

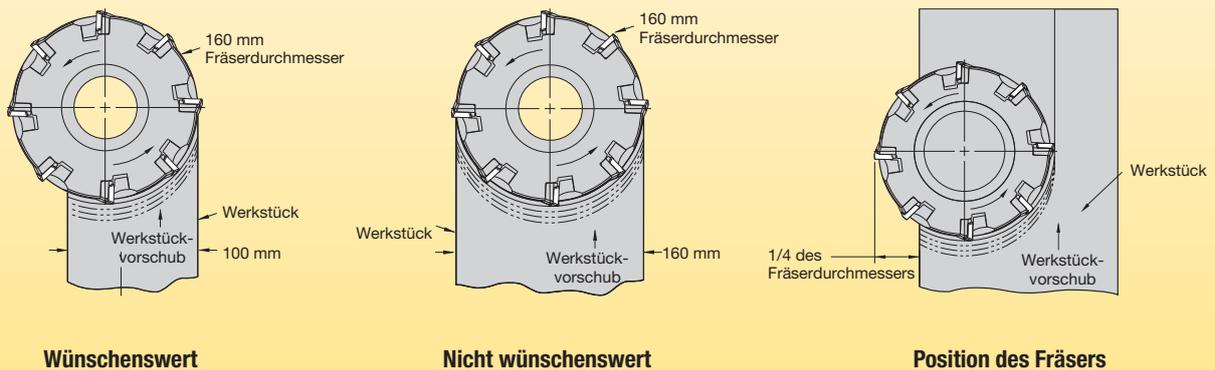
Die Abmessungen des Werkstücks bestimmen den geeigneten Durchmesser für den Planfräser.

Das Verhältnis von Fräserdurchmesser und Schnittbreite sollte in etwa 3:2 oder das 1,5-Fache der Schnittbreite betragen. Wenn beispielsweise die Schnittbreite 100 mm beträgt, wählen Sie einen Fräser mit einem Durchmesser von 160 mm. Falls die Schnittbreite sehr groß ist, wählen Sie einen Fräserdurchmesser entsprechend der Spindelleistung und führen mehrere Arbeitsgänge durch. Wenn beispielsweise die Schnittbreite 610 mm beträgt, und die Maschine eine herkömmliche 50er Spindelaufnahme besitzt, sollten Sie einen Fräserdurchmesser von 200 mm verwenden und fünf Arbeitsgänge mit etwas weniger als 125 mm Schnittbreite durchführen. Alternativ führen Sie vier Arbeitsgänge bei 160 mm per Durchgang durch, je nach Leistung und Stabilität.

Der Fräserdurchmesser sollte nicht die ungefähr gleiche Abmessung haben wie die Schnittbreite. Der beim Ein- und Austritt der Schneide geformte Span wird sonst zu dünn. Die dünnen Späne können die Wärme so gut ableiten wie dickere Späne. Daher wird die Wärme auf die Schneidplatte übertragen, was zu vorzeitigem Verschleiß führen kann. Es kann auch leichter zu Kaltverfestigungen im Ein- und Austrittsbereich kommen.

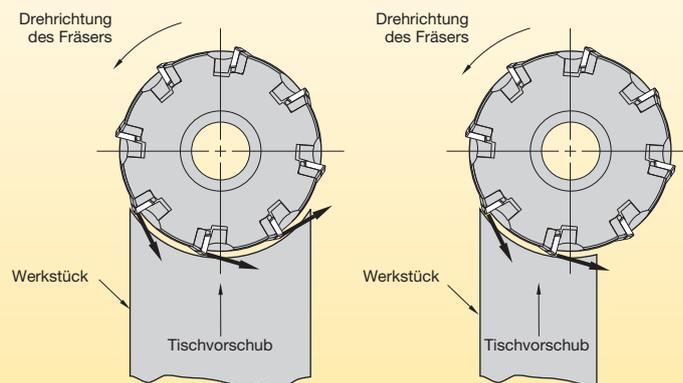
Wenn der geeignete Fräserdurchmesser nicht verfügbar ist, kann auch die korrekte Positionierung des Fräsers positive Ergebnisse erzielen.

- Positionieren Sie den Fräser so, dass etwa 1/4 des Werkzeugdurchmessers über das Werkstück hinausragt, und führen Sie zwei Arbeitsgänge durch.
- Ein negativer Eintrittswinkel wird erzeugt (wünschenswert).
- Führt zu längeren Standzeiten



Position des Schneidwerkzeugs/Schnittkräfte

Die Schnittkräfte ändern sich kontinuierlich während des Eingriffs der Wendeschneidplatte. Es ist zu beachten, dass durch eine Änderung der Fräserposition im Verhältnis zum Werkstück die Schnittkräfte in ihrer Richtung verändert werden. Dies ist wichtig, um eine sichere Bearbeitung unter Berücksichtigung des Designs der Befestigungsvorrichtung, des Designs des Werkstücks und des eigentlichen Werkstücks zu gewährleisten.



Die Zahnteilung bezieht sich auf die Anzahl der Wendeschneidplatten eines Fräasers. Fräswerkzeuge können eingeteilt werden in Fräser mit weiter, mittlerer und enger Teilung. Bei der Konstruktion eines Fräasers muss der Konstrukteur die Schnitttiefe und den Vorschub pro Zahn berücksichtigen. Dann ist der erforderliche Spanraum im Körper festzulegen, damit die Spanbildung nicht behindert wird. Aus diesem Grund besitzen Fräser für Anwendungen mit einem hohen Zerspanvolumen einen großen Spanraum. Die Anzahl der Wendeschneidplatten des Fräasers ist dann entsprechend geringer. Man spricht von einem Werkzeug mit weiter Teilung.

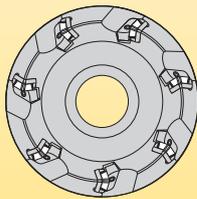
Bei einem Fräser mit mittlerer Teilung ist der Spanraum am Werkzeugkörper in der Regel etwas kleiner als bei einem Fräser mit weiter Teilung. Und bei einem Fräser mit enger Teilung ist der Spanraum erheblich kleiner.

Weite Teilung wird empfohlen für allgemeine Fräsanwendungen, für die ausreichend Antriebsleistung vorhanden und die maximale Schnitttiefe erforderlich ist.

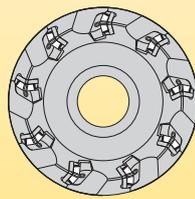
Mittlere Teilung wird empfohlen, wenn ein mäßiger Vorschub pro Zahn erforderlich ist und wenn mehr als eine Wendeschneidplatte im Eingriff vorteilhaft ist. Mittlere Teilung verringert die Stoßbelastung beim Eindringen und den Druck, ohne die Vorschubgeschwindigkeit zu beeinträchtigen.

Enge Teilung ist ideal für Fräsanwendungen bei stark unterbrochener Oberfläche, z. B. einem Verteilerblock. Fräser mit enger Teilung ermöglichen eine höhere Vorschubgeschwindigkeit (Zoll/min oder mm/min) als solche mit mittlerer oder weiter Teilung. Sie sind auch größeren Schnittkräften ausgesetzt und erfordern eine höhere Antriebsleistung als Fräser mit mittlerer oder weiter Teilung.

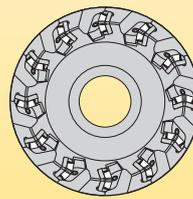
Fräser mit Differentialteilung haben ungleichmäßig verteilte Wendeschneidplatten. Bei dieser Konfiguration werden die Resonanzschwingungen unterbrochen, die durch gleichmäßig angeordnete Schneidplatten entstehen, wodurch sich die Vibrationen erheblich reduzieren. Diese Ausführung wird für die meisten Fräser unabhängig von der Zahnteilung verwendet.



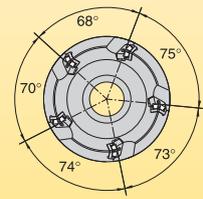
Weite Teilung



Mittlere Teilung



Feingewinde



Differentialteilung

Einstellwinkel/Schnittkräfte am Werkstück und der Spannvorrichtung

Die während des Fräsens erzeugten Schnittkräfte ändern sich ständig während des Eingriffs der Wendeschneidplatten. Ein Verständnis der wirkenden Kräfte ist erforderlich, um eine sichere Bearbeitung zu gewährleisten und zu verhindern, dass sich das Werkstück während der Fräsbearbeitung bewegt. So werden beispielsweise Design der Befestigungsvorrichtung und Spannpositionierung anhand der beim Fräsen erzeugten Schnittkräfte ermittelt. Ebenso wichtig ist ein Verständnis von der Wirkung des Einstellwinkels auf die Richtung der Schnittkraft, die Spanstärke und die Standzeit des Werkzeugs.

90° Einstellwinkel

Vorteile:

- Wenn eine 90°-Schulter erzeugt werden soll.
- Mögliche Lösung für dünnwandige Werkstücke.

Nachteile:

- Maximale radiale Schnittkräfte.
- Hohe Stoßbelastung beim Eindringen.
- Erhöhtes Risiko der Gratbildung an der Austrittsseite des Werkstücks.

75° und 70° Einstellwinkel

Vorteile:

- Für allgemeine Fräsanwendungen und relativ stabilen Bedingungen.
- Gutes Verhältnis von Wendeschneidplattengröße und maximaler Schnitttiefe.
- Reduzierte Stoßbelastung beim Eindringen.

Nachteile:

- Höhere Radialkräfte verursachen u. U. Probleme bei Instabilität von Maschine/Werkstück/Spannvorrichtung.

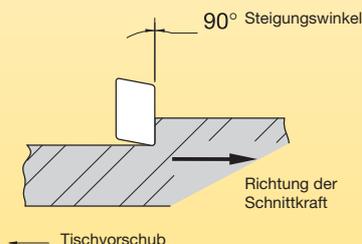
45° Einstellwinkel

Vorteile:

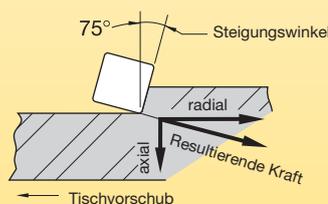
- Ausgewogenheit von axialen und radialen Schnittkräften.
- Weniger Ausbrüche an Werkstückkanten.
- Minimale Stoßbelastung beim Eindringen.
- Geringere Radialkräfte auf die Spindellager.
- Höhere Vorschubwerte möglich.

Nachteile:

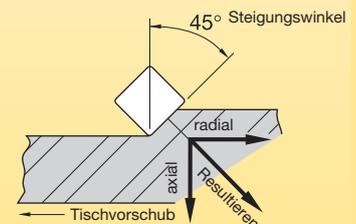
- Reduzierte maximale Schnitttiefe aufgrund des Einstellwinkels.
- Größerer Fräserdurchmesser kann Probleme mit dem Freiraum an der Spannvorrichtung verursachen.



90° Einstellwinkel



75° und 70° Einstellwinkel



45° Einstellwinkel

(Fortsetzung)

(Fortsetzung)

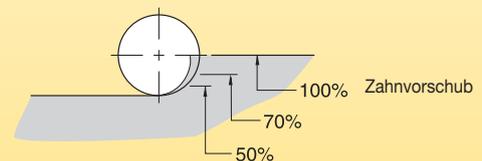
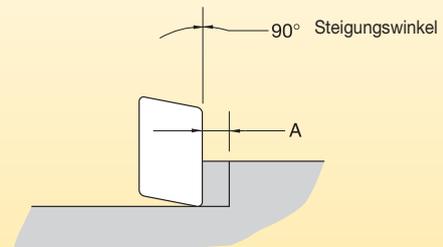
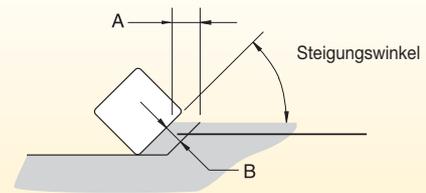
Einstellwinkel/Spandicke

Die Spandicke wird vom Einstellwinkel beeinflusst. Je kleiner der Einstellwinkel, desto dünner wird der Span, da er über eine größere Länge der Schneidkante verteilt wird. Für eine maximale Produktivität und ein problemloses Fräsen sollten Sie möglichst immer einen Fräser mit kleinem Einstellwinkel verwenden.

Steigungswinkel	Vorschub pro Zahn	Tatsächliche Spandicke „B“
90°	A	A
75°	A	.96 x A
70°	A	.94 x A
60°	A	.86 x A
45°	A	.707 x A

Beispiel:

90°	0,25mm	0,25mm
75°	0,25mm	0,24mm
70°	0,25mm	0,24mm
60°	0,25mm	0,22mm
45°	0,25mm	0,18mm



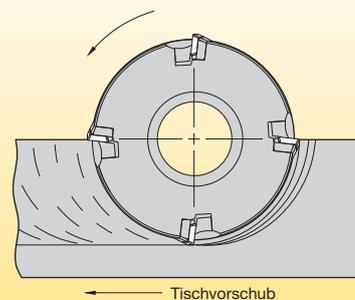
Bei runden Wendeschneidplatten variieren der Zahnvorschub und der Einstellwinkel mit der Schnitttiefe.

Einstellwinkel/Spandicke

Gegenlaufräsen

Bei diesem Fräsverfahren ist es seit vielen Jahren gängige Praxis, dass die Schnittkräfte entgegen der Vorschubrichtung des Werkstücks wirken. Dieses Verfahren wird bei HSS-Fräsen und nicht spielfreiem Tischvorschub eingesetzt. Dieses Fräsverfahren wird als herkömmliches Fräsen oder Gegenlaufräsen bezeichnet.

Beim Gegenlaufräsen treten beim Eintritt der Schneide Reibung und Abrieb auf. Dies kann zu Spanverschweißungen und Wärmeabführung in die Schneidplatte und in das Werkstück führen. Die beim Gegenlaufräsen erzeugten Kräfte wirken entgegen der Vorschubrichtung. Es kommt häufig zu Kaltverfestigungen.



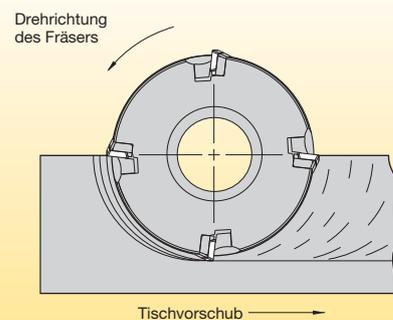
Gegenlaufräsen



Gleichlaufräsen (bevorzugt)

Gleichlaufräsen wird normalerweise empfohlen. Die Wendeschneidplatte dringt mit einem bestimmten Zahnvorschub in das Material ein und erzeugt einen beim Austritt dünner werdenden Span. Dadurch wird die Wärme über den Span abgeleitet. Kaltverfestigungen werden auf ein Minimum reduziert.

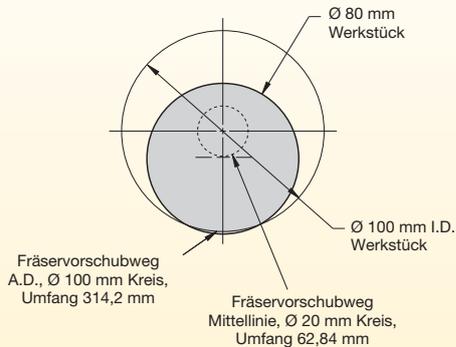
Gleichlauf-Fräskräfte drücken das Werkstück gegen die Spannvorrichtung, da sie in Vorschubrichtung wirken. Das Gleichlaufräsen ist in den meisten Fällen die bevorzugte Fräsanwendung.



Gleichlaufräsen



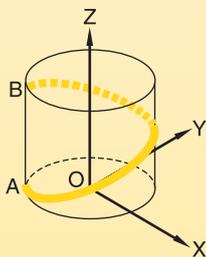
Kreisförmige Interpolation: Dabei wird eine kreisförmige Drehung des Fräasers um seine eigene Achse mit einer kreisförmigen Bewegung um den ID- oder OD-Umfang des Werkstücks ohne vertikale Verschiebung während des Fräsvorgangs kombiniert. Diese kreisende Bewegung erfolgt an der „X“- und „Y“-Achse.



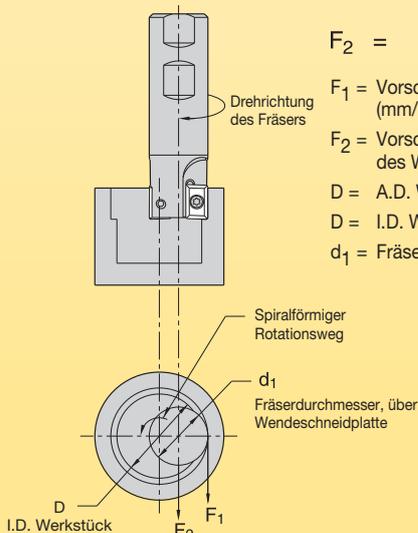
ID kreisförmige Interpolation

Spiralförmige Interpolation: Für diese Anwendung wird eine Fräsmaschine mit dreiachsiger Steuerung benötigt. Dabei wird eine kreisförmige Drehung des Fräasers um seine eigene Achse mit einer kreisförmigen Bewegung um einen ID- oder OD-Umfang des Werkstücks in der „X“- und „Y“-Ebene kombiniert. Die kreisförmige Bewegung um die „X“- und „Y“-Ebene zusammen mit einer simultanen linearen Bewegung in der Ebene der Z-Achse (die senkrecht zur „X“- und „Y“-Ebene verläuft) erzeugt die spiralförmige Bewegung. Der Verlauf von Punkt A nach Punkt B entlang der Ummantelung des Zylinders stellt eine Kombination aus kreisförmiger Bewegung in der „X“- und „Y“-Ebene und linearer Bewegung in „Z“-Richtung dar. Bei den meisten CNC-Systemen gibt es zwei verschiedene Möglichkeiten, um diese Funktion auszuführen:

- GO2: spiralförmige Interpolation im Uhrzeigersinn.
- GO3: spiralförmige Interpolation gegen den Uhrzeigersinn.



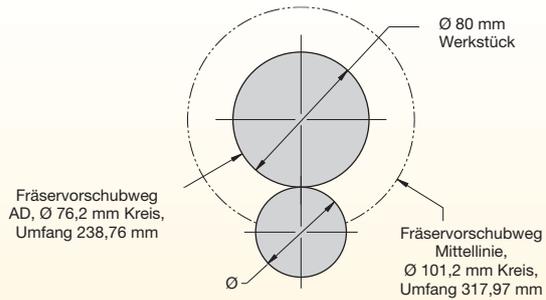
Spiralförmige Interpolation



Innendurchmesser (I.D.) Spiralförmige Interpolation

$$F_2 = \frac{F_1 \times (D - d_1)}{D}$$

F_1 = Vorschubgeschwindigkeit an der Schneidkante (mm/min)
 F_2 = Vorschubgeschwindigkeit an der Mittelachse des Werkzeugs (mm/min)
 D = A.D. Werkstückdurchmesser
 d_1 = I.D. Werkstückdurchmesser
 d_1 = Fräserdurchmesser, über Wendeschneidplatte



AD kreisförmige Interpolation

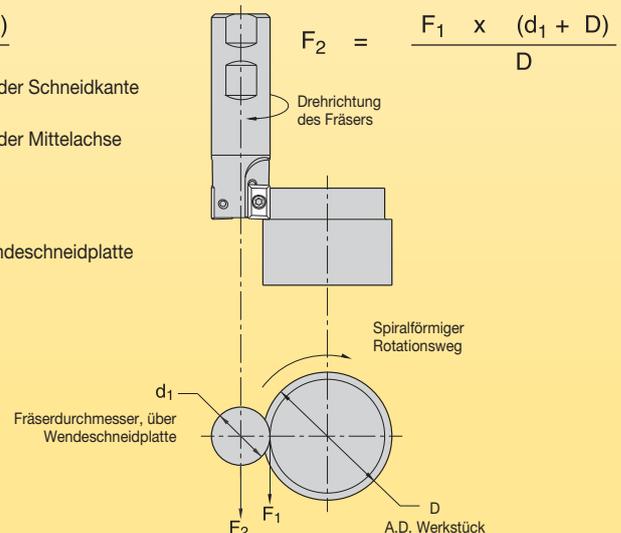
Berechnung des Vorschubs für kreisförmige und spiralförmige Interpolation: Bei den meisten CNC-Maschinen wird die für die Programmierung beim Konturfäsen (Kreis- und oder Schraubenförmig) erforderliche Vorschubgeschwindigkeit basierend auf der Mittelachse des Werkzeugs berechnet. Bei linearer Werkzeugbewegung ist der Vorschub an der Schneidkante mit dem an der Mittellinie identisch. Bei kreisförmiger Werkzeugbewegung trifft dies jedoch nicht zu.

Berechnung der Vorschubgeschwindigkeit an der Schneidkante: Zunächst wird der Werkzeugvorschub an der Schneidkante mit folgender Formel berechnet:

$$F_1 = f_z \times z \times n$$

F_1 = Vorschubgeschwindigkeit an der Schneidkante (mm/min)
 f_z = mm pro Zahn (Zahnvorschub)
 Z = Anzahl effektiver Wendeschneidplatten des Fräasers
 n = Umdrehungen pro Minute

Berechnung der Vorschubgeschwindigkeit an der Mittellinie des Werkzeugs: Verwenden Sie die folgenden Gleichungen, um das Verhältnis zwischen Vorschubgeschwindigkeiten an der Schneidkante und an der Mittelachse des Werkzeugs zu definieren.



Außendurchmesser (A.D.) Spiralförmige Interpolation

$$F_2 = \frac{F_1 \times (d_1 + D)}{D}$$

F_1 = Vorschubgeschwindigkeit an der Schneidkante (mm/min)
 F_2 = Vorschubgeschwindigkeit an der Mittelachse des Werkzeugs (mm/min)
 D = A.D. Werkstückdurchmesser
 d_1 = Fräserdurchmesser, über Wendeschneidplatte

(Fortsetzung)

(Fortsetzung)

Beim Konturfäsen von Innendurchmessern ist zu bemerken, dass die Vorschubgeschwindigkeit der Mittelachse des Werkstücks immer niedriger als die Vorschubgeschwindigkeit der Schneidkante ist.

Beispiel für ID

D = 100 mm (4") ID Werkstück
 d₁ = 80 mm (3") Fräserdurchmesser
 fz = 0,2 mm/Zahn (0,008 IPT)
 n = 637 U/min
 z = 7 effektive Wendschneidplatten

1. Berechnung der Vorschubgeschwindigkeit an der Schneidkante

$$F_1 = fz \times z \times n$$

$$F_1 = 0,2 \times 7 \times 637 = 892 \text{ mm/min} \quad (0,008 \times 7 \times 637 = 35,7 \text{ Zoll/min})$$

2. Berechnung der Vorschubgeschwindigkeit an der Mittelachse des Werkzeugs

$$F_2 = \frac{F_1 \times (D - d_1)}{D}$$

$$F_2 = \frac{892 \times (100 - 80)}{100} = 178 \text{ mm/min}$$

Um (F₁) 892 mm/min als Vorschubgeschwindigkeit an der Schneidkante zu erhalten, muss die Maschine auf (F₂) 178 mm/min als Vorschubgeschwindigkeit an der Mittelachse des Werkzeugs programmiert werden. Dies bedeutet eine um 75 % geringere Vorschubgeschwindigkeit als die Vorschubgeschwindigkeit der Schneidkante (F₁).

Beim Konturfäsen von Außendurchmessern ist zu bemerken, dass die Vorschubgeschwindigkeit der Mittelachse des Werkstücks immer höher als die Vorschubgeschwindigkeit der Schneidkante ist.

Beispiel für AD

D = 125 mm (5") AD Werkstück
 d₁ = 50 mm (2") Fräserdurchmesser
 fz = 0,2 mm/Zahn (.008 IPT)
 n = 955 U/min
 z = 5 effektive Zähne

1. Berechnung der Vorschubgeschwindigkeit an der Schneidkante

$$F_1 = fz \times z \times n$$

$$F_1 = 0,2 \times 5 \times 955 = 955 \text{ mm/min} \quad (0,008 \times 5 \times 955 = 38,2 \text{ Zoll/min})$$

2. Berechnung der Vorschubgeschwindigkeit an der Mittelachse des Werkzeugs

$$F_2 = \frac{F_1 \times (d_1 + D)}{D}$$

$$F_2 = \frac{955 \times (50 + 125)}{125} = 1.337 \text{ mm/min}$$

Um (F₁) 38,2 Zoll/min (955 mm/min) als Vorschubgeschwindigkeit an der Schneidkante zu erhalten, muss die Maschine auf (F₂) 53,5 Zoll/min (1,337 mm/min) als Vorschubgeschwindigkeit an der Mittelachse des Werkzeugs programmiert werden. Dies bedeutet einen Anstieg der Vorschubgeschwindigkeit um ca. 40% gegenüber der Vorschubgeschwindigkeit an der Schneidkante (F₁).

Große Oberflächen

Die Interpolation mit einem kleineren Fräser kann schneller sein als die Verwendung eines größeren Fräserdurchmessers. Achten Sie zudem darauf, dass der Fräser den Kontakt mit dem Werkstück behält und nicht aus diesem austritt und erneut eintritt.

Maximieren des Zerspanungsvolumens

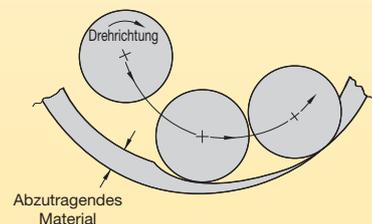
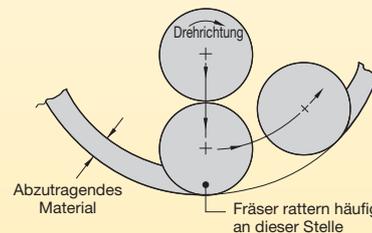
Konzentrieren Sie sich auf das Zerspanungsvolumen und nicht nur auf höhere Schnittgeschwindigkeiten. Eine erhöhte Drehzahl ohne erhöhten Zahnvorschub führt zu keinem besseren Zerspanungsvolumen. Durch eine Verdoppelung des Vorschubs pro Zahn erhöht sich das Zerspanungsvolumen und die Leistungsaufnahme nimmt nur um etwa 50% zu.

Vorgegeben

Um eine einwandfreie Einstellung des Fräsers zu erreichen, verwenden Sie an der Maschine nach Möglichkeit Voreinstellräume des Fräsers und keine indexierenden Fräser.

Winkel hinein und hinaus

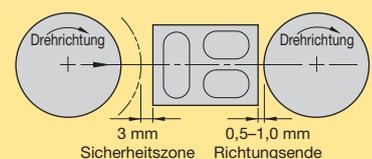
Wie unten dargestellt, verlängert ein graduelles Eintauchen in den Schnitt die Standzeit. Wenn der Fräser beim Eintritt und Austritt in und aus dem Werkstück konstant in Bewegung bleibt, werden außerdem Eindrucksuren vermieden.



Sicherheit und Richtungsende

Programmieren Sie das Fräs Werkzeug für einen hohen Vorschub in das Teil in einem Bereich von 3 mm, bevor das Werkzeug in das Werkstück eingreift. Dadurch kann die Maschine ihre korrekten Betriebsparameter erreichen, bevor mit der eigentlichen Zerspanung begonnen wird.

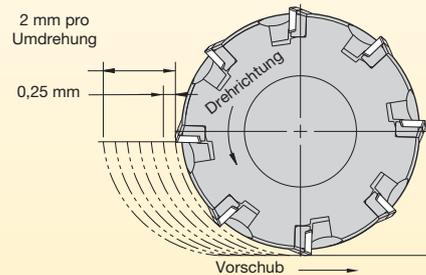
Schneller Vorschub zur nächsten Bearbeitungsposition, wenn sich der Fräser 0,5 bis 1 mm hinter der Kante des Teils befindet. Besitzt die Spindel eine integrierte Neigung oder eine programmierte Rundlaufgenauigkeit, kann der Fräser zur nächsten Schnittposition fahren, während sich die hintere Hälfte des Fräsers noch über der fertig gefrästen Fläche befindet.



zu berechnen	gegebene	Formel
Vc	D n	$Vc = \frac{\pi \times D \times n}{1000}$
n	D Vc	$n = \frac{1000 \times Vc}{\pi \times D}$
Vf	fz n z	$Vf = fz \times z \times n$
fz	z Vf n	$fz = \frac{Vf}{z \times n}$
gegebene		berechnet
D = 125 mm Fräserdurchmesser Z = 8 Schneiden in Fräser Vc = 200 mm/min fz = 0,2 mm		$n = \frac{1000 \times 200}{3,1416 \times 125} = 510 \text{ U/min}$ $Vf = 0,20 \times 8 \times 510 = 816 \text{ mm/min}$

Erklärung

Vc = Oberflächenvorschub pro Minute
n = Umdrehungen pro Minute
D = Fräserdurchmesser
Vf = Vorschub (mm pro Minute)
fz = mm pro Zahn (Zahnvorschub)
z = Anzahl effektiver Schneidreihen oder Wendeschneidplatten des Fräasers
 $\pi = 3,1416$



Nutenfräsen oder Stirnfräsen

Der echte bzw. tatsächliche Zahnvorschub an der Schneidkante der Wendeschneidplatte entspricht dem programmierten Zahnvorschub, wenn sich der Fräserdurchmesser mindestens zu 50 % im Eingriff befindet (ohne Berücksichtigung des Einstellwinkels). Befindet sich weniger als die Hälfte des Durchmessers im Eingriff, reduziert sich der tatsächliche Zahnvorschub um mehrere Prozent. Je kleiner die radiale Schnitttiefe desto stärker reduziert sich der tatsächliche Zahnvorschub.

Es ist extrem wichtig, einen Zahnvorschub beizubehalten, der groß genug ist, um die Wärmeabführung zu gewährleisten und eine Kaltverfestigung zu verhindern. Ein geeigneter Zahnvorschub sorgt zudem für ausreichend Stabilität zwischen Fräser und Werkstück.

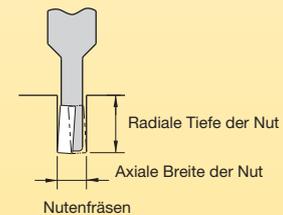
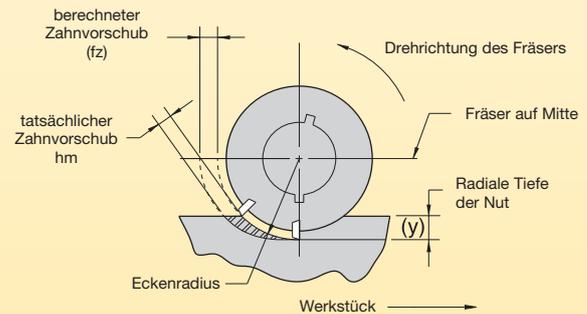
Mit den nachfolgend dargestellten Formeln wird der programmierte Zahnvorschub bzw. der Vorschub ermittelt, um den gewünschten Vorschub an der Schneidkante der Wendeschneidplatte beim Eingriff in das Werkstück zu ermitteln. Diese Formeln sind immer dann anzuwenden, wenn ein Aufsteckfräser für das Nutenfräsen verwendet wird oder wenn sich weniger als die Hälfte des Durchmessers eines Planfräasers oder Schafffräasers im Eingriff befindet. Je geringer die radiale Schnitttiefe desto wichtiger ist die Anwendung dieser Produktivitätsformeln.

Produktivitätsformeln

$$\text{Zahnvorschub (fz)} = \frac{\left(\frac{\sqrt{(\text{dia.} - y) \times y}}{\text{radius}} \right)^2 \times \left(\frac{vf}{n} \right)}{z}$$

oder

$$Vf = \frac{n \times z \times fz}{\left(\frac{\sqrt{(\text{dia.} - y) \times y}}{\text{radius}} \right)^2}$$



Für einige Verfahren wie das Stirnfräsen mit einer leichten radialen Schnitttiefe oder Nutenfräsen mit Aufsteckfräser ist die Berechnung der Vorschubkompensation zur Einhaltung des geeigneten Zahnvorschubs an der Schneidkante der Wendeschneidplatte beim Eingriff erforderlich. Je nach radialer Tiefe und Fräserdurchmesser können der berechnete Zahnvorschub und der tatsächliche Zahnvorschub erheblich voneinander abweichen. Beispielsweise beträgt der tatsächliche Zahnvorschub beim Eindringen für einen Fräserdurchmesser von 20 mm mit einer radialen Schnitttiefe von 0,3 mm nur 23 % des berechneten Zahnvorschubs. Werden die Formeln nicht angewendet, kann es nicht selten zu Aufbauschneiden, Kaltverfestigungen oder Rattern kommen. Um den tatsächlichen Zahnvorschub an jeder Spannute des Fräasers zu erhalten, spielt die Rundlaufgenauigkeit des Fräasers eine entscheidende Rolle. Ein Nebeneffekt der Anwendung dieser Formeln ist eine Steigerung der Produktivität, da sich die Vorschübe drastisch erhöhen.

Formeln – Leistung

Zerspanungsvolumen

Die Berechnung des Zerspanungsvolumens ist ein guter Ausgangspunkt, um die Effizienz der Metallzerspanung zu ermitteln.

$$MRR = doc \times woc \times Vf = \text{mm}^3/\text{min}.$$

Leistungsverbrauch

Fräswerkzeuge erfordern u. U. eine hohe Antriebsleistung. Sehr häufig ist mangelnde Antriebsleistung ein einschränkender Faktor, wenn es um die Entscheidung für ein bestimmtes Verfahren geht. Bei Anwendungen, für die Fräswerkzeuge mit großem Durchmesser oder das Abtragen hoher Aufmaße erforderlich sind, empfiehlt es sich, zunächst die erforderliche Antriebsleistung zu berechnen.

HINWEIS: Spindelwirkungsgrad „E“ variiert zwischen 75% und 90%.

$$(E = 0,75 \text{ bis } 0,90)$$

Eine geeignete Formel zur Berechnung der Antriebsleistung (HP_c) des Fräswerkzeugs ist:

$$HP_c = \frac{MRR}{K} \text{ Beispiel:}$$

Schnitttiefe (woc) 42 mm
 Schnitttiefe (doc) 5 mm
 Vorschub (vf) 1092 mm/min
 4140 220 HB „K“-Faktor 1,56

$$MRR = 5 \times 42 \times 1092 = 229320 \text{ mm}^3/\text{min}$$

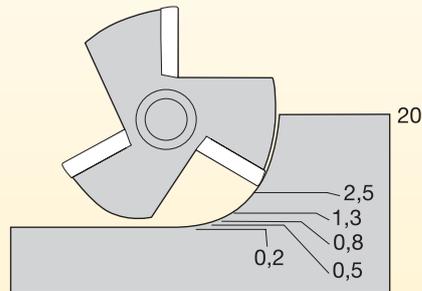
Zur Berechnung der Motorantriebsleistung (HP_m) verwenden Sie die Formel:

$$HP_m = \frac{HP_c}{E}$$

Bei der Bestimmung der erforderlichen Antriebsleistung muss der Faktor „K“ verwendet werden. Der Faktor „K“ ist eine Leistungskonstante, die angibt, wie viel Kubikzoll Werkstoff pro Minute mit einem PS Antriebsleistung abgetragen werden können.

HINWEIS: „K“-Faktoren fallen je nach Materialhärte unterschiedlich aus.

Radiale Schnitttiefe	tatsächlicher Zahnvorschub (fz)	erford. Vorschub (Vf) zur Einhaltung von fz = 0,1	Erhöhen
20	0,1	140	0%
2,5	0,05	292	109%
1,3	0,04	389	178%
0,8	0,03	498	256%
0,5	0,02	607	335%
0,3	0,015	859	515%



40 mm Schafffräser – 6 Spannuten
 30 m/min (vc) 230 U/min
 0,1 mm (fz) 140 mm/min (Vf)

„K“-Faktoren

Werkstoff	Härte	„K“-Faktor	
Stähle und Schmiedeeisen und Gusseisen (legierte Kohlenstoffstähle und Werkzeugstähle)	85–200	1,64	
	201–253	1,56	
	254–286	1,28	
	287–327	1,10	
	328–371	0,8	
40 mm Schafffräser – 6 Spannuten 30 m/min (vc) 230 U/min 0,1 mm (fz) 140 mm/min (Vf)	372–481	0,69	
	482–560	0,59	
	561–615	0,54	
	Ausscheidungsgehärteter, nicht rostender Stahl	150–450	1,27–0,42
	Gusseisen (Grau-, Sphäro- und Temperguss)	150–175	2,27
110–190		2,0	
176–200		1,89	
201–250		1,52	
251–300		1,27	
Edelstahl, Schmiedeeisen und Gusseisen (ferritisch, austenitisch und martensitisch)	301–320	1,19	
	135–275	1,54–0,76	
Titan	286–421	0,74–0,50	
	250–375	1,33–0,87	
Hochwärmefeste Legierungen auf Nickel- oder Kobaltbasis	200–360	0,83–0,48	
	180–320	0,91–0,53	
Eisenbasis	80–360	0,91–0,53	
Nickellegierungen	80–360	0,91–0,53	
Aluminiumlegierungen mit hohem Siliziumgehalt	30–150 (500 kg)	6,25–3,33	
Magnesiumlegierungen	40–90 (500 kg)	10,0–6,67	
Kupfer	150	3,33	
	100–150	3,33	
Kupferlegierungen	151–243	2,0	

In den vergangenen 50 Jahren haben die Zerspanungsvolumen und die Leistungskonstanten als konventionelle Werte zur Berechnung der Leistung gedient. Obwohl dies ein relativ gängiges Verfahren zur Berechnung der Leistung ist, wurde eine genauere Methode für das Fräsen mit Fräsern mit großem Schwerwinkel entwickelt. Dieser neue Ansatz nutzt die folgenden Informationen:

1. Berechnung der Tangentialkraft (F_t)
2. Bruchfestigkeit
3. Querschnittsbereich des Spanes
4. Anzahl der Wendeschneidplatten im Schnitt
5. Zerspanbarkeitsfaktor
6. Werkzeugverschleißfaktor
7. Berechnung des Drehmoments
8. Berechnung der Leistung am Fräser
9. Berechnung der Leistung am Motor

Berechnung von Tangentialkraft, Drehmoment und Leistung beim Planfräsen mit Fräsern mit hohem Schwerwinkel

1. Berechnung der Tangentialkraft (N)

Die Berechnung der Tangentialkraft ist wichtig, da diese Kraft das Drehmoment an der Spindel erzeugt und für den Großteil der Bearbeitungsleistung am Schneidwerkzeug verantwortlich ist. Mit dieser tangentialen Kraftformel lassen sich die näherungsweise Kräfte schnell bestimmen, denen Aufspanvorrichtungen, Teilwandabschnitte oder Spindellager ausgesetzt sind. Die Tangentialkraft wird mit folgender Formel berechnet:

$$F_t = S \times A \times Z_c \times C_m \times C_w \text{ (N)}$$

Dabei ist: S = Bruchfestigkeit des Werkstoffes (N/mm^2)
 A = Querschnittsbereich des Spanes, der von der Wendeschneidplatte zum Fräsen entfernt wird (mm^2)
 Z_c = Anzahl der Wendeschneidplatten im Schnitt
 C_m = Zerspanbarkeitsfaktor
 C_w = Werkzeugverschleißfaktor

2. Bruchfestigkeit (N/mm^2)

Das näherungsweise Verhältnis zwischen der Bruchfestigkeit und der Härte der am häufigsten verwendeten Werkstoffe wie Stähle, Eisen (z. B. Grauguss), Titanlegierungen (Ti – 6Al – 4V) und Aluminiumlegierungen (2024, 5052) kann durch folgende empirische Formel ausgedrückt werden:

$$S = 5 \times \text{HB} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

Dabei ist HB der Brinell-Härtewert, der in erster Linie bei der 3000-kgf-Last ermittelt wird. Bei der Prüfung von weichen Metallen wie Aluminiumlegierungen wird die 500-kgf-Last verwendet. Die bei der 500-kgf-Last erhaltene Härte sollte mit dem Lastfaktor 1,15 in das Härteäquivalent der 3000-kgf-Last umgewandelt werden. Zum Beispiel entspricht 130 HB bei der 500-kgf-Last 150 HB bei der 3000-kgf-Last ($130 \times 1,15 = 150$). Wenn die Härte als Rockwell „B“ oder Rockwell „C“ Wert angegeben ist, beachten Sie den Abschnitt mit den Auflistungen der Werkstoffe auf Seite Y191.

3. Querschnittsbereich des Spanes (A)

Querschnittsbereich des Spanes (Abb. 1) wird wie folgt definiert:

Dabei ist: $A = d \cdot f \text{ (mm}^2\text{)}$
 d = axiale Schnitttiefe (mm)
 fz = Vorschub pro Zahn (mm)

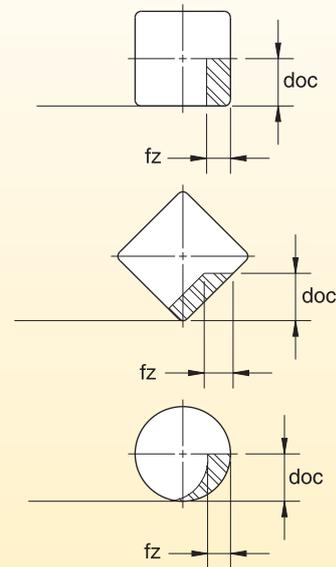


Abbildung 1: Querschnittsbereich des Spanes und Wendeschneidplatten-Form

4. Anzahl Wendeschneidplatten im Schnitt (Z_c)

Die Anzahl der Wendeschneidplatten im Schnitt (gleichzeitiger Eingriff im Werkstoff) ist von der Anzahl der Wendeschneidplatten im Fräser „ Z “ und dem Eingriffswinkel (α) abhängig. Dieses Verhältnis ist in folgender Formel dargestellt:

$$Z_c = \frac{Z \times \alpha^\circ}{360^\circ}$$

Der Eingriffswinkel ist von der Schnittbreite „ W “ und dem Fräserdurchmesser „ D “ abhängig. Dieser Winkel ergibt sich aus der Geometrie in Abbildung 2. Formeln zur Berechnung des Eingriffswinkels und der Anzahl der Wendeschneidplatten im Schnitt bei beliebiger Schnittbreite sind im Anhang auf Seite X20 angegeben.

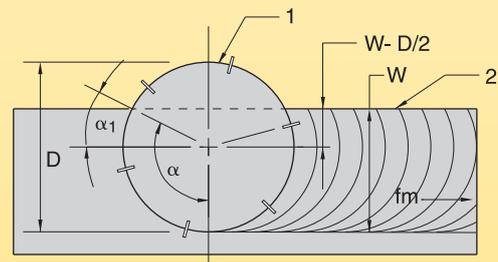


Abbildung 2: Schema zur Berechnung der Anzahl der Wendeschneidplatten im Schnitt

- 1 = Fräser
- 2 = Werkstück
- α = Eingriffswinkel
- α_1 = der Winkel zwischen der Fräsermittellinie und dem Fräserradius zum peripheren Austritts- oder Eintrittspunkt
- W = Schnittbreite (woc)
- D = Fräserdurchmesser
- f_m = Werkstück-Vorschubbewegung

(Fortsetzung)

(Fortsetzung)

Wenn die Schnittbreite gleich dem Fräserdurchmesser ist ($W/D = 1,0$), sind der Eingriffswinkel $\alpha = \frac{180^\circ}{360^\circ}$ und $Z_C = Z \times 180^\circ = 0,5Z$.

Wenn die Schnittbreite gleich der Hälfte des Fräserdurchmessers ist ($W/D = 0,5$), sind der Eingriffswinkel $\alpha = \frac{90^\circ}{360^\circ}$ und $Z_C = Z \times 90^\circ = 0,25Z$.

Die Werte für Z_C sind von den gegebenen W/D -Verhältnissen abhängig, die in Tabelle 1 angegeben sind.

Tabelle 1

W/D	.88	.80	.75	.67	.56	.38	.33	.19	.125
Z_C	.38Z	.35Z	.33Z	.30Z	.27Z	.21Z	.20Z	.14Z	.12Z

5. Zerspanbarkeitsfaktor (C_m)

Der Zerspanbarkeitsfaktor wird verwendet, um den Schwierigkeitsgrad bei der Bearbeitung verschiedener Werkstoffe anzugeben. Tabelle 2 enthält die Werte für den Zerspanbarkeitsfaktor für einige der am häufigsten verwendeten Werkstoffe.

Tabelle 2

Werkstoff	C_m		
	$W/D \leq 0,67$	$0,67 < W/D < 1,0$	$W/D = 1,0$
Kohlenstoff und legierte Stähle	1.0	1.15	1.3
Nicht rostender Stahl	2.0	2.15	2.3
Grauguss	1.0	1.15	1.3
Titanlegierungen	1.0	1.20	1.4
Aluminiumlegierungen mit hohem Siliziumgehalt	1.0	1.05	1.1

Die Werte von C_m basieren auf Frästests mit einem Drehmomentdynamometer bei unterschiedlichen Schnittbedingungen. Es wurde festgestellt, dass der Zerspanbarkeitsfaktor von der Art des Werkstoffes und dem Verhältnis der radialen Schnittbreite zum Fräserdurchmesser (W/D) abhängig ist.

Dieses Verhältnis bestimmt die Gleichmäßigkeit der Spandicke. Wenn $W/D = 1,0$, beginnt der Span am Eintrittspunkt bei einer Dicke von null. Er erhöht sich auf eine maximale Dicke an der Mittellinie des Fräses und geht am Austrittspunkt wieder auf null zurück. Diese Art von Schnitt erzeugt maximale Reibung an der Schneidkante und der Zerspanbarkeitsfaktor erreicht seinen maximalen Wert. Optimale Schnittbedingungen ergeben sich, wenn $W/D = 2/3 = 0,67$. Die Dicke des Spanes ist praktisch gleichmäßig, die Reibung ist minimal und der Zerspanbarkeitsfaktor sinkt auf seinen minimalen Wert.

Durch umfassende Tests werden Zerspanbarkeitsfaktoren für eine größere Vielfalt von Werkstoffen bestimmt und die Genauigkeit für die Berechnung der Tangentialkraft und der Leistungsaufnahme verbessert.

6. Werkzeugverschleißfaktor (C_W)

Beim Fräsen mit scharfen Schneidwerkzeugen (kurze Bearbeitungszeit) ist der Werkzeugverschleißfaktor $C_W = 1,0$. Bei einer längeren Bearbeitungszeit (bevor die Wendeschneidplatten indiziert werden) werden folgende Werkzeugverschleißfaktoren berücksichtigt:

- leichtes Planfräsen $C_W = 1,1$
- allgemeines Planfräsen $C_W = 1,2$
- Schwerzerspanungs-Planfräsen $C_W = 1,3$

7. Berechnung des Drehmoments (Nm)

Das durch die Tangentialkraft erzeugte Drehmoment „T“ wird nach folgender Formel berechnet:

$$T = F_t \times D/2 \text{ (Nm)}$$

dabei ist D = Fräserdurchmesser (m)

8. Berechnung der Leistung (HP_c oder HP_m)

Die Bearbeitungsleistung am Fräser (scharfe Kanten) wird nach einer dieser beiden Formeln berechnet:

$$HP_c = \frac{F_t \times v_c}{10,000}$$

oder

$$HP_c = \frac{T \times n}{1,600}$$

dabei ist v_c = periphere Schnittgeschwindigkeit (m/min)
 n = Drehzahl (U/min)
 10000 und 1600 = Umrechnungsfaktoren

9. Die am Motor benötigte Leistung wird anhand der folgenden Formel berechnet (HP_m):

$$HP_m = \frac{HP_c}{E}$$

dabei ist E = Wirkungsgrad der Werkzeugmaschinen (E = .75-.90)
 HINWEIS: Spindelwirkungsgrad variiert zwischen 75% und 90%.

(Fortsetzung)

(Fortsetzung)

Beispiel für die Berechnung der Antriebsleistung

Gegebene Werte:

Fräswerkzeug KSOM125R06OF07:

effektiver Durchmesser D = 125 mm

Anzahl der Wendeschneidplatten Z = 6

Werkstoff:

legierter Stahl AISI 4140

Härte 220 HB

Bearbeitungsbedingungen:

Drehzahl n = 458 U/min

Schnittgeschwindigkeit Vc = 180 m/min

Maschinenvorschub Vf = 824 mm/min

mm pro Zahn (Zahnvorschub) fz = 0,3 mm

axiale Schnitttiefe doc = 4 mm

radiale Schnittbreite woc = 90 mm

W/D-Verhältnis W/D = 0,72

Schrittweise Berechnungen

1. Berechnung der Tangentialkraft

1.1 Bruchfestigkeit des Werkstoffes
 $S = 5 \times HB = 5 \times 220 = 1100 \text{ N/mm}^2$

1.2 Querschnittsbereich des Spanes
 $A = \text{doc} \times fz = 4 \times 0,3 = 1,2 \text{ mm}^2$

1.3 Anzahl Wendeschneidplatten im Schnitt:
 Verhältnis Schnittbreite zu Durchmesser (w/d)
 $W/D = 90 / 125 = 0,72$ (siehe Tabelle 1 auf Seite X12)
 Verwenden Sie jetzt den Wert Z_c aus Tabelle 1 unter 0,72.
 $Z_c = 0,33 \times Z = 0,33 \times 6 = 2$ Wendeschneidplatten im Schnitt.

HINWEIS: Z = Anzahl Wendeschneidplatten des Fräasers

1.4 Tangentialkraft
 $F_t = S \times A \times Z_c \times C_m \times C_w$
 $F_t = 1100 \times 1,2 \times 2 \times 1,1 \times 1,1 = 3194 \text{ N}$

HINWEIS: $C_m = 1,1$ und $C_w = 1,1$

2. Berechnung des Drehmoments am Fräser

$T = (F_t \times D) / 2 = \frac{3,194 \times 0,125}{2} = 199,6 \text{ Nm}$

3. Berechnen der Antriebsleistung

- Am Fräser...Formeln für Referenzzwecke in Abschnitt 8 auf Seite X12.

$HP_C = \frac{F_t \times V_c}{10,000} = \frac{3,194 \times 458}{10,000} = 57,5 \text{ PS}$

oder

$HP_C = \frac{T \times U/\text{min}}{1,600} = \frac{1,996 \times 458}{1,600} = 57,5 \text{ PS}$

- Am Motor...Formeln für Referenzzwecke in Abschnitt 9 auf Seite X12.
- Dabei ist E = Wirkungsgrad der Werkzeugmaschinen (E = .75-.90).

$HP_m = \frac{HP_C}{E} = \frac{57,5}{.8} = 71,9 \text{ PS}$

Die Oberflächengüte kann eine wichtige Spezifikation für ein bearbeitetes Teil darstellen. Mit Fräsern mit Wendeschneidplatten kann in der Regel ein Ra-Wert von 0,80-3,2 (32-150) erreicht werden. Dieser große Bereich kann durch mehrere Variablen beeinflusst werden wie Werkstoff des Werkstücks, Steifigkeit der Maschine, Spindelausrichtung, Spannvorrichtung, Geometrie an der Spitze der Wendeschneidplatte, Wendeschneidplattenverschleiß, Vorschub- und Schnittgeschwindigkeit, wärmebedingte Spanverschweißungen und Rattern.

Gute Ergebnisse bei der Oberflächengüte werden erzielt, wenn Fräsergeometrie, Ausführung der Wendeschneidplatten, Schnittgeschwindigkeiten und Vorschübe für den zu fräsenden Werkstoff optimal kombiniert werden. Darüber hinaus ist es wichtig, dass das Werkstück auf geeignete Weise aufgespannt ist und die Maschine ordnungsgemäß gewartet wird.

In Abbildung 1 ist dargestellt, wie mit einem größeren Eckenradius oder einer größeren Span- oder Wiper-Fläche an der Wendeschneidplatte eine bessere Oberflächengüte erreicht werden kann. Hierdurch werden Vorschubriefen beseitigt bzw. verringert. Zusätzlich zur Eckgeometrie der Wendeschneidplatte ist es wichtig, jede Wendeschneidplatte relativ zu den anderen Wendeschneidplatten korrekt einzustellen. Wenn beispielsweise alle Wendeschneidplatten die gleiche Eckengeometrie aufweisen und in dem Fräserkörper auf eine Flächenhöhe von ungefähr 0,025 mm relativ zueinander eingestellt sind, führt dies zu einer besseren Oberflächenqualität als wenn die Wendeschneidplatten auf 0,07 mm eingestellt worden wären.

Die Oberflächengüte kann auch durch erhöhte Geschwindigkeiten und verringerte Vorschübe verbessert werden. Es ist jedoch zu beachten, dass eine erhöhte Geschwindigkeit auch zu höheren Zerspanungstemperaturen führt, wodurch sich wiederum die Lebensdauer der Schneidkanten verringern kann.

Die Oberflächengüte muss nicht notwendigerweise in allen Bereichen der gefrästen Fläche gleich ausfallen. Abbildung 2 zeigt, dass der Ra-Wert für die Oberflächengüte in dem Bereich geringer ausfällt, wo die Vorschubmarken nahe beieinander liegen, und höher, wo die Vorschubmarken weiter voneinander entfernt sind.

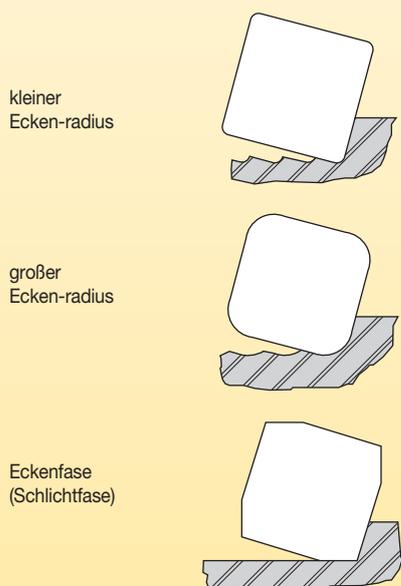


Abbildung 1: Mit größeren Eckenradien oder Spanflächen der Wendeschneidplatten werden bessere Fräsoberflächen erzeugt.

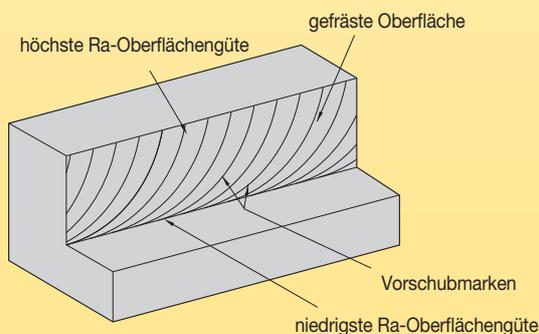


Abbildung 2: Qualität der Ra-Oberfläche entspricht dem Abstand zwischen den Vorschubmarken.

In Abbildung 3 ist der Ra-Wert in der Nähe des Außendurchmessers des Schnitts, wo auch die Vorschubmarken am engsten beieinander liegen, niedrig und in der Mitte, wo die Vorschubmarken am weitesten voneinander entfernt sind, höher. Die erzeugten Spitzen sind in der Mitte des Fräsers, wenn er im Schnitt positioniert ist, am höchsten und am Außendurchmesser des Fräsers am niedrigsten, wie unten in den Abbildungen 3 und 4 dargestellt.

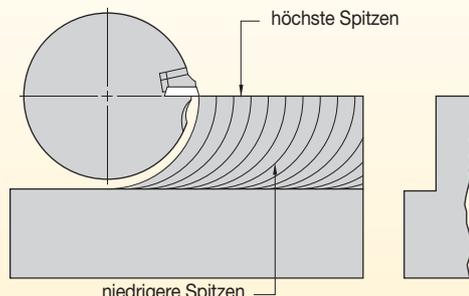


Abbildung 3: Ra-Oberflächengüte ist bei den Vorschubmarken höher, die am weitesten voneinander entfernt sind.

Sowohl die Oberflächengüte als auch die Ebenheit werden durch Vorschubmarken beeinträchtigt. Von den hohen Spitzen bis zu den niedrigen Spitzen bildet sich eine Konizität.

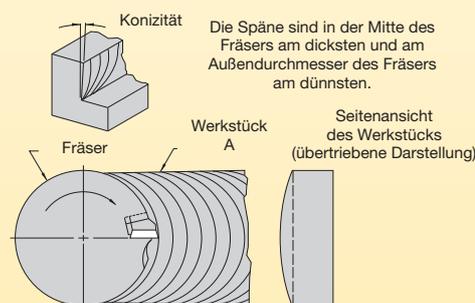


Abbildung 4: Von den hohen Spitzen bis zu den niedrigen Spitzen bildet sich eine Konizität.

Ebenheit wirkt sich auch auf die Werkstücktoleranz aus. Dieser Effekt zeigt sich in erster Linie beim Schulterfräsen beider Seiten eines Werkstücks, wie in Abbildung 5 dargestellt.

Die nächstliegende Lösung, um eine konsistente und bessere Oberflächengüte mit einer minimalen Konizität zu erhalten, besteht darin, die Spitzen zwischen den Vorschubmarken zu reduzieren oder zu glätten. Dies kann durch Einbindung einer Wendeschneidplatte mit einer Eckenkonfiguration erreicht werden, die diese Spitzen eliminieren oder reduzieren kann. In Abbildung 5 ist eine übertriebene Veränderung der Breite des Werkstücks aufgrund von Ebenheit und Konizität dargestellt.

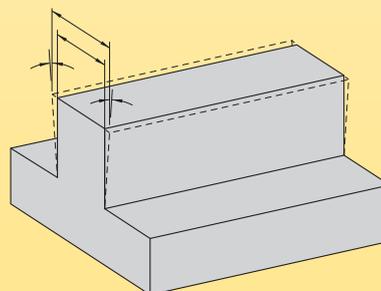


Abbildung 5: Ebenheit beeinträchtigt die Werkstücktoleranz umso mehr, wenn die Fräsbearbeitung auf beiden Seiten des Werkstücks erfolgt.

(Fortsetzung)

(Fortsetzung)

Die Abbildungen 6 und 7 vergleichen Vorschubmarken, die mit einer Vollradius-Wendeschneidplatte erzeugt wurden, mit Marken, die mit einer Breitschlicht-Wendeschneidplatte erzeugt wurden. Mit einer Breitschlicht-Wendeschneidplatte mit einem großen Radius für das Eliminieren oder Reduzieren von Spitzen (Abbildung 7) konnten Oberflächen mit einem Ra-Wert von unter 2,5 effektiv erzeugt werden. Abbildungen 6 und 7 zeigen, wie die Breitschlicht-Wendeschneidplatte konzipiert ist, um die Spitzen der Vorschubmarken oben zu deckeln. Das Ergebnis sind bessere Oberflächengüte, Ebenheit der Oberfläche sowie reduzierte Konizität.

Breitschlicht-Wendeschneidplatten sind normalerweise auf 0,025-0,04 mm über der höchsten platzierten Wendeschneidplatte im Fräser eingestellt, um eine gute Breitschlichtwirkung zu gewährleisten. Breitschlicht-Wendeschneidplatten von Kennametal sind in der Regel so konzipiert, dass sie am Fräserkörper in jeden beliebigen Plattensitz passen. Somit können eine oder mehrere Breitschlicht-Wendeschneidplatten verwendet werden. Austauschbare Breitschlicht-Wendeschneidplatten können verwendet werden, um die Last am Außenbereich des Schnitts in Vorschub pro Zahn zu verteilen.

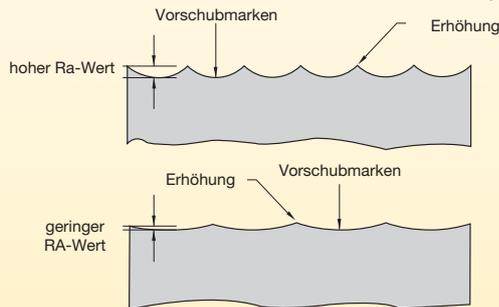


Abbildung 6: Mit einer Wendeschneidplatte mit Standardradius produzierte Erhöhungen (oben) im Vergleich zu mit einer Breitschlicht-Wendeschneidplatte mit großem Radius produzierten Erhöhungen (unten).

Schlechte Oberflächengüte

Ursache	Lösung
Rundlaufgenauigkeit des Fräasers	Auf zu hohe Wendeschneidplatte, Schmutz in den Plattensitzen und verschmutzte Spindel und Montageseite am Fräser achten. Außerdem auf Grate am Fräser und auf beschädigte Plattensitze achten.
verschlossene oder ausgebröckelte Wendeschneidplatte	Wendeschneidplatte wenden.
Vorschub pro Umdrehung übersteigt Planfase an Breitschlicht-Wendeschneidplatte	Vorschub verringern oder eine Breitschlicht-Wendeschneidplatte mit einer effektiveren Wendeschneidplatten-Fasbreite installieren.
Breitschlicht-Wendeschneidplatte ist zu hoch	Die Breitschlicht-Wendeschneidplatte auf 0,025-0,04 mm über der höchsten Wendeschneidplatte einstellen.
Rattern	Steifigkeit der Maschine und Tischbefestigung prüfen. Aufnahme und Spindel prüfen, Vorschübe anpassen, U/min anpassen oder Schnittbreite verringern. Fräser mit weniger Plattensitzen in Erwägung ziehen.

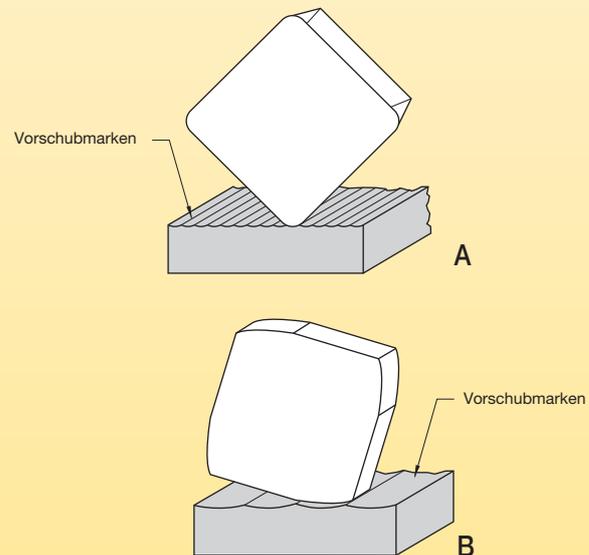


Abbildung 7: Vorschubmarken, die mit einer Vollradius-Wendeschneidplatte (A) erzeugt wurden, im Vergleich zu Marken, die mit einer Breitschlicht-Wendeschneidplatte (B) erzeugt wurden.

(Fortsetzung)

(Fortsetzung)

Messen der beim Fräsen erzeugten Oberflächengüte

Verlassen Sie sich bei der Bestimmung der Oberflächengüte nicht auf Ihr Augenmaß oder Ihren Fingernagel. Fingernägel sind etwa 25-mal so dick wie die Stiftspitze eines Oberflächenmessgerätes. Sie gleiten über Oberflächenspitzen und übergehen die Vertiefungen. Verwenden Sie ein Oberflächenmessgerät, da das Aussehen der Oberflächenbeschaffenheit täuschen kann. Beispielsweise wird reflektiertes Licht auf einem gleichmäßig gefrästen Oberflächenmuster glatter aussehen als ein zufällig erzeugtes Muster. Auch eine glänzende Oberfläche erscheint glatter als eine stumpfe Oberfläche.

Die Platzierung des Messgerätes in einem bestimmten Bereich auf der gefrästen Oberfläche wirkt sich auf das Messergebnis aus. Außerdem ist es besser, die Oberflächengüte senkrecht zur Vorschubrichtung und nicht parallel zur Vorschubrichtung zu messen. Dies ist in der Regel vom Zustand und Werkstoff des Werkstücks unabhängig (siehe Abbildung 8).

Wird die Einstechbreite am Oberflächenmessgerät geändert, wirkt sich dies auf den Ra-Wert der Messung aus.

Oberflächenprofil-Aufzeichnung

In Abbildung 9 ist die Schwankung der Rauigkeit dargestellt, die durch eine Vergrößerung der Einstechbreite am Messgerät erzeugt wird. Je größer die Einstechbreite (siehe Abbildung 9), desto höher die Ra-Oberflächengüte. Das Beispiel in Abbildung 10 zeigt, dass mit einer Einstechbreite von 0,25 mm eine Oberflächengüte von 0,6 Ra erzeugt wird, wogegen mit einer Einstechbreite von 0,76 mm eine Oberflächengüte von 2,0 Ra erzeugt wird.

Abbildung 10 zeigt zudem, dass die meisten Messgeräte Einstechbreiten von 0,25 mm, 0,76 mm und 2,54 mm unterstützen. In den meisten Fällen wird eine Einstechbreite von 0,76 mm bevorzugt.

Abbildung 11 zeigt die Standard-Oberflächensymbole, die die maximale und minimale Rauigkeit, die Welligkeit und die Lage (die Richtung, in die die Messung erfolgt) angeben.

Bevorzugte Methode

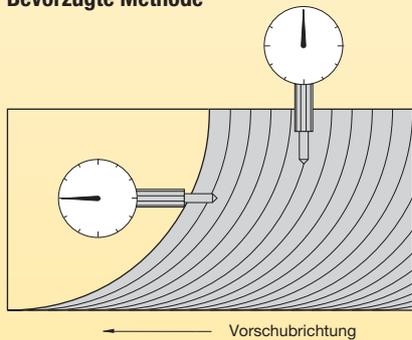


Abbildung 8: Messen der Oberflächengüte

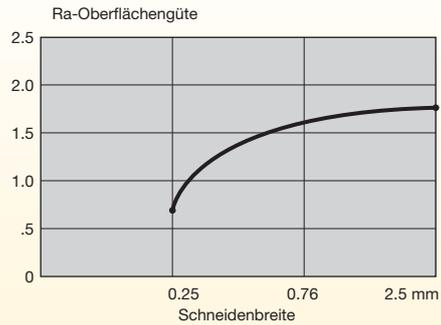


Abbildung 10: Die Oberflächengüte verhält sich direkt proportional zur Schneidenbreite.

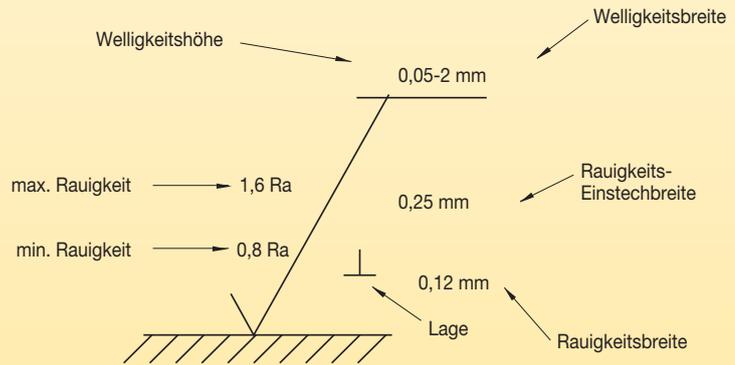


Abbildung 11: Standard-Oberflächensymbole

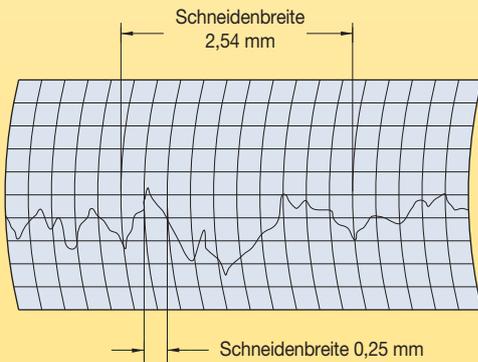


Abbildung 9: Größere Schneidenbreite führt zu Schwankungen der Rauigkeit.

Technische Informationen

Einführung in die Fehlerbehebung

Die Fehlersuche und -behebung sollte durch eine schrittweise Methode zur Erkennung und Lösung des Fräsproblems erfolgen. Sie können Probleme am vorzeitigen Ausfall der Schneidkanten, am Zustand des Werkstücks, auffälligen Geräuschen oder Vibrationen der Maschine und am Aussehen des Fräswerkzeugs erkennen. Zur erfolgreichen Problemlösung muss zunächst das Problem ermittelt werden. Dann müssen die erforderlichen Korrekturmaßnahmen schrittweise durchgeführt werden. Die fünf problematischen Bereiche sind:

1. Schneidstoff (Sorte)
2. Fräser/Aufnahme
3. Maschine
4. Werkstück
5. Einrichtung/Spannvorrichtung

In diesem Abschnitt werden mögliche Ursachen und empfohlene Korrekturmaßnahmen für die fünf genannten Bereiche erläutert. Beachten Sie, dass die Korrekturmaßnahmen schrittweise in Folge durchgeführt werden müssen. Andernfalls kann die eigentliche Ursache des Problems u. U. nie ermittelt werden. Führen Sie nur jeweils eine Korrekturmaßnahme durch.

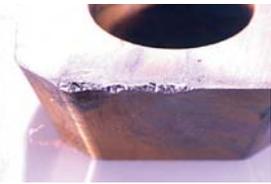
Probleme und Lösungen für Schneidkanten

Ausbrüche:

Für das ungeschulte Auge sieht dieser Zustand wie normaler Freiflächenverschleiß aus. Bereiche mit normalem Freiflächenverschleiß weisen eine feine, glatte Verschleißbildung auf. Bereiche mit Ausbrüchen haben dagegen eine sägezahnförmige, unebene Oberfläche. Wenn Ausbrüche nicht rechtzeitig festgestellt werden, können Sie u. U. als Kerbverschleiß wahrgenommen werden.

Ausbrüche können auch durch klebende Späne an der Schneide verursacht werden. Ein gutes Beispiel hierfür wäre ein Nutenfräsen, bei dem der Spanraum oder Spannraum das saubere Abführen der Späne verhindert. In diesem Fall tritt auch ein Spanrückstau auf.

In den meisten Fällen kann das Problem behoben werden, indem zu einer stärkeren Sorte und/oder zu einer anderen Schneidkantenausführung, z. B. mit einer größeren Verrundung oder Fase, oder von einer 90°-Fräsergeometrie zu einer Fräsergeometrie mit Einstellwinkel gewechselt wird.

Problem	Ursache	Lösung
Ausbrüche 	<ul style="list-style-type: none"> • Rattern 	<ul style="list-style-type: none"> • Systemsteifigkeit und Werkstückaufspannung überprüfen. • Verschlossene Führungen/Lager reparieren. • Richtige Fräseinspannung überprüfen.
	<ul style="list-style-type: none"> • Schneidkantenausführung 	<ul style="list-style-type: none"> • Größere Verrundung und Fase verwenden.
	<ul style="list-style-type: none"> • Schneidstoff 	<ul style="list-style-type: none"> • Eine zähere Schneidstoff-Sorte verwenden.
	<ul style="list-style-type: none"> • Aufbauschnide 	<ul style="list-style-type: none"> • Schnittgeschwindigkeit erhöhen.
	<ul style="list-style-type: none"> • Vorschub 	<ul style="list-style-type: none"> • Zahnvorschub verringern.
	<ul style="list-style-type: none"> • Klebende Späne an der Schneide 	<ul style="list-style-type: none"> • Fräsergeometrie mit korrekter Zahnteilung für größeren Spanraum auswählen. • Kühlmittel oder Luftkühlung verwenden, um die Späne zu entfernen.

Kerbverschleiß:

Tritt bei Ausbrüchen oder lokalem Verschleiß an der Schnitttiefebegrenzung der Spanfläche und an der Freifläche der Wendeschneidplatte auf. Kerbverschleiß wird hauptsächlich durch den Zustand des Werkstückmaterials verursacht. Folgende Materialzustände sind u. a. anfällig für Kerbverschleiß: Eine abrasive Werkstückoberfläche, abrasive Eigenschaften von hochwarmfesten Legierungen wie Inconel®, eine kaltverfestigte Oberfläche von einem vorhergehenden Spanverfahren oder wärmebehandelter Werkstoff über 55 HRC.

Problem	Ursache	Lösung
Kerbverschleiß 	<ul style="list-style-type: none"> • Fräsergeometrie 	<ul style="list-style-type: none"> • Fräser mit kleinerem Einstellwinkel verwenden.
	<ul style="list-style-type: none"> • Schneidstoff 	<ul style="list-style-type: none"> • Verschleißfestere Hartmetallsorte wählen.
	<ul style="list-style-type: none"> • Vorschub 	<ul style="list-style-type: none"> • Zahnvorschub verringern.
	<ul style="list-style-type: none"> • Schnittgeschwindigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> • Schnittgeschwindigkeit verringern.
	<ul style="list-style-type: none"> • Schneidkantenausführung 	<ul style="list-style-type: none"> • Wendeschneidplatten mit Verrundung oder Fasen verwenden.
	<ul style="list-style-type: none"> • Programmierung 	<ul style="list-style-type: none"> • Schnitttiefe bei sehr abrasiven Werkstoffen variieren.

Thermische Risse:

Diese Risse verlaufen quer zur Schneidkante der Wendeschneidplatten und werden durch hohe Temperaturschwankungen beim Fräsen verursacht. Beim Eintritt der Wendeschneidplatte steigt die Temperatur schnell an. Die unterschiedliche Spanstärke bewirkt ebenfalls eine Veränderung der Temperatur beim Zerspanen. Beim Austritt wird die Wendeschneidplatte durch Kühlmittel oder Luft schnell abgekühlt, bevor sie erneut in das Werkstück eintritt.

Diese Temperaturschwankungen erzeugen eine Wärmebelastung der Wendeschneidplatte, die zu thermischen Rissen führen kann. Für das ungeschulte Auge sehen thermische Risse ähnlich aus wie Ausbrüche.

Problem	Ursache	Lösung
Thermische Risse 	• Schnittgeschwindigkeit und Vorschub	• Temperatur an der Schneidkante verringern durch Reduzieren der Schnittgeschwindigkeit und eventuell des Vorschubs pro Zahn.
	• Kühlmittel	• Kühlmittelzufuhr unterbrechen.
	• Schneidstoff	• Für Nassbearbeitung geeignete Beschichtung verwenden.

Aufbauschneidenbildung:

Mit der Spanfläche der Wendeschneidplatte verschweißen sich Partikel des Werkstoffes. Gehärtete Stücke des abgelagerten Materials brechen hin und wieder ab und erzeugen eine unregelmäßige Vertiefung an der Schneidkante. Dadurch kann das Werkstück und die Wendeschneidplatte beschädigt werden. Durch die Bildung einer Aufbauschneide werden auch die Schnittkräfte erhöht.

Problem	Ursache	Lösung
Aufbauschneide 	• Schnittgeschwindigkeit	• Schnittgeschwindigkeit erhöhen.
	• Vorschub	• Zahnvorschub erhöhen.
	• Kühlmittel	• Kühnebel oder Kühlfüssigkeit verwenden, um bei der Bearbeitung von Edelstahl und Aluminiumlegierungen das Kleben von Spänen an der Wendeschneidplatte zu vermeiden.
	• Schneidstoff	• Scharfkantige PVD-Wendeschneidplatten verwenden. • Für die Bearbeitung von NE-Legierungen mit höheren Schnittgeschwindigkeiten werden mit Diamant teilbestückte Wendeschneidplatten oder diamantbeschichtete Wendeschneidplatten benötigt.
	• Schneidkantenausführung	• Scharfkantige PVD-Wendeschneidplatten mit positivem Spanwinkel oder polierte Wendeschneidplatten verwenden.

Kolkverschleiß:

Eine relativ glatte, gleichmäßige Vertiefung wird an der Spanfläche der Wendeschneidplatte erzeugt. Kolkverschleiß kann auf zwei Arten auftreten:

1. Die Ablagerung von Material an der Oberfläche der Wendeschneidplatte wird entfernt, dabei werden winzige Fragmente der Oberfläche der Wendeschneidplatte abgetragen.
2. Durch die Spanabfuhr an der Oberfläche der Wendeschneidplatte wird Reibungswärme erzeugt. Durch den Aufbau der Reibungswärme wird die Wendeschneidplatte hinter der Schneidkante erweicht und dabei werden kleine Partikel der Wendeschneidplatte entfernt und es bildet sich eine Mulde.

Kolkverschleiß tritt beim Fräsen selten auf, kann aber bei der Bearbeitung von bestimmten Stählen und Gusseisenlegierungen vorkommen. Bei einem extrem starken Kolkverschleiß besteht die Gefahr, dass die Schneidkante bricht und dabei die Wendeschneidplatte zerstört wird.

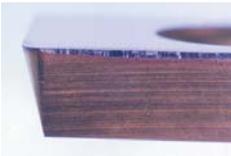
Problem	Ursache	Lösung
Kolkverschleiß 	• Schneidstoff	• Verschleißfestere Schneidstoff-Sorte wählen.
	• Schnittgeschwindigkeit	• Schnittgeschwindigkeit reduzieren.
	• Schneidkantenausführung	• Schmalere Fasen oder höheren Vorschub für den entsprechenden Fasenbereich verwenden.



Freiflächenverschleiß:

Einheitlicher Freiflächenverschleiß ist als Ausfallursache der Wendeschneidplatte weniger problematisch, da er vorhersehbar ist. Übermäßiger Freiflächenverschleiß erhöht die Schnittkräfte und erzeugt eine niedrige Oberflächengüte. Wenn der Verschleiß nach sehr kurzer Zeit auftritt oder nicht vorhersehbar ist, müssen zunächst folgende Faktoren untersucht werden: Schnittgeschwindigkeit, Vorschub, Schneidstoff und Geometrie der Wendeschneidplatte/des Fräasers.

HINWEIS: Wendeschneidplatten sollten beim Schruppen gewendet oder ersetzt werden, wenn ein Freiflächenverschleiß von 0,38–0,50 mm erreicht ist. Beim Schlichten sollten Wendeschneidplatten gewendet oder ersetzt werden, wenn ein Freiflächenverschleiß von maximal 0,25–0,38 mm erreicht ist.

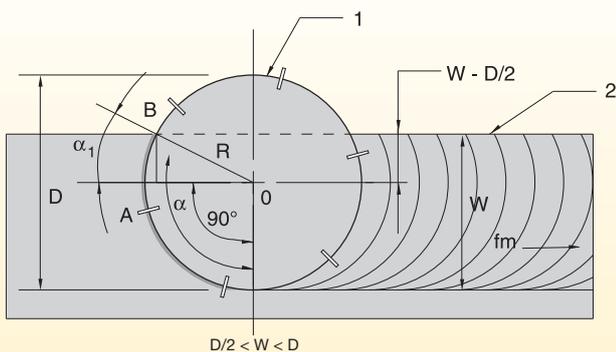
Problem	Ursache	Lösung
Freiflächenverschleiß 	<ul style="list-style-type: none"> • Schnittgeschwindigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> • Diesen Bereich zuerst prüfen. SFM (Vc) neu berechnen, um die Richtigkeit zu gewährleisten. • Geschwindigkeit verringern, ohne Vorschub pro Zahn zu ändern.
	<ul style="list-style-type: none"> • Vorschub 	<ul style="list-style-type: none"> • Vorschub pro Zahn erhöhen (Vorschub sollte hoch genug, um blanke Reibung zu vermeiden, die bei geringer Spanstärke auftritt).
	<ul style="list-style-type: none"> • Schneidstoff 	<ul style="list-style-type: none"> • Verschleißfestere Schneidstoff-Sorte wählen. • Zu beschichteter Sorte wechseln, wenn eine unbeschichtete Sorte verwendet wird.
	<ul style="list-style-type: none"> • Wendeschneidplatten-Geometrie 	<ul style="list-style-type: none"> • Überprüfen, ob die geeignete Ausführung der Wendeschneidplatte im Fräser verwendet wird.

Mehrere Faktoren:

Wenn Verschleiß, Ausbrüche, thermische Risse und Bruch gleichzeitig auftreten, muss der Bediener neben Vorschub, Schnittgeschwindigkeit und Schnitttiefe weitere Faktoren berücksichtigen, um die Ursache des Problems zu finden. Die Parameter für Schnittgeschwindigkeit, Vorschub und Schnitttiefe sind auf Genauigkeit nachzuprüfen. Die Systemstabilität sollte ebenso sorgfältig auf lose oder verschlissene Teile überprüft werden.

Problem	Ursache	Lösung
Mehrere Faktoren 	<ul style="list-style-type: none"> • Systemstabilität 	<ul style="list-style-type: none"> • Prüfen, ob Fräseinspannung locker ist. • Stabilität der Spannvorrichtung und des Fräasers verbessern. • Eventuelle Plattensitzdeformation und inkorrekt installierte Wendeschneidplatte überprüfen. • Auskragung von Fräser und Werkzeugaufnahme/Verlängerung reduzieren.
	<ul style="list-style-type: none"> • Vorschub 	<ul style="list-style-type: none"> • Vorschubrate verringern, um Schnittkräfte zu reduzieren.
	<ul style="list-style-type: none"> • Fräsergeometrie 	<ul style="list-style-type: none"> • Wenn möglich Fräser mit kleinem Einstellwinkel verwenden, um die Schnittkräfte an der Schneidenecke zu reduzieren.
	<ul style="list-style-type: none"> • Wendeschneidplatte/Schneidstoffsorte 	<ul style="list-style-type: none"> • Wenn möglich, größeren Eckenradius verwenden. • Wendeschneidplatte mit Fase verwenden. • Zähere Schneidstoff-Sorte verwenden.

Anhang • Eingriffswinkel und Anzahl Wendeschneidplatten im Schnitt



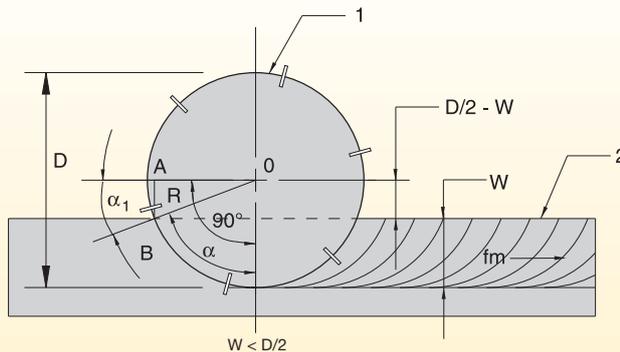
$D/2 < W < D$

$$Z_c = \frac{Z \times \alpha^\circ}{360^\circ} \quad \alpha = 90^\circ + \alpha_1$$

$$\sin \alpha_1 = \frac{AB}{OB} = \frac{W - D/2}{D/2} = \frac{2(W - D/2)}{D} = \frac{2W - D}{D};$$

$$\alpha_1 = \arcsin \frac{2W - D}{D};$$

$$Z_c = \frac{Z \left(90^\circ + \arcsin \frac{2W - D}{D} \right)}{360^\circ}$$



$W < D/2$

$$Z_c = \frac{Z \times \alpha^\circ}{360^\circ} \quad \alpha = 90^\circ - \alpha_1$$

$$\sin \alpha_1 = \frac{AB}{OB} = \frac{D/2 - W}{D/2} = \frac{2(D/2 - W)}{D} = \frac{D - 2W}{D};$$

$$\alpha_1 = \arcsin \frac{D - 2W}{D}$$

$$Z_c = \frac{Z \left(90^\circ - \arcsin \frac{D - 2W}{D} \right)}{360^\circ}$$

D = Fräserdurchmesser

W = Schnittbreite (woc)

alpha = Eingriffswinkel

alpha_1 = Winkel zwischen der Fräsermittellinie und dem Fräserradius zum peripheren Austritts- oder Eintrittspunkt

Z = Anzahl Wendeschneidplatten im Fräser

Z_c = Anzahl Wendeschneidplatten im Schnitt

