field of metal- cutting manufacturing process. Thereby the field of low vibration milling plays a special role. Therefore the development and design of modern milling tools is more and more often affected by novel machining strategies.*

*The article deals with the development and design of a low vibration milling tool including the reversal of conventional chip- cross- section  $b/h > 1$  to the "invers" ratio  $b/h < 1$ . For this the difference between the two cross sections will be analysed. The focus of the first experimental research is the determination of the effects of reversing the chip- cross- section on the cutting forces as well as chip formation and -forming. The influence of the tool side rake angle ( $\gamma_f$ ) in milling with "inverse" chip- cross- section will be studied.*

*The results gathered in the field of "inverse" chip- cross- ratio provides the base for formulation of design fundamentals and drafts of a novel milling tool with peeling function.*

### **Kurzfassung**

Forderungen nach höherer Produktivität und Qualität, Flexibilität sowie Prozesssicherheit kennzeichnen alle Entwicklungen im Bereich der spanenden Fertigungsprozesse. Dabei kommt dem Bereich der schwingungsarmen Fräsbearbeitung eine besondere Rolle zu. Somit wird die Entwicklung und Auslegung von modernen Fräswerkzeugen immer häufiger durch neuartige Bearbeitungsstrategien beeinflusst.

Der Beitrag beschäftigt sich mit der Entwicklung und der Auslegung eines neuen schwingungsarmen Fräswerkzeuges unter Einbeziehung der Umkehr des konventionellen Spanungsverhältnis  $b/h > 1$ , hin zum „inversen“ Verhältnis  $b/h < 1$ . Hierzu werden die Unterschiede zwischen den beiden Spanungsverhältnissen analysiert. Im Mittelpunkt erster experimenteller Untersuchungen steht die Bestimmung der Wirkungen dieser Umkehr des Spanungsverhältnisses auf die Zerspangkraftkomponenten sowie die Spanbildung und -formung. Die Einflüsse des Seitenspanwinkels ( $\gamma_f$ ) beim Fräsen mit „inversen“ Spanungsverhältnissen werden ebenfalls betrachtet. Die gewonnen Erkenntnisse zum „inversen“ Spanungsverhältnis bildet die Basis für die Formulierung von Gestaltungsgrundlagen und den Entwurf eines neuartigen Fräswerkzeuges mit Schälfunktion.

## Einführung und Zielsetzung der Werkzeugentwicklung

Bei der spanenden Bearbeitung von Planflächen durch Stirnfräsen mit leistungsfähigen Fräsköpfen nimmt die Schwingungsproblematik ein entscheidendes Produktivitätskriterium dar. Allgemeine theoretische Ansätze gehen davon aus, dass die Spanungsdicke  $h$  einen stabilisierenden und die Spanungsdicke  $b$  einen destabilisierenden Effekt bewirken. Somit sollte eine Verringerung des Spanungsverhältnisses ( $SV = b/h$ ) zu einer deutlichen Verbesserung des dynamischen Verhaltens führen, was für das Fräsen unter labilen und semistabilen Bearbeitungsbedingungen von großer praktischer Bedeutung ist. Verfolgt man die Strategie zur Realisierung kleiner Spanungsverhältnisse bis zu  $SV < 1$ , dann stößt man in einen bisher völlig neuen und unbekanntenen sowie unerforschten Bereich der Frästechnik vor, in dem sich viele Spanungskenngrößen und Wirkmechanismen umkehren. Man spricht von einer „inversen“ Spannungstechnik (lat. invers  $\hat{=}$  umgekehrt, entgegenwirkend).

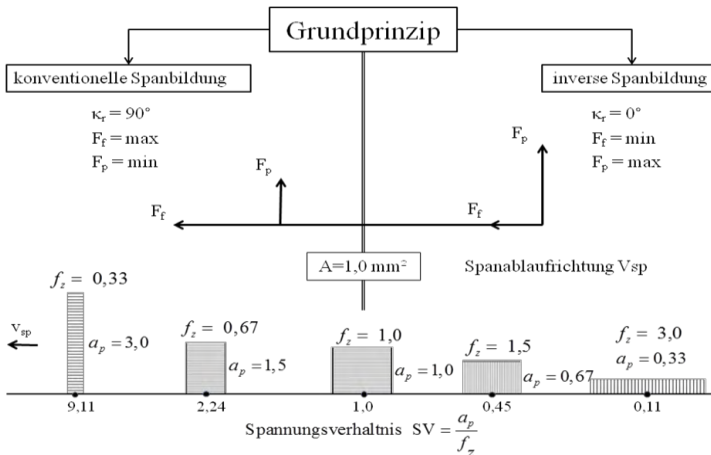


Bild 1 – Grundprinzip der inversen Spanbildung

Das Grundprinzip der inversen Spanbildung ist im Bild 1 schematisch für einen konstanten Spanungsquerschnitt  $A$  dargestellt. Die Grenze des Bereiches der inversen von der konventionellen Spanbildung ist  $SV \ll 1$  und die Lage der Hauptschneide unter dem Einstellwinkel  $\kappa_r = 0^\circ$  bzw.  $\kappa_r = 90^\circ$ , sowie durch die Umkehrung der Spanablaufrichtung  $v_{sp}$  gegeben. Abgeleitet aus dem dargestellten Grundprinzip ergibt sich eine völlig neue Konstellation der Spanungskenngrößen mit folgenden Besonderheiten und Veränderungen:

Tabelle 1 – Parametervergleich zwischen konventioneller- und inverser Spanbildung

konventionelle Spanbildung	→	inverse Spanbildung
$\kappa_r \leq 90^\circ$	→	$\kappa_r = 0^\circ$
$SV \geq 1$	→	$SV \leq 1$
$a_p$	→	$f_z$ bzw. $f_u$
$f_z$	→	$a_p$
$F_{f \max}$	→	$F_{f \min}$
$F_{p \min}$	→	$F_{p \max}$

Mit den aufgeführten Veränderungen werden folgende Auswirkungen für das Spanungsverhalten im Bereich der inversen Spanbildung erwartet:

- Erhöhung der dynamischen Stabilität im Fräsprozess durch die Maximierung der Passivkraft  $F_p$  und deren Ableitung in die Maschinenspindel sowie die Minimierung der Vorschubkraft  $F_f$  und die Verringerung der Werkzeugabbiegung
- Möglichkeiten zur Steigerung der Produktivität, da der Vorschub  $f_u$  mit der Länge der Werkzeugschneide erhöht werden kann.
- Optimierung der Spanentstehung des Spanablaufs durch eine stark negative Anstellung der Schneide (Seitenspanwinkel  $\gamma_f = \text{negativ}$ ). Es entsteht ein sogenannter „ziehender“ Schnitt mit einem sehr erwünschten Schäleffekt. Dabei dürfte es zu einer geringeren Spanstauchung und niedrigeren Spantemperaturen kommen
- Die partielle Schneidenbelastung sinkt mit der Länge der im Einsatz befindlichen Schneide. Ein großer Vorschub  $f_u$  führt nicht nur zur Steigerung der Produktivität, sondern verringert gleichzeitig den Schneidenverschleiß.
- Das Verschleißverhalten wird auch durch die grundsätzlich veränderten Auftreffbedingungen begünstigt. Der Erstaufschlag erfolgt nicht an einer Schneidenecke (Standkriterium Eckenverschleiß ist nicht vorhanden!!) Außerdem liegt eine wesentlich größere Eindringzeit vor (Zeit vom ersten Kontakt bis zum vollen Eingriff), was den Aufschlagimpuls relevant verringert.
- Die lange Schneidekante unter  $\kappa_r = 0^\circ$  führt zu einer Verbesserung der Oberflächengüte
- Da die Werkzeugschneidenden im inversen Fräskopf axial gestuft anzuordnen sind, kommen bei kleinsten Schnitttiefen nicht alle Schneiden zum Einsatz, was eine Einsparung an Schneidstoffen zufolge hat. Beim normalen Fräsen verschleifen alle Schneiden unabhängig von der Schnitttiefe.

## Grundanliegen der Werkzeugentwicklung

Im Ergebnis der Auswertung von umfangreichen praktischen Erfahrungen und theoretischen Überlegungen konnten die genannten Erkenntnisse über die Besonderheiten und Vorteile der inversen Spannungstechnik sowie das Grundanliegen der Werkzeugentwicklung formuliert werden. Das Grundanliegen der Werkzeugentwicklung besteht darin, sowohl theoretische Grundlagen zu den veränderten spannungsgeometrischen Gegebenheiten zu schaffen, ebenso aber auch den wissenschaftlichen Nachweis über die praktische Realisierbarkeit zu erbringen (siehe Bild 2).

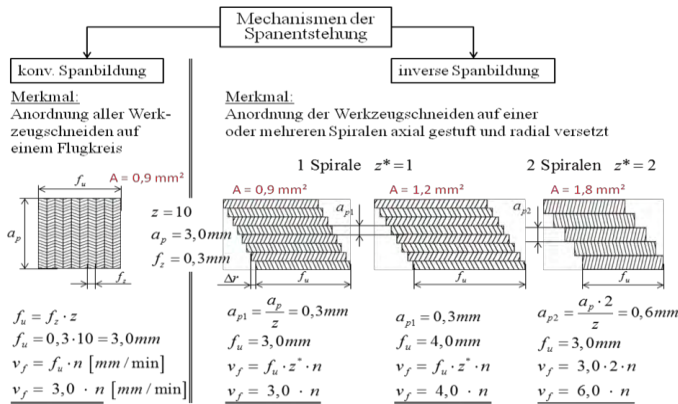


Bild 2 – Mechanismen der Spanentstehung im Vergleich von konventioneller und inverser Spanentstehung

Konkrete Vorschläge für die konstruktive Entwicklung von Schneideinsätzen (Rundschaftprinzip) mit optimierten Geometrien und praxisrelevanten Spanungskenngrößen sowie Konstruktionsvarianten für die Fräsköpfe sind zu erarbeiten. Dabei ist für die Umsetzung ein axialer und radialer Versatz (spiralförmige Anordnung der Schneideneinsätze) der Einzelschneiden erforderlich. Die bereits angedeuteten Vorteile sowie die aufgezeigten Möglichkeiten zur Erhöhung der Produktivität (größeres  $f_u$  und Anzahl der Spiralen  $> 1$ ) sind im Bild 2 schematisch dargestellt.

## Ergebnisse der bisher durchgeführten Untersuchungen

Erste versuchspraktische Untersuchungen haben ergeben, dass die bisher dargelegten Besonderheiten und Veränderungen im Bereich der inversen Spannbildung tatsächlich auftreten. Mit dafür entwickelten Schneideinsätzen wurden zunächst erste grundlegende Versuche mit  $\kappa_r = 0^\circ$  im Vergleich zu  $\kappa_r = 90^\circ$  im Einzahnverfahren durchgeführt. Es wurden die Schnittkraft  $F_c$  sowie die Vorschub- und Passivkraft  $F_f$  und  $F_p$  über dem Spanungsverhältnis SV gemessen. In den Bildern 3, 4 und 5 wird gezeigt das Schnittkraft und Vorschubkraft mit geringerem

Spannungsverhältnis fallen, während - wie vorausgesagt - die Passivkraft ansteigt. Diese Veränderungen der Kräftekonstellation für den inversen Spannungsbereich konnte also durch die ersten praktischen Experimente bestätigt werden.

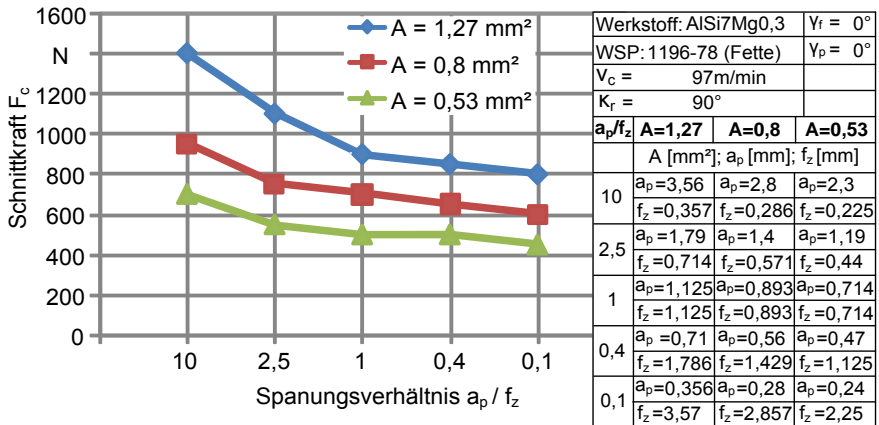


Bild 3 – Schnittkraftverläufe bei sinkendem Spannungsverhältnis und  $\kappa_r = 90^\circ$

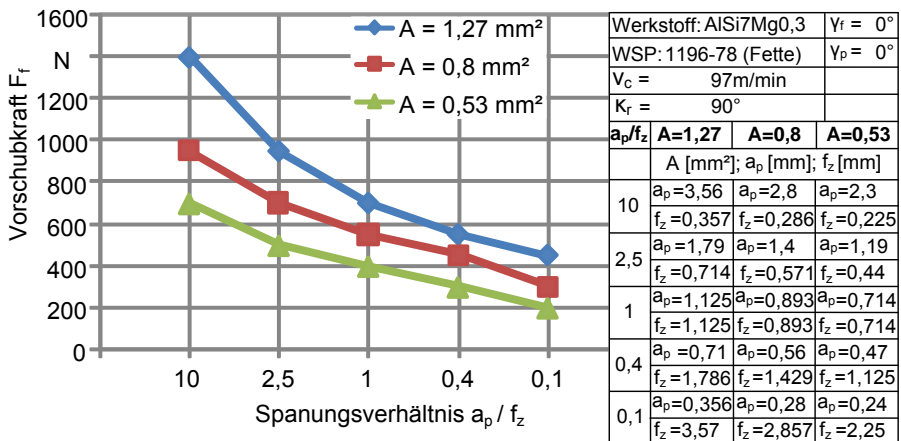


Bild 4 – Vorschubkraftverläufe bei sinkendem Spannungsverhältnis und  $\kappa_r = 90^\circ$

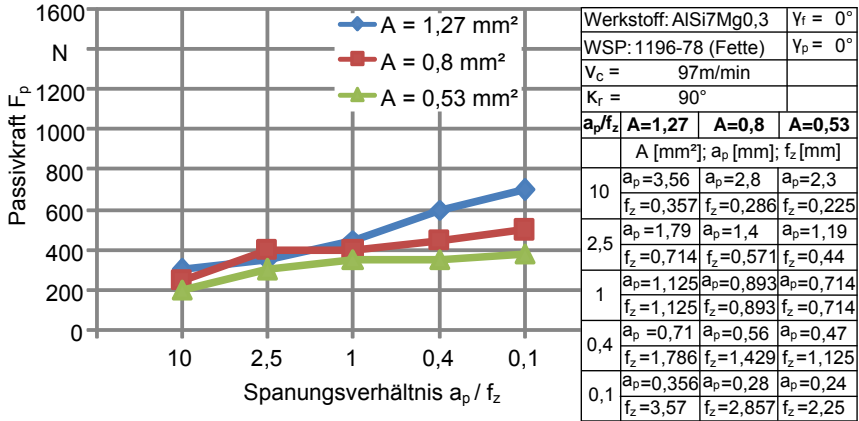


Bild 5 – Passivkraftverläufe bei sinkendem Spanungsverhältnis und  $\kappa_r = 90^\circ$

Bei der Betrachtung der erzeugten Späne hat sich erwiesen dass sich die Spanformung und der Spanfluss völlig anders verhalten als im normalen Bereich. Bild 6 zeigt die Umkehr des Spanungsverhaltens, wobei die sich in der Simulation ergebenden Temperaturen im Bereich  $SV < 1$  ( $SV = 0,1$  gegenüber  $SV = 10$ ) offensichtlich auf eine geringere Verformungsarbeit hinweisen.

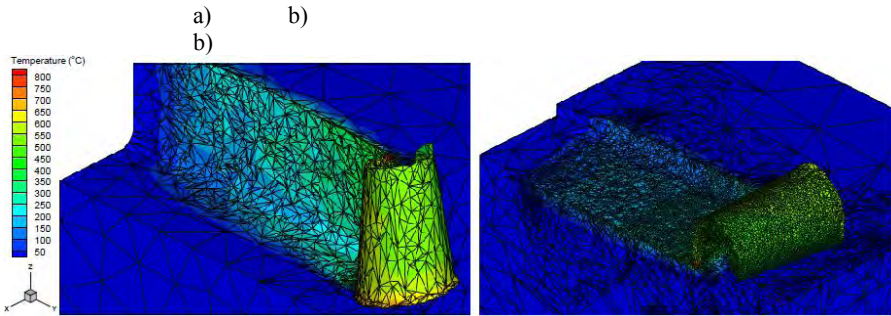


Bild 6 – Simulation des Spanablaufs unter den Verhältnissen von  
a)  $a_p/f_z=10$  und b)  $a_p/f_z=0,1$

Die im Bild 7 dargestellten Späne zeigen sehr deutlich dass der Seitenspanwinkel  $\gamma_f$  die Spanbildung wesentlich verbessert. Bei  $\gamma_f = -40^\circ$  entsteht ein sehr günstiger Wendelspan, der durch den Schälereffekt und einen „ziehenden“ Schnitt verursacht wird.

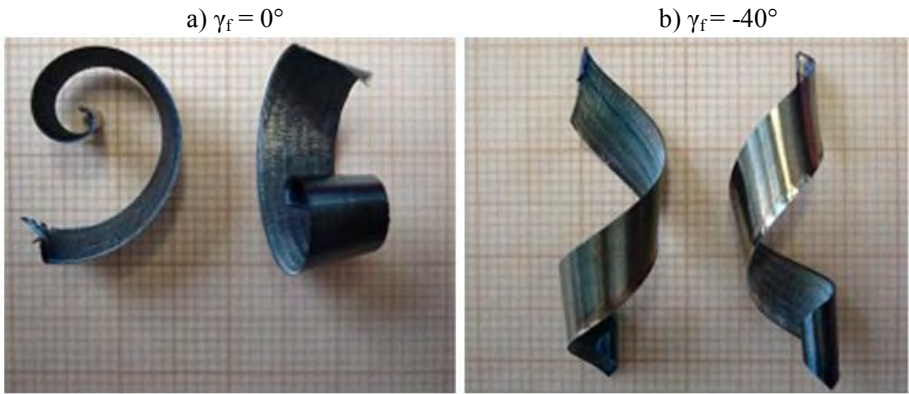
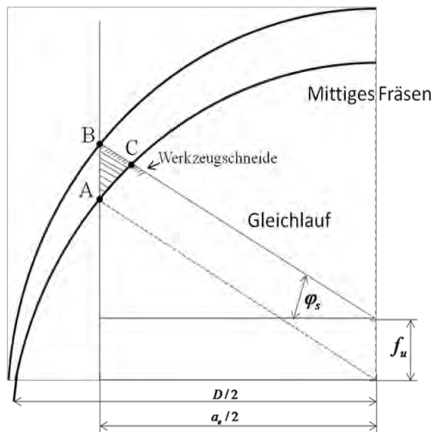


Bild 7 – Vergleich der Späne bei einem Seitenspanwinkel a)  $\gamma_f = 0^\circ$ ; b)  $\gamma_f = -40^\circ$

Weiterhin konnte in den bisher durchgeführten Fräsversuchen bereits nachgewiesen werden, dass sich auch das dynamische Verhalten im inversen Spanbereich verbessert. Es ist ein deutlich ruhigeres Schnittverhalten aufgetreten. Offensichtlich ist dies auf die extrem veränderten Auftreffbedingungen zurückzuführen.

Auftreffbedingungen beim inversen Fräsen



Maß der Aufschlaghärte  $\hat{=}$  Weg bzw. Zeit vom ersten in Pkt. bis zum vollen Eingriff Strecke B-C

Bild 8 – Auftreffbedingungen beim inversen Fräsen

In Bild 8 ist das Anschnittverhalten im Fräsvorgang schematisch dargestellt. Die Werkzeugschneide tritt im Punkt A erstmalig in Kontakt mit dem Werkstück in

der Eintrittsebene. Mit zunehmendem Eingriffswinkel dringt das Werkzeug weiter ein und ist erst im Punkt B voll mit dem Werkstoff im Eingriff.

Diese relativ lange Anschnittsstrecke führt zu einem „sanfteren“ Aufschlag mit einem geringen Schwingungsimpuls. Vergleicht man hierzu die Auftreffzustände beim konventionellen Fräsen, dann kann grob eingeschätzt werden, dass hier die Aufschlaghärte etwa um den Faktor 10 größer ist.

Bild 8 macht verdeutlicht weiterhin, dass der Ort des ersten Kontaktes der Schneide mit dem Werkstück völlig anders liegt. Nicht in einer gefährdeten Schneidenecke, sondern vorschubabhängig immer innerhalb der Werkzeugschneide. Es ist mit hoher Sicherheit davon auszugehen, dass die angeführten Gegebenheiten zu einem deutlich verbesserten Verschleißverhalten führen werden.

## Zusammenfassung

Die vorliegende Beitrag beschäftigte sich mit der Analyse und der theoretischen Durchdringung des „inversen“ Spanungsverhältnis  $b/h < 1$  sowie dem Vergleich mit dem konventionellen Spanungsverhältnis  $b/h > 1$ , mit dem Ziel einer weiterführende konstruktiven Auslegung eines Schälfräswerkzeuges. Ziel der Untersuchungen war es, die Vorteile des Zerspanens mit „inversem“ Spanungsquerschnitt im Hinblick auf die Kraftkomponenten und die Spanformung darzulegen.

Die Untersuchungen zur Umkehr des Spanungsverhältnisses bei der Fräsbearbeitung für eine Wendeschneidplattengeometrie mit Einstellwinkel von  $\kappa_r = 90^\circ$  der Hauptschneide und  $\kappa_r = 0^\circ$  der Nebenschneide ergaben folgende Ergebnisse:

- Minderung der Schnittkraft um 30 - 40%,
- Reduzierung der Vorschubkraft bis 70%,
- Erhöhung der Passivkraft um circa 100 -110%.

Das dynamische Verhalten des Fräsprozesses verbessert sich gravierend.

Aus der Änderung des Seitenspanwinkels von 0 auf  $-40^\circ$  und dem „inversen“ Spanungsquerschnitt resultiert eine positive Wirkung auf das Anschnittsverhalten. Die Endringzeit der Schneide verlängert sich erheblich und somit wird der Aufschlagimpuls reduziert. Zusätzlich werden durch diese Schneidenstellung Späne in Wendelform erzeugt, die vom Werkzeug weggeleitet werden. Die gewonnenen Erkenntnisse zum „inversen“ Spanungsverhältnis und der Schneidenanstellung unter einem negativen Seitenspanwinkel bilden die Grundlage für die Formulierung von Gestaltungs- und Auslegungsvorgaben für die konstruktive Auslegung eines neuen Schälfräswerkzeuges.