Im inversen Prozess schneller zur Schneckenschraube

Mithilfe des **WORM SCREW POWER SKIVING** kann die Herstellung kleiner Schneckenschrauben um das Drei- bis Fünffache beschleunigt werden. Zwar ist das Prinzip seit Jahren bekannt, es ließ sich bisher aber nicht umsetzen, da es besondere Anforderungen an die Kinematik und Genauigkeit der Wälzfräsmaschine stellt.

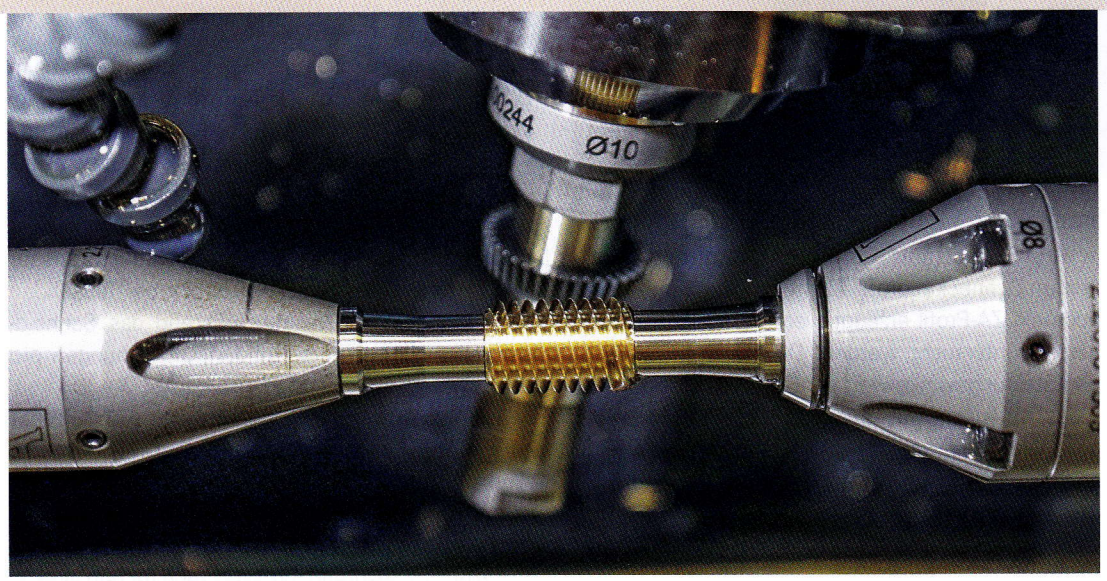

Bild 1. Anordnung des Schneidwerkzeugs zum Wälzschälen

JEAN-LAURENT FEUTREN

Dass für den präzisen und synchronisierten Antrieb des Fräsers und des Werkstücks spielfreie Direktantriebspindeln mit hochauflösenden Drehgebern erforderlich sind, verhinderte bisher die Umsetzung des Wälzschälens von Schneckenschrauben (engl. Worm Screw Power Skiving, WSPS). Um eine Lösung dafür zu finden, arbeitete das Unternehmen Affolter Technologies aus Malleray (Schweiz) mit einem ebenfalls in der Schweiz ansässigen Wälzfräshersteller zusammen, der dem Spezialisten für Mikro-Verzahnung wichtige Informationen lieferte über die Art und Weise, wie man den WSPS-Prozess in eine konventionelle Wälzfräsmaschine einbringt **(Bild 1)**. Im Zuge dessen hat Affolter sein Gear-Line-Modell ›AF110‹ für das neue Verfahren optimiert. Das Resultat ist das Verzahnungscenter ›AF110 plus‹ **(Bild 2)**. Mit WSPS ist nun eine deutlich schnellere Herstellung kleiner Schneckenschrauben mit Durchmessern zwischen 0,3 und 1,5 mm möglich.

Wälzfräsen vs. WSPS

Der WSPS-Prozess ist im Prinzip genau das Gegenteil des klassischen Wälzfräsens. Wird ein Zahnrad gefräst, passt eine Schraube (der Wälzfräser) in die gerade Verzahnung (das Werkstück). Beim WSPS ist es umgekehrt: Die gerade Verzahnung (das Werkzeug) passt zu der Schraube (das Werkstück) **(Bild 3)**. Die Technik stellt man sich am besten wie ein drehendes Rad mit vielen Zähnen als Schneidwerkzeuge vor. Anders als beim Fräsen mit einem Schneidwerkzeug, das sich entlang der Schneckenachse bewegt und die ganze Schnecke profiliert, drehen sich die Zähne und schneiden progressiv in das Material ein. Dabei kann die Oberflächenbeschaffenheit eine sehr hohe Oberflächenqualität erreichen, und es entstehen – wie bei einer drehenden Bohrerspitze – fast keine Grate, sondern lediglich einige spitze Winkel. ▶

> KONTAKT

HERSTELLER
Affolter Technologies SA
CH-2735 Malleray
Tel. +41 32 4917000
Fax +41 32 4917005
www.affoltergroup.ch

Bilder: Affolter Technologies

Bild 2. Verzahnungs-Bearbeitungszentrum ›AF110 plus‹, das speziell für den WSPS-Prozess optimiert ist

WSPS beschränkt sich hauptsächlich auf das Evolventen-Schneckenprofil ZI. In einigen Fällen kann auch ein ZA-Profil erzeugt werden, aber dies muss einzeln untersucht werden. Da das Werkzeug um den Steigungswinkelwert der Schnecke gekippt sein muss, verändert sich der Schneidewinkel zwischen dem Werkstück und der Werkzeugachse immer je nach Modul und Anzahl der Gewinde. Darum ist der Steigungswinkelwert der Schnecke auf etwa 25 Grad beschränkt. Mit einem größeren Winkel besteht das Risiko, dass die Werkzeugleistung sinkt.

Umgekehrter Prozess

Einer der größten Unterschiede zwischen den beiden Techniken ist der Umstand, dass Schneckenfräsen ein Fräsvorgang ist und WSPS einem Drehvorgang ähnelt. Während die Schnittgeschwindigkeit für den Fräsprozess durch den Umfang des Fräsers berechnet wird, lässt sie sich für den WSPS-Prozess durch den Teilkreisdurchmesser der Schnecke ermitteln **(Bild 4)**. Beim klassischen Wälzfräsen wird die Drehgeschwindigkeit des Fräsers durch die Kenntnis der für den Prozess angewandten Schnittgeschwindigkeit ermittelt **(Formel 1)**. Im Vergleich dazu ist beim WSPS der ganze Prozess, also auch die Geschwindigkeit, umgekehrt. Die Drehgeschwindigkeit des Werkstücks wird durch die Kenntnis der auf dem Teilkreisdurchmesser erreichten Schnittgeschwindigkeit berechnet. Durch die hohe Anzahl der Zähne auf dem Werkzeug und den kleinen Teilkreisdurchmesser der Schnecke dreht das Werkstück bei Tausenden Umdrehungen pro Minute, während das Schneidwerkzeug nur mehrere Hundert Umdrehungen pro Minute erreicht **(Formel 2)**.

Für das Schraubenradfräsen muss während der Zuführung ein Winkelausgleich in die Drehachse des Werkstücks gebracht werden. Um die Schraubenlinie des Zahnrads auszugleichen, wird die Drehgeschwindigkeit des Werkstücks beim Fräsen beschleunigt, während das Werkzeug für den WSPS-Prozess verlangsamt wird. Dies gleicht den Schrägungswinkel der Schnecke aus. **Tabelle 1** zeigt das Beispiel einer Schnecke mit geeigneten Dimensionen für das WSPS. Die Schnecke hat ein Modul von 0,6 mm und ein Evolventen-ZI-Profil.

Vergleich der Zyklusdauern

Beim Schneckenfräsen und beim WSPS kann die Zyklusdauer aus der Vorschubgeschwindigkeit für das Werkstück errechnet werden. Die Vorschubgeschwindigkeit des Werkstücks wird in mm pro Werkstückumdrehung ermittelt. Somit ist die Zyklusdauer direkt

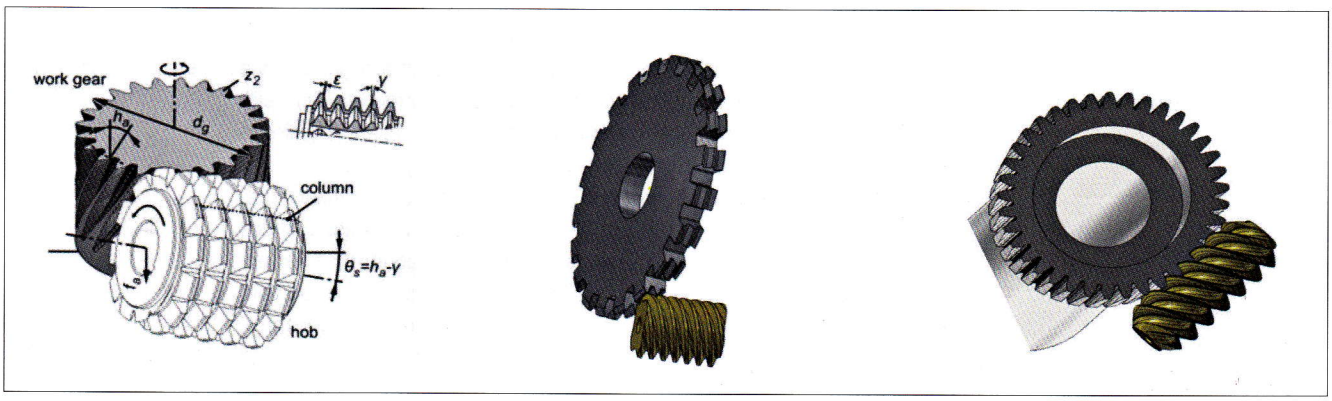

Bild 3. Unterschiedliche Verfahren zur Herstellung von Schneckenschrauben: Wälzfräsen (links), Schneckenfräsen (Mitte) und das Worm Screw Power Skiving (rechts)

Bilder: Affolter Technologies

© MIKROvent, Mainburg

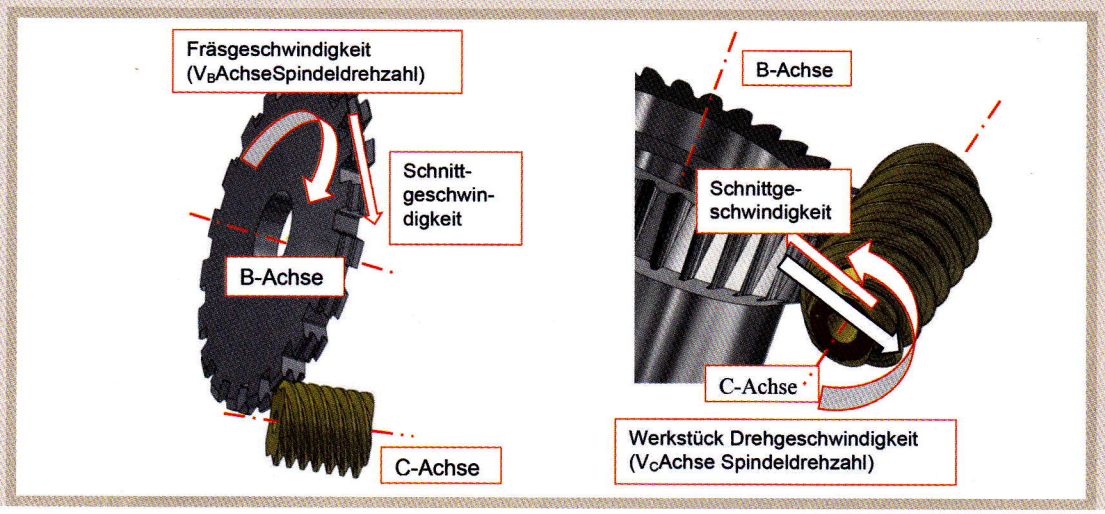

Bild 4. Schnittgeschwindigkeiten beim Schneckenfräsen (links) und beim WSPS

Modul 0.6		
Parametern	Parametern	Wert
Normal modul	mn	0.6
Axial modul	mx	0.6143
Eingriffswinkel	αn	15°00'00"
Gangzahl	z	4
Verschiebung Faktor	xr	-0.967
Steigungswinkel	γ0	12°24'00"
Normalteilkreis	pn	1.885 [mm]
Axiales Gewinde	pz	7.72 [mm]
Kopfkreisdurchmesser	da	12.704 [mm]
Teilkreisdurchmesser	do	11.177 [mm]
Fusskreisdurchmesser	df	9.284 [mm]
Grundkreisdurchmesser	db	6.9894 [mm]
Zahnhöhe	hz	1.710 [mm]

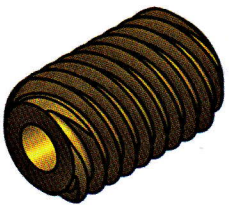

Tabelle 1. Beispiel einer Schnecke mit geeigneten Dimensionen für das WSPS

von der Umdrehungsgeschwindigkeit des Werkstücks abhängig. Je schneller es sich dreht, desto kürzer wird die Zyklusdauer. Um die Zyklusdauern beider Verfahren zu vergleichen, stellen wir uns eine Vorschubgeschwindigkeit von 0,3 mm/Werkstückumdrehung für das Fräsen und von 0,06 mm/Werkstückumdrehung für das WSPS vor. Da die Länge die gleiche ist, kann ein Zyklusdauerfaktor ermittelt werden. Dabei ist zu beachten, dass die Anzahl der Zähne auf dem Werkzeug die Zyklusdauern nicht beeinflusst – im Gegensatz zum klassischen Wälzfräsen, bei dem die Anzahl der Gewinde auf dem Fräser sehr wohl einen Einfluss hat. Der Faktor 0,8 wird durch die verschiedenen Vorgangsweisen des Schneckenfräsens und des WSPS verursacht. Tatsächlich kann das Schneidwerkzeug nicht radial einschneiden. Die Startposition des Werkstückvorschubs muss entsprechend dem Radius des Werkzeugs ausgeglichen werden. Dieser Ausgleich ist für das klassische Schneckenfräsen kleiner.

Die Bearbeitung dieses Werkstücks erfolgt mit dem WSPS-Prozess zweieinhalbmal schneller als mit dem Schneckenfräsen **(Formel 3)**. Somit ist diese Prozedur für die Herstellung von kleinen Schnecken besonders wirtschaftlich. Um zu ermitteln, bis zu welcher Größe WSPS interessant ist und ab welcher Größe das klassische Schneckenfräsen vorteilhafter ist, kann einfach eine umgekehrte Rechnung angestellt werden **(Formel 4)**. Dieses Beispiel ist zwar nur eine Basisrechnung, aber es zeigt, dass WSPS für kleine Schnecken mit einem Teilkreisdurchmesser von weniger als 20 mm sehr interessant sein kann. Weiterer Vorteil: Konventionelle Wälzfräsmaschinen müssen die Werkzeugachse für die Herstellung von Zahnrädern und Schnecken von +30 bis zu –120 Grad ausschwenken können. Für den WSPS-Prozess ist lediglich ein um ±30 oder ±45 Grad ausschwenkender Fräskopf erforderlich. Somit ist das Maschinendesign ebenfalls einfacher aufgebaut. Im Gegensatz zum Fräser gibt es beim WSPS-Schneidwerkzeug keine Schraublinie. Dadurch muss der Fräskopf nur vom Steigungswinkel der Schnecke ausschwenken.

Schneidwerkzeug axial bewegungslos

Was die Maschinenachsenkonfiguration beim WSPS-Prozess anbelangt, so ist das Schneidwerkzeug beim Bearbeiten einer Schnecke axial bewegungslos **(Bild 5)**. C-C'-Spindel und Reitstock bewegen sich auf Z-Z' mit dem Werkstück, wobei Z-Z' die Zuführungsachse ist. Besonders wichtig: Sowohl die Hauptspindel als auch der Reitstock sollten über einen Direktantrieb gesteuert werden, denn jede Gegenbewegung kann Maschinenvibrationen verursachen, die die Oberfläche negativ beeinflussen. Ein weiterer bedeutender Faktor ist die Drehsteifigkeit. Die drei Spindeln müssen perfekt synchronisiert sein und von hochauflösenden Encodern überwacht werden, um die höchste Präzision zu gewährleisten. Wird dieser Prozess für Mikroschnecken mit einem Teilkreisumfang unter 4 mm genutzt, muss die Geschwindigkeit der Werkstückspindeln eine sehr hohe

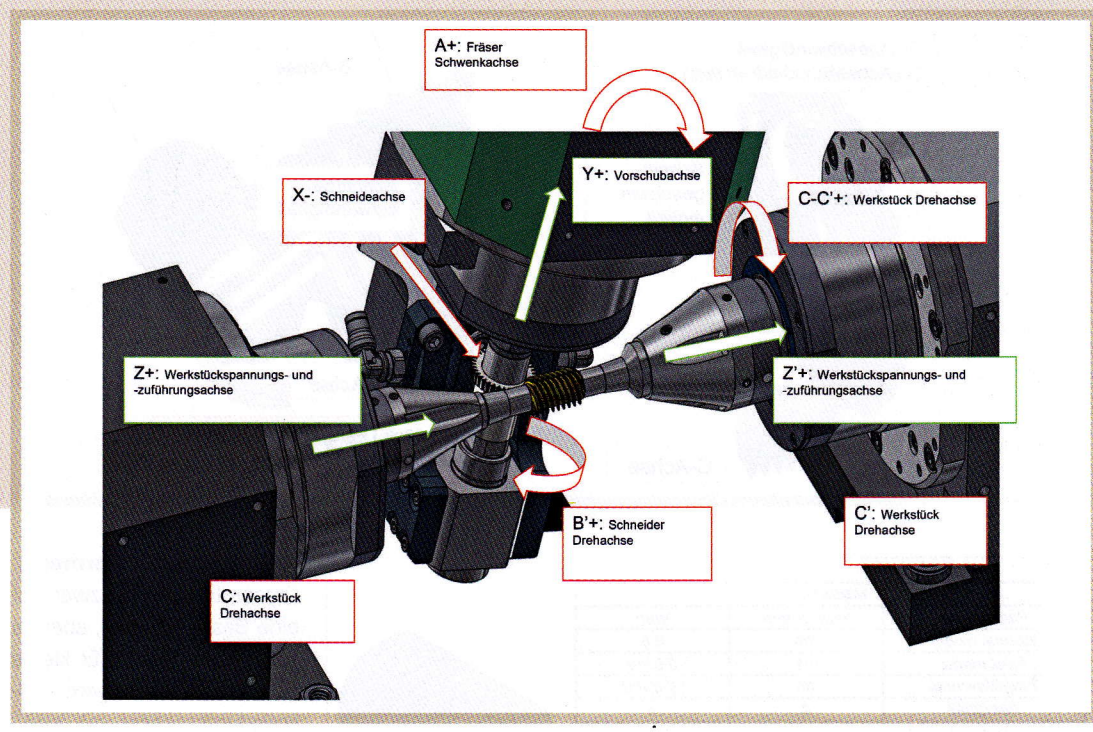

Bild 5. Konfiguration der Maschinenachsen beim WSPS-Prozess

$$V_B = \frac{1000 \cdot C_S}{\pi \cdot D} \text{ [rpm]}$$

D = Äusserer Durchmesser Fräser [mm]

C_S = Schnittgeschwindigkeit [m/min]

Formel 1

$$V_C = \frac{1000 \cdot C_S}{\pi \cdot d_0} \text{ [rpm]}$$

d_0 = Teilkreisdurchmesser Schnecke [mm]

C_S = Schnittgeschwindigkeit [m/min]

Formel 2

$$CTF = \frac{\text{WSPS } [V_C \cdot [\text{Axialer Vorschub}]}{\text{Fräsen } [V_C \cdot [\text{Axialer Vorschub}]} \cdot 0.8$$

$$CTF = \frac{7120 \cdot 0.06}{454 \cdot 0.3} \cdot 0.8 = \underline{2.5}$$

Formel 3

$$CTF = \frac{V_C \cdot 0.06}{416 \cdot 0.3} \cdot 0.8 = 1$$

$$V_C = \frac{454 \cdot 0.3}{0.06 \cdot 0.8} = 2'270 \text{ [rpm]}$$

$$\frac{1000 \cdot C_S}{V_C \cdot \pi} = d_0 = \frac{1000 \cdot 250}{2'270 \cdot \pi} = \varnothing 35 \text{ [mm]}$$

Formel 4

$$V_C = \frac{1000 \cdot C_S}{\pi \cdot d_0} = \frac{1000 \cdot 250}{\pi \cdot 4} = 19'894 \text{ [rpm] !!!}$$

d_0 = Schnecke Teilkreisdurchmesser = 4 [mm]

C_S = Schnittgeschwindigkeit = 250 [m/min]

Formel 5

Drehzahl erreichen – idealerweise bis zu 20 000 min^{-1} für C-C' **(Formel 5)**. Gegebenenfalls muss das Werkstück mit Mitnehmern aufgenommen werden. Ansonsten würden Schwingungen auftreten, sobald ein Werkstück verrutscht, und Präzision und Qualität gehen verloren.

Die Bearbeitung einer rechts- oder linkssteigenden Schnecke wird im konventionellen Wälzfräsen durch das Ausschwenken der Fräskopfachse in A- oder A+ ausgeführt. Bei WSPS ist es im Prinzip genauso, nur die Ausschwenkrichtung ist umgekehrt. Für ein Schraubenrad mit einer linkssteigenden Schraublinie muss die A-Achse in A+ geneigt sein. Beim WSPS-Verfahren ergibt die Neigung der A-Achse in A+ dagegen eine Schnecke mit rechtssteigender Schraublinie.

Fazit: WSPS ist der Zukunftsprozess der Bearbeitung von kleinen Schnecken für kleine und große Fertigungslose. Für das Verfahren wird eine CNC-Maschine der neuesten Generation benötigt, die drei hochsynchronisierte Spindeln, eine hohe Steifigkeit und eine gute Spanabfuhr bietet. Schneckenschrauben, die mittels WSPS-Prozess hergestellt wurden, haben eine höhere Qualität und Oberflächenbeschaffenheit als mittels Schneckenfräser produzierte Schrauben und erfüllen somit höchste Kundenansprüche. ■ MI110464

AUTOR

JEAN-LAURENT FEUTREN ist verantwortlich für Applications & Customer Service bei Affolter Technologies in Malleray (Schweiz); jean-laurent.feutren@affoltergroup.ch

Bilder: Affolter Technologies