

4. Fräsen

4.1 Allgemeines

Beim Fräsen führt das Werkzeug die kreisförmige Schnittbewegung aus und die Vorschubbewegung erfolgt quer zur Drehachse durch das Werkstück (Bild 64). Aufgrund der ständigen Schnittunterbrechung entstehen kommaförmige Späne. Das Fräsen zählt zu den mehrschneidigen Zerspanverfahren mit geometrisch bestimmter Schneide und weist eine Vielzahl von Variationen auf. Man unterscheidet zwischen:

- Planfräsen (Stirnfräsen) und
- Umfangsfräsen (Walzenfräsen).

Kombinationen sind möglich wie z. B. Umfangs-Planfräsen oder Stirn-Umfangs-Planfräsen. Beim Umfangsfräsen sind nur die Hauptschneiden im Eingriff, während beim Stirnfräsen die Haupt- und Nebenschneiden im Eingriff sind. Die Oberflächenqualität wird dabei von der Nebenschneidengeometrie bestimmt.

Eine weitere wichtige Unterscheidung beim Fräsen (s. a. Bild 64) betrifft:

- das Gleichlauffräsen: Vorschubbewegung und Schnittbewegung des Fräasers laufen in die gleiche Richtung (Vorschubwinkel $> 90^\circ$). Der Anschnitt erfolgt mit maximaler Spandicke. Die sich ergebende impulsartige Belastung stellt hohe Anforderungen an die Fräserschneide und die Werkzeugmaschine (spielfreier Vorschubantrieb).
- das Gegenlauffräsen: Vorschubbewegung und Schnittbewegung des Fräasers laufen entgegen (Vorschubwinkel $< 90^\circ$). Der Span nimmt beim Anschnitt bei Null beginnend nach dem Überschreiten der Mindestspannungsdicke kontinuierlich zu. Dieses anfängliche Gleiten erhöht den Werkzeugverschleiß unabhängig von der eigentlichen Zerspanung.

Wenn der Fräser z. B. mittig eine Planfläche erzeugt, setzt sich der Fräsprozess aus Gleich- und Gegenlaufanteilen zusammen. Typisch für das Fräsen ist der unterbrochene Schnitt mit einer starken mechanischen und thermischen Wechselbeanspruchung des Fräasers verbunden mit hohen Anforderungen an die Stabilität der Werkzeugspanvorrichtung und der Werkzeugmaschine. Bei einem Eingriffswinkel von 90° hat die Spannungsdicke ihr Maximum. Diese schwelende Belastung fordert den Schneidstoff hinsichtlich Zähigkeit, Kantenstabilität und Temperaturwechselbeständigkeit. Für Formfräser werden als Schneidstoffe Schnellarbeitsstähle (teilweise TiN-beschichtet) und für normale Fräser zähe Hartmetalle oberhalb P 10 eingesetzt. Beschichtete Hartmetalle haben

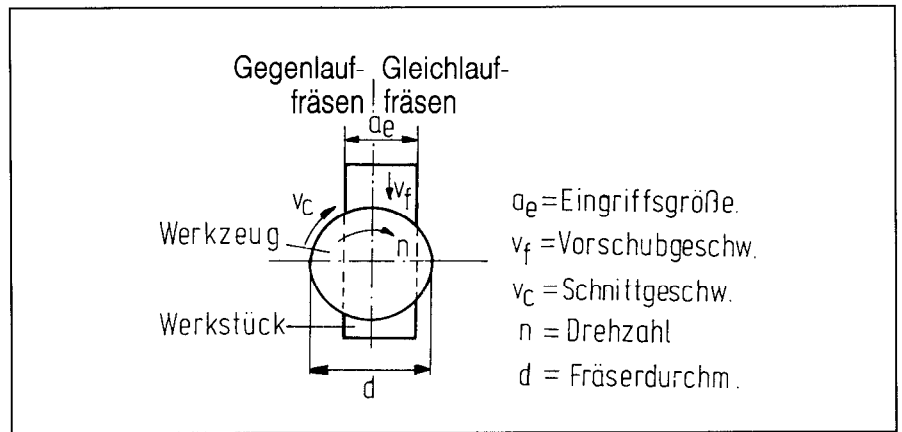


Bild 64: Wichtige Kenngrößen beim Fräsen

noch nicht die Bedeutung wie beim Drehen erlangt. Eine interessante Entwicklung stellen, wie bereits beim Drehen erläutert, die Ti-Ni(Co)-Basis-Schneidstoffe (Cermets) dar. Der Bereich der anwendbaren Schnittgeschwindigkeiten reicht an Werte von Schneidkeramik heran. Für das Schlichten von gehärtetem Stahl läßt sich Schneidkeramik verwenden (Breitschlichtfräsen).

Neben der Schnitttiefe a_p treten beim Fräsen folgende Schnittgrößen auf:

- a_e : Eingriffsgröße (mm)
- f_z : Vorschub pro Zahn (mm)
- f : Vorschub (mm),
- z : Anzahl der Schneiden bzw. Zähne. Dabei gilt der Zusammenhang $f = f_z \cdot z$
- $v_f = f_z \cdot z \cdot n$ (mm/min).

Die hauptzeitbestimmende Größe, die Vorschubgeschwindigkeit v_f , läßt sich beim Fräsen neben der Drehzahl bzw. Schnittgeschwindigkeit, die in der Regel vom Verschleißverhalten des Schneidstoffs bestimmt wird, und neben dem Vorschub pro Zahn f_z , der wiederum durch die geforderte Oberflächengüte bestimmt wird, auch durch die Anzahl der Zähne bzw. Wendeschneidplatten bestimmen. Für möglichst kurze Fertigungszeiten empfiehlt sich daher die Verwendung von Werkzeugen mit möglichst vielen Zähnen; d. h. mit enger Zahnteilung. So ermöglicht ein Fräser mit einem Durchmesser = 100 mm mit $z = 10$ statt $z = 6$ bereits eine 40% kürzere Bearbeitungszeit bei gleichem Zahnvorschub und gleicher Schnittgeschwindigkeit.

Für das Fräsen läßt sich genauso wie beim Drehen und Bohren eine Faustformel zur Leistungsberechnung für Schmiedestähle angeben:

$$P_M = a_p \cdot a_e \cdot v_f / 24\,000 \text{ in (kW)}$$

P_M = Motorleistung (kW)

a_p = Schnitttiefe (mm)

a_e = Eingriffsgröße (mm)

v_f = Vorschubgeschwindigkeit (mm/min)

Beispiel:

$$a_p = 4 \text{ mm,}$$

$$a_e = 200 \text{ mm, } v_f = 1200 \text{ mm/min}$$

$$P_M = 4 \cdot 200 \cdot 1200 / 24\,000$$

$$P_M = 40 \text{ kW}$$

4.1.1 Schneidengeometrie

Wie bei kaum einem anderen Zerspanverfahren bestimmt die Schneidengeometrie beim Fräsen Oberflächengüte und Standzeit. Als Standzeitkenngrößen verwendet man üblicherweise den Standweg bzw. die Standlänge (= Summe aller Fräslängen pro Werkzeugeinsatz) oder die Standmenge (= Anzahl der gefertigten Werkstücke pro Standzeit des Fräasers).

Im folgenden werden wichtige Schneidengeometrielemente beim Fräsen erläutert:

- **Freiwinkel α :**
Ein großer Freiwinkel hemmt den Freiflächenverschleiß. Bei harten Werkstoffen sind kleine, bei weichen Werkstoffen große Freiwinkel zu empfehlen.
- **Keilwinkel β :**
Stabile Schneiden mit großem Keilwinkel begünstigen die Wärmeabfuhr.
- **Spanwinkel γ :**
Durch einen großen Spanwinkel wird der Spanablauf verbessert und die Schnittkräfte reduziert.
- **Neigungswinkel λ :**
Eine positive Neigung der Schneidkante sollte zur Bearbeitung langspannender Werkstückstoffe wie z. B. Stahl gewählt werden, da der Spanablauf vom Werkstück weggerichtet erfolgt.
- **Einstellwinkel κ :**
Durch den Einstellwinkel wird das Verhältnis von Axial- zu Passivkraft bestimmt. Bei kleinen Einstellwinkeln

kann Rattern durch zu hohe Achskräfte auftreten. Bei $\alpha = 45^\circ$ sind Axial- und Radialkraft gleich groß. Für allgemeines Planfräsen empfiehlt sich ein Einstellwinkel von 75° .

4.1.2 Schnitttiefe und Fräserpositionierung

Im allgemeinen sollte beachtet werden, daß die Schnitttiefe höchstens $\frac{1}{3}$ der Schneidkantenlänge beträgt. Für das Schlichten empfiehlt sich eine Schnitttiefe von $a_p = 0,5 \text{ mm}$ zu wählen. Die Schnittgeschwindigkeit kann beim Schlichten das 1,25fache der Schruppbearbeitung betragen. Der Vorschub beim Schlichten sollte in Abhängigkeit von der geforderten Oberflächengüte $f_z = 0,10 - 0,16 \text{ mm}$ betragen. Die Oberflächengüte läßt sich durch Planfasen an den Schneidecken anstelle der üblichen Schneideckenradien verbessern. Solange der Vorschub pro Umdrehung kleiner als die Planfasenlänge ist, wird die Oberflächengüte von der am weitesten vorstehenden Schneide bestimmt. Die erzielbaren Rauigkeiten liegen bei Stahl unter $12 \mu\text{m}$. Die Fräserstandzeit hängt in der Regel von nur einer, der axial vorstehenden Schneide ab. Eine möglichst genaue axiale Einstellung der Schneiden (Axialschlag $\leq 2 \mu\text{m}$) erhöht den Standweg. Bei sehr hohen Oberflächengüten empfiehlt sich das Breitschlichtfräsen. Die Breitschlichtschneide in einem Fräskörper ist radial zurückgelegt. Durch die leicht ballige Form ($R = 100 - 300 \text{ mm}$) wird auch bei nicht einwandfreier Parallellage die Ausbildung von Sägezahnprofilen vermieden. Die Schnitttiefe darf beim Breitschlichtfräsen $0,05 \text{ mm}$ nicht übersteigen. Der Vorschub sollte der halben Schneidkantenlänge entsprechen.

Von besonderer Bedeutung beim Fräsen ist der Spindelsturz. Als Spindelsturz bezeichnet man die Schrägstellung der Frässpindel gegen ihre Nulllage zur Vorschubrichtung des Werkzeugmaschinenstisches. Die Neigung beträgt üblicherweise $0,3 - 1,0'$. Durch den Spindelsturz wird ein Nachschneiden der Fräserwerkzeuge vermieden.

Die Verwendung von Kühlschmiermittel beim Fräsen mit Hartmetall ist nicht zu empfehlen. Das Kühlschmiermittel verstärkt den Thermoschockeffekt beim Schneidenaustritt. Dadurch können frühzeitig Kammrisse entstehen, wodurch die Werkzeugstandmenge reduziert wird.

Die Positionierung des Fräasers zum Werkstück beeinflußt auch den Schneideneingriff. Im ungünstigen Fall kann eine unglückliche Kombination von Schneidengeometrie und Fräserpositionierung dazu führen, daß die Wendepatte mit ihrer gesamten Kontaktfläche

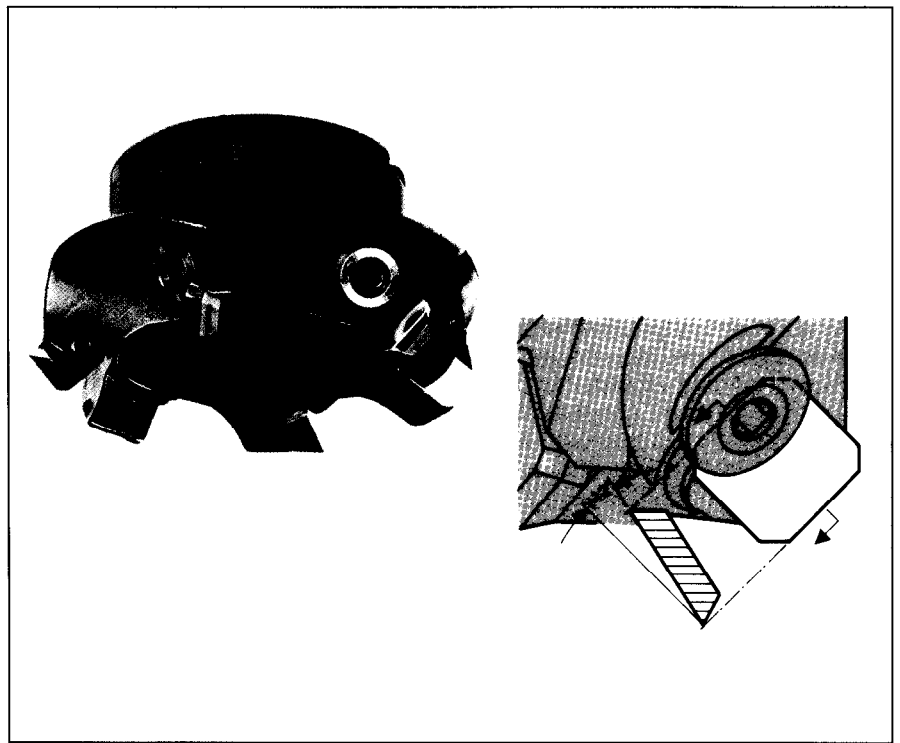


Bild 65: Fräser mit extrem positiver Geometrie

gleichzeitig in das Werkstück eindringt. Ein solcher schockartiger Schneidkontakt muß vermieden werden. Es sollte auf einen weichen und möglichst schonenden Schneideneingriff geachtet werden. Das ist am einfachsten dadurch zu erreichen, daß ein Fräser mit stark positivem Spanwinkel gewählt wird und dieser einen Einstellwinkel hat, bei dem die axiale Schnitttiefe auf eine lange Schneidkante und einen großen Neigungswinkel verteilt ist. Neue Untersuchungen haben gezeigt, daß auch die Bedingungen beim Schneidenaustritt aus dem Werkstück den Freiflächenverschleiß beeinflussen und Schneidenausbrüche verursachen können. Das hat mit folgenden Faktoren zu tun:

Die verbleibende Werkstückwand gibt vor dem endgültigen Durchtritt der Schneide nach, und der Freiraum unter der Schneide wird für einen Augenblick eliminiert, wodurch es zu einem erhöhten Freiflächenverschleiß kommt. Außerdem tritt eine kurzfristige Zugbeanspruchung am äußersten Rand der Spanfläche auf, die zu Schneidenausbrüchen führen kann. Bei Fräsern mit negativen Spanwinkeln entstehen größere Schnittkräfte, und die Beanspruchungen sind entsprechend größer. Natürlich gibt auch die verbleibende „Werkstückwand“ früher nach, und es kann bei der Stahlbearbeitung zu einer Gratbildung an der Austrittseite kommen, während bei der Graugußbearbeitung Ausbrüche am Werkstück entstehen.

4.2 Verfahrensarten

4.2.1 Stirfräsen

Beim sogenannten Messerkopffräsen (Stirfräsen oder Planfräsen) wird die Oberflächengüte wesentlich von der Nebenschneide bestimmt. Die Lagegenauigkeit der einzelnen Schneidkörper untereinander ist von großer Bedeutung. Eine sorgfältige Werkzeugvoreinstellung der zunehmend eingesetzten Messerköpfe mit Wendeschneidplatten aus Hartmetall bestimmt das Standzeitverhalten, da einzeln vorstehende Schneiden schneller verschleifen. Bei nicht einstellbaren Fräskörpern sind entsprechend hohe Genauigkeitsanforderungen an die Fräsergrundkörper (Wendeschneidplattensitze) zu stellen. Die Fräsergrundkörper sollten eingeschliffene Kontrollflächen (Kontrollringe) zur Überprüfung der axialen und radialen Rundlaufgenauigkeit an der Werkzeugmaschine aufweisen. Kleinere Messerköpfe werden üblicherweise mit Fräserdornen an der Maschinenspindel befestigt. Der Dorn wird im Innenkegel der Maschinenspindel zentriert und über eine Zugstange festgehalten. Mitnehmerkeile an der Spindelnase greifen in entsprechende Nuten am Dorn ein. Der Messerkopf wird mit seiner Zentrierbohrung vom Führungszapfen des Dorns aufgenommen und mit einer Schraube in der Mitte festgespannt. Hierzu verwendet man Sonderschrauben für Haken- oder Zapfenschlüssel, aber auch normale Innensechskantschrauben. Das Drehmoment

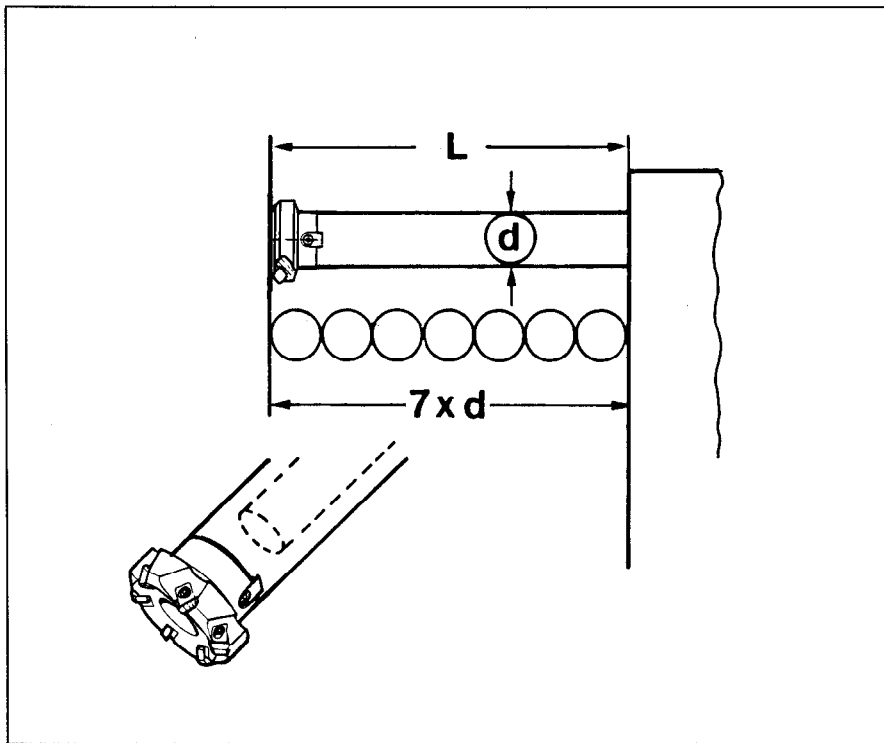


Bild 66: Fräser mit gedämpfter Bohrstange

wird durch Keile oder Paßfedern übertragen. Größere Messerköpfe werden mit ihrer rückwärtigen Anlage direkt gegen die Spindel gespannt und mit Innensechskantschrauben befestigt. Aus Genauigkeitsgründen sollten die Fräser über in der Spindel befindliche Zentrierdorne zentriert werden. Bei großen Fräsern läßt sich der Wechsel dadurch erleichtern, daß der Schneidteil vom Grundkörper getrennt wird. Der Grundkörper bleibt auf der Werkzeugspindel und besitzt eine Axialanlagefläche und eine Bohrung zur Aufnahme des Schneidkörpers. Die Vorteile derartiger „Cap“-Systeme liegen in einem einfacheren Werkzeugwechsel (Schneidteilgewicht beträgt $\frac{1}{3}$ des Gewichts eines konventionellen Fräasers), und die axiale Genauigkeit läßt sich durch Einschleifen der axialen Anlagefläche des Grundkörpers auf der Maschine in den Bereich von $1\text{--}2\ \mu\text{m}$ optimieren.

Um günstige Eingriffsverhältnisse beim Messerkopffräsen zu erreichen, sollte die Eingriffsgröße a_e etwa $50\text{--}70\%$ des Fräserdurchmessers betragen. Dadurch wird vermieden, daß nur eine Schneide im Eingriff ist, was zu Schwingungen führen kann. Bei der Stahlbearbeitung wird i. a. mit positiver Schneidengeometrie gearbeitet. Der Trend zu extrem positiven Fräsern setzt sich fort. Die Werkstücke werden aufgrund von gewichtsoptimierter Konstruktion immer dünnwandiger und verformungsanfälliger gegenüber hohen Zerspankräften. Die Pro-

duktion wird zunehmend auf flexiblen Maschineneinheiten, wie z. B. Bearbeitungszentren, durchgeführt. Durch die angestrebte Komplettbearbeitung in einer Spannung müssen die Werkzeuge häufig — vorrichtungsbedingt — mit großen Auskragungen versehen werden. Es werden Fräswerkzeuge mit geringer Kraftereinwirkung bei gleichzeitig hoher Zerspannungsrate verlangt (Bild 65). Die Fräser haben einen Einstellwinkel von 45° , einen Axialwinkel von $+20^\circ$ und einen Radialwinkel von -3° . Diese positiv/negativ Schneidengeometrie ergibt einen effektiven Spanwinkel von $+12^\circ$ und gewährleistet große Laufruhe und günstigen Spanabfluß. Sie arbeiten deshalb mit einem 15% geringeren Leistungsbedarf als übliche positive Planfräser. Die tatsächliche Spandicke ist natürlich vom Einstellwinkel und dem Vorschub/Zahn abhängig. Je kleiner der Einstellwinkel, desto dünner ist bei gleichen Vorschüben der Span und desto größer wird die spezifische Schnittkraft. Gegenüber 75° -Planfräsern ist die Spandicke um ca. 25% kleiner. Es ist also zweckmäßig, den Vorschub/Zahn entsprechend zu erhöhen, damit ein Ansteigen der spezifischen Schnittkraft vermieden wird. Bei normalen Fräsarbeiten mit einer Eingriffsbreite von 75% des Fräserdurchmessers beträgt der Richtwert für den Vorschub pro Zahn $0,15\text{--}0,25\ \text{mm}$. Bei gut zerspanbaren Werkstoffen sind Vorschübe von $0,4\ \text{mm}$ durchaus akzeptabel, während bei sehr

schwer zerspanbaren und sehr harten Stählen der Vorschub pro Zahn auf ca. $0,1\ \text{mm}$ reduziert werden muß. Die Wendepplatten für derartige Fräser haben Planfasen von ca. $1,5\ \text{mm}$. Zum Fräsen der meisten legierten und unlegierten Stahlwerkstoffe sind Wendeschneidplatten mit einer Planflächenfase von $20^\circ \times 0,07\ \text{mm}$ einzusetzen.

Durch den Einsatz von Cermets lassen sich ähnlich wie beim Drehen auch beim Fräsen, vorzugsweise auf Bearbeitungszentren, drastische Laufzeitreduzierungen durch höhere Schnittwerte ($v_c = 300\text{--}400\ \text{m/min}$) erreichen. Diese Werte beziehen sich auf vergütete Stahlrohnteile bei Schnitttiefen von ca. $5\text{--}6\ \text{mm}$.

Bei besonders großen Auskraglängen der Werkzeuge auf Bearbeitungszentren treten häufig so starke Schwingungsprobleme auf, daß die Schnittdaten stark reduziert werden müssen. Dadurch ergeben sich unerwünschte Laufzeitverlängerungen. Abhilfe ist hier durch die Verwendung gedämpfter Bohrstangen möglich, die Auskragungen bis zu $7 \cdot d$ ermöglichen (s. a. Bild 66). In derartigen Bohrstangen befindet sich ein in Öl gelagerter Hartmetallzylinder. Dieser Dämpfungszyylinder läßt sich von außen manuell über Variation des Öldrucks verstellen, um das Schwingungsverhalten der Bohrstange positiv zu beeinflussen.

Bei Gratproblemen empfiehlt sich der Einsatz von sog. Schrupp-Schlicht-Fräsern. Bei diesen Werkzeugen ist ein Schneidkreis axial ca. $0,2\ \text{mm}$ vorstehend und radial ca. $0,2\ \text{mm}$ zurückliegend angeordnet. Diese Schlichtplatten ermöglichen ein gratarmes Fräsen bei Vorschüben von $0,2\text{--}0,35\ \text{mm/Zahn}$. Das Verhältnis von Schrupp- zu Schlichtschneiden beträgt $1:3$ bis $1:5$.

4.2.2 Umfangsfräsen

Beim Umfangsfräsen bestimmen die Hauptschneiden die Werkstückoberfläche. Es wird entweder im Gegen- oder im Gleichlaufräs-Verfahren gearbeitet. Dort wo es die maschinenseitigen Bedingungen erlauben, sollte insbesondere bei labilen Werkstücken im Gleichlaufverfahren gearbeitet werden. Beim Gegenlaufräsen entstehen zu Schnittbeginn Quetschungen wegen Unterschreitung der Mindestspannungsdicke mit der Folge von schlechten Oberflächengüten und der Gefahr von Ratterschwingungen. Einen typischen Anwendungsfall des Umfangsfräsens stellt das Scheibenfräsen zur Herstellung von Nuten dar. Diese Werkzeuge werden für die Stahlbearbeitung mit lochgeklemmten Hartmetallwendeschneidplatten angeboten. Bei Wahl des Vorschubes pro Zahn ist darauf zu achten, daß die Spandicken $0,1\ \text{mm}$ nicht unterschreiten.

4.2.3 Innenrundfräsen

Das Fräsen von Hublagerzapfen, z. B. von Kurbelwellen, erfolgt vorzugsweise mit Innenrundfräsern (s. a. Bild 67). Bei schwerer Zerspanung (Schnitttiefe $a_p > 3 \text{ mm}$, Vorschub pro Zahn $f_z > 0,3 \text{ mm}$) ist die Fixierung der Schneidplatten über Keile (Blockkeilklemmung) empfehlenswert. Es ist darauf zu achten, daß ein einwandfreies Tragbild der Wendeschneidplatten vorhanden ist. Insbesondere muß im Bereich unterhalb der Schneidkante der Traganteil 100% sein, da sonst Schwingungen der Schneidplatte möglich sind, die zu Werkzeugbruch führen können. Eine gebrochene Schneidplatte hat zur Folge, daß der gesamte Schneidkreis zerstört werden kann, falls der Werkzeugbruch nicht rechtzeitig erkannt wird. Die Spanräume des Kurbelwellenfräses sind so zu gestalten, daß ausreichend Platz vorhanden ist, insbesondere bei der Wangenbearbeitung, um das Spanvolumen aufzunehmen.

Wendeschneidplattenbrüche resultieren häufig aus zwischen Werkstück und Werkzeug eingeklemmten Spänen. Vom Bearbeitungsablauf her unterscheidet man bei Innenrundfräsen von Kurbelwellen zwischen:

- Eintauchen über Zapfen und
- Eintauchen über Wange.

Im erstgenannten Fall taucht der Fräser bis auf Nennmaß des Hublagers ein und anschließend beginnt die Welle (das Werkstück) zu rotieren und die Wangen werden beim Rundvorschub mitbearbeitet. Diese Verfahrensvariante ergibt kürzere Fertigungszeiten als beim Eintauchen über Wange, vorausgesetzt die Maschinenstabilität läßt dieses Verfahren zu. Übliche Vorschübe pro Zahn betragen beim Innenrundfräsen 0,20—0,45 mm.

In einem Fräsversuch auf einer Produktions-Innenrundfräsmaschine wurde eine Charge Kurbelwellen aus dem Werkstoff C 38 mod. BY mit 0,056% Schwefel im Vergleich zum Serienwerkstoff 42 CrMo 4 V getestet. Dabei zeigt sich eine geringere Verschleißwirkung des BY-Materials. Die Standmenge konnte um ca. 20% erhöht werden (Bild 68).

Versuche, beschichtetes Hartmetall bei schweren Schrupperoperationen einzusetzen, waren bisher erfolglos. Neueste Untersuchungen lassen jedoch eine Wende auf diesem Sektor erkennen. So lassen sich die Standmengen (Anzahl der gefrästen Hubzapfen von Kurbelwellen aus BY-Material) — durch Einsatz neuer beschichteter Hartmetalle mit besonderer Abstimmung von Substrat und Beschichtung — um ca. 100% erhöhen. Daraus resultieren deutliche Werkzeugkostenreduzierungen, die eine weitere

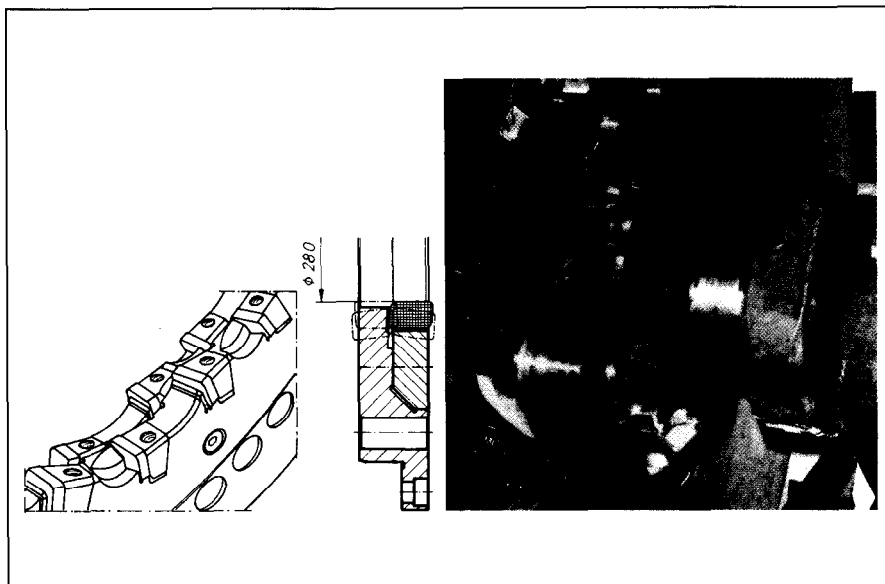


Bild 67: Innenrundfräser für Kurbelwellenhublagerbearbeitung

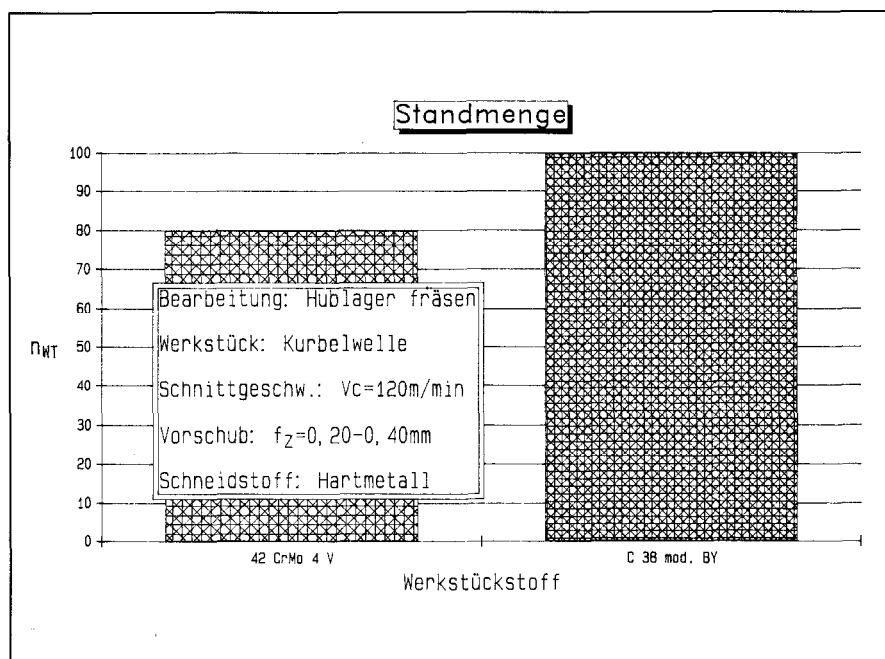


Bild 68: Standmengenvergleich beim Innenrundfräsen

wirtschaftliche Verbesserung beim Einsatz von geschmiedeten Kurbelwellen ermöglichen.

4.2.4 Schafffräsen

Beim Schafffräsen ist der Durchmesser im Verhältnis zur Werkzeuglänge relativ gering. Werkzeuge für kleine Durchmesser unterhalb 12—16 mm werden aus HSS oder Vollhartmetall hergestellt. Bei größeren Durchmessern lassen sich Werkzeuge mit Wendeschneidplatten verwenden. Diese ermöglichen deutlich höhere Leistungen als mit gelöteten Hartmetallwerkzeugen, wie folgendes Beispiel zeigt. Bei einem geschmiedeten Sicherheitsteil konnten durch Ver-

wendung von Wendeschneidplattenwerkzeugen die Werkzeugkosten um 70% und die Fertigungszeit um 60% reduziert werden (Bild 69). Darüber hinaus werden Wendeschneidplattenfräser für das Eckfräsen, das Fräsen von tiefen Nuten, für Aussparungen und das Kopierfräsen (z. B. im Gesenkbau) angeboten. Durch Schnittaufteilung über mehrere Wendeschneidplatten wird eine problematische Spanbildung vermieden. Im Vergleich zu geschliffenen Fräsern wird der Span geteilt und ein ruhiges und weiches Schneidverhalten erreicht. Für Profilfräsaufgaben, z. B. T-Nuten, werden ebenfalls zunehmend Werkzeuge mit geklemmten Hartmetallwendeschneidplatten verwendet.

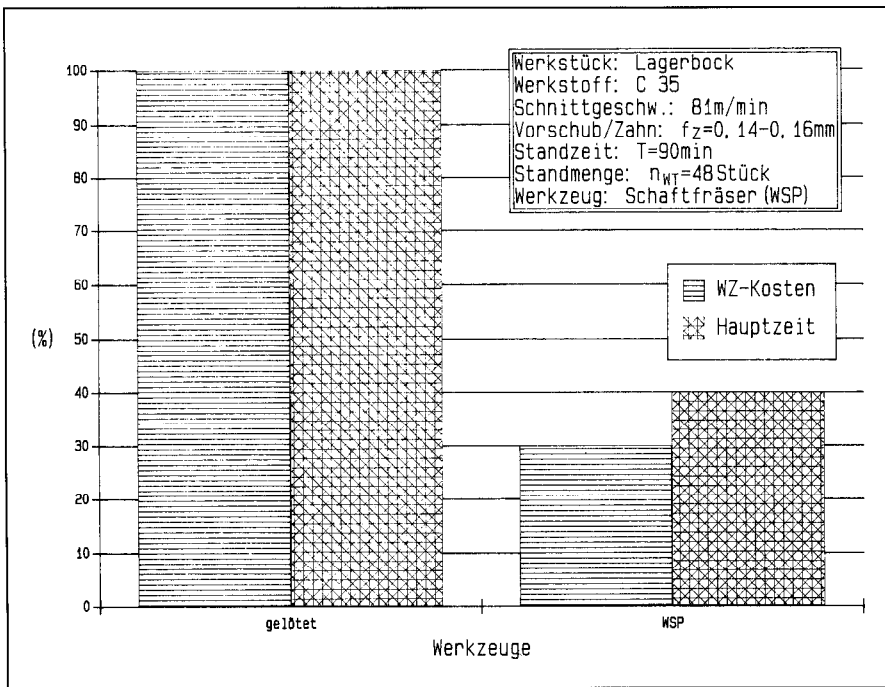


Bild 69: Vergleich von gelötetem und geklemmtem Werkzeug

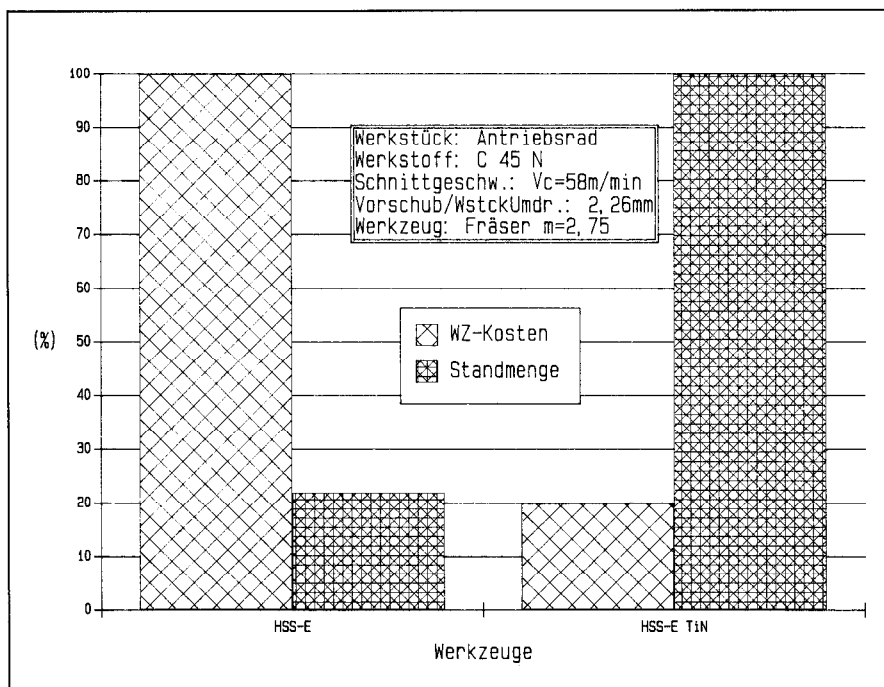


Bild 70: Leistungsvergleich von HSS und HSS-TiN-Werkzeug beim Verzahnungsfräsen

4.2.5 Verzahnungsfräsen

Bei Verzahnungsfräsern werden hohe Anforderungen an den Schneidstoff in bezug auf Zähigkeit und Schneidkantenstabilität gestellt. Verzahnungen z. B. von Antriebsrädern oder an Zahnkränzen von Schwungrädern werden daher ausschließlich mit Schnellarbeitsstahl (HSS)-Werkzeugen durchgeführt. Bei den Werkzeugen ist auf ausreichend große Spankammern zu achten. Bei HSS-Verzahnungsfräsern ist eindeutig der Einsatz von nach dem PVD-Verfahren

TiN-beschichteten Werkzeugen zu empfehlen. Die Standmengen lassen sich deutlich erhöhen (s. a. Bild 70). Überwiegend wurden bisher TiN-beschichtete Stollenfräser mit eingesetzten HSS-Leisten aus S 6-5-2-5 verwendet. Bei diesen Fräsern werden nur die Stollen in der Beschichtungsanlage beschichtet und danach in den unbeschichteten Grundkörper eingebaut. Vollstahlfräser werden dagegen komplett beschichtet. Bei den in Großserie eingesetzten Kippstollenfräsern kann

ein mehrmaliges Shiften über die gesamte Nutzlänge der Fräser durchgeführt werden. Je nach betrieblichen Gegebenheiten, d. h. vorhandenem Maschinenpark, Kapazitätsbelegung, Losgrößen, Werkzeuglagerhaltung usw. lassen sich die Vorteile der TiN-beschichteten Wälzfräser in bezug auf höhere Verschleißbeständigkeit und Verringerung der Schnittkräfte beim Zerspanen durch unterschiedliches Vorgehen bei der Anwendung realisieren. Beim Fräsen von Werkstücken aus Einsatzstahl wie auch bei Vergütungsstahl ist eine Steigerung der Standmenge durch die TiN-Beschichtung um den Faktor 3 gegenüber dem unbeschichteten Zustand möglich. In manchen Fällen, bei denen für das beschichtete Werkzeug besonders günstige Voraussetzungen vorliegen, werden auch Verbesserungen bis 500% erzielt. Soweit die vorhandenen Wälzfräsmaschinen dies zulassen, lassen sich mit den TiN-beschichteten Werkzeugen sowohl höhere Schnittgeschwindigkeiten als auch höhere Vorschübe erreichen. Beim Bearbeiten von Vergütungsstählen mit hohen Festigkeitswerten lassen sich die heute zwangsweise relativ niedrigen Leistungswerte durch den Einsatz TiN-beschichteter Werkzeuge in Form von deutlichen Produktivitätssteigerungen erheblich verbessern. Erfahrungen haben gezeigt, daß der Verschleißverlauf bei TiN-beschichteten Werkzeugen sich von dem unbeschichteter Werkzeuge deutlich unterscheidet. Während bei konventionellen Fräsern die Verschleißmarkenbreite in grober Näherung mit der Einsatzzeit des Werkzeugs linear zunimmt, verschleiben beschichtete, nachgeschliffene Werkzeuge zunächst schwach progressiv. Erst nach langer Einsatzzeit nimmt der Verschleiß stark zu. Dies gilt besonders bei hohen Schnittgeschwindigkeiten, da hier die Gefahr des Kolklippenabrisses gegeben ist. In jedem Fall muß der Bereich der hohen Verschleißgeschwindigkeit vermieden werden. Da bereits bei kleinen Verschleißmarkenbreiten hohe Standmengen erzielt werden, erhöht sich die Anzahl der Nachschleife und damit die Gesamtstückzahl der mit dem Werkzeug zu fräsenden Werkstücke. Voraussetzung für den erfolgreichen Einsatz von beschichteten Werkzeugen ist eine einwandfreie und reproduzierbare Ausführung der Beschichtung. Eine entsprechende Vorbearbeitung muß dafür Sorge tragen, daß möglichst keine Reaktionen an der Werkzeugoberfläche stattfinden, so daß eventuell einzelne Stellen unbeschichtet bleiben. Die Parameter des Beschichtungsprozesses sowie die vorangehende Reinigung müssen gewährleisten, daß eine gute Haftung der Hartstoffschicht gegeben ist.

