

DER ANWENDUNGSBEREICH FÜR TIEFSCHLEIFEN WÄCHST WEITER



EINFÜHRUNG

Viele Anwender betrachten das Schleifen als einen etwas mysteriösen Bearbeitungsvorgang, der jahrelange Erfahrung erfordert. Eine Variante des Verfahrens – das Tiefschleifen, auch Kriechgangschleifen oder Vollschnittschleifen genannt – bietet jedoch sowohl hohe Zerspansleistungen als auch eine ausgezeichnete Oberflächenqualität in einem viel breiteren Anwendungsspektrum als die meisten Anwender glauben.

Bei einer Umsetzung mit der richtigen technischen Ausrüstung und dem richtigen Fachwissen kann das Tiefschleifen oft Arbeitsgänge wie Fräsen und Räumen ersetzen, Prozesse rationalisieren und zur Fertigung qualitativ hochwertigerer Werkstücke eingesetzt werden. Statt Hartfräsen und Entgraten eines Werkstücks mit anschließender Fertigbearbeitung durch Planschleifen können durch Tiefschleifen die gleichen Bearbeitungsergebnisse in einem Arbeitsgang erzielt werden. In einigen Fällen ist Tiefschleifen bis zu 40 Prozent schneller als alternative Bearbeitungsverfahren, und dies bei minimaler Gratbildung.

Selbst bei ähnlich langen Zykluszeiten sind die Einsparungen bei den Nachbearbeitungsschritten und Umspannzeiten erheblich. In Situationen, in denen ein Fertigungsbetrieb ein ungehärtetes Werkstück fräst, es zur Wärmebehandlung schickt und dann zum Fertigschleifen zurückbringt, kann Tiefschleifen zwei Bearbeitungsschritte in der Prozesskette einsparen.

Während bei herkömmlichen Hubschleifverfahren in wiederholten Arbeitshüben mit Vorschubgeschwindigkeiten von ca. 5 m/min nur ein geringer Materialabtrag erfolgt, liegen diese je Tiefschleifhub lediglich in einem Bereich von 0,05–0,5 m/min bei Schnitttiefen von 2,5 mm bis 38 mm oder mehr. Fertigungsbetriebe setzen dieses Bearbeitungsverfahren in der Regel bei gehärteten oder schwer zu bearbeitenden Werkstoffen ein.

Die aggressiven Parameter des Tiefschleifens erfordern eine spezielle technische Ausrüstung und besondere Werkzeuge. Die Wahl der Schleifmaschine, der Schleifscheiben, der Abrichtmethoden und des Kühlschmiermittels bedarf besonderer Überlegungen. Auch bei der Anwendung des Tiefschleifverfahrens sind anfängliche Herausforderungen zu bewältigen.

In einigen Fällen ist Tiefschleifen bis zu

40%
schneller

als alternative Bearbeitungsverfahren, und dies bei minimaler Gratbildung.





WESENTLICHE HERAUSFORDERUNGEN

Fertigungsbetriebe, welche die Anschaffung einer Tiefschleifmaschine erwägen, stehen zwei wesentlichen Herausforderungen gegenüber. Die erste besteht darin, sich das Fachwissen und die Erfahrung anzueignen, die für eine erfolgreiche Umsetzung des Prozesses erforderlich sind. Die zweite Herausforderung besteht in der Rechtfertigung der für die Anschaffung einer Tiefschleifmaschine anfallenden Kosten.

In den meisten Fällen verfügt ein durchschnittlicher Produktionsbetrieb, wenn überhaupt, nur über geringe Kenntnisse in Sachen Tiefschleifen, ein Umstand, der sogar auf einige Erstausrüster und Zulieferbetriebe der zweiten Ebene zutrifft. Für eine von Grund auf neue Prozessimplementierung müssen Fertigungsstätten eine Vielzahl von Variablen spezifizieren und testen, darunter Schleifscheiben, Abrichtmethoden und Werkzeuge, Kühlschmiermittel und Schnitttiefen, Vorschub- und Zustellgeschwindigkeiten und vieles mehr. In diesen Fällen können Schleifmaschinenhersteller wie UNITED GRINDING ihre umfangreiche Erfahrung im Bereich des Tiefschleifens mit ihren Kunden teilen und ihnen neben der entsprechenden technischen Ausrüstung auch umfassende Unterstützung bei der Anwendung bieten.

Anders als beim Fräsen haben viele Betriebe Probleme mit dem Schleifen. Dabei sind Tiefschleifen und Fräsen eigentlich ähnliche Bearbeitungsverfahren – der Hauptunterschied besteht lediglich darin, dass als Werkzeug eine Schleifscheibe und kein Fräser zum Einsatz kommt. Tatsächlich kann man das Tiefschleifen als «Hochleistungsfräsen» bezeichnen, da viele der Probleme, die beim Fräsen Schwierigkeiten bereiten (z. B. lange Zykluszeiten, Gratbildung, Werkzeugverschleiß usw.), beim Tiefschleifen minimiert oder ganz eliminiert werden. Wenn die Mitarbeiter im Betrieb keine Probleme mit dem Fräsen haben, dann kommen sie problemlos auch mit dem Schleifen im Allgemeinen und mit dem Tiefschleifen im Besonderen zurecht.

Kostenmäßig mag eine Flachsleifmaschine relativ günstig sein, jedoch müssen die zusätzliche Steifigkeit und Leistung sowie andere Anforderungen des Tiefschleifens bei den Kosten der Schleifmaschine miteingerechnet werden. Bei der Entscheidung, eine Tiefschleifmaschine anzuschaffen, muss eine Schleiferei die Höhe der Gesamtkosten pro Werkstück in Bezug auf Werkzeugbereitstellung, Spannmittel, Schleifscheiben und Zykluszeiten ermitteln. Schleifereien schaffen sich nur selten Tiefschleifmaschinen in Erwartung potenzieller Aufträge an; stattdessen muss ein Fertigungsbetrieb in der Regel erst eingehend prüfen, welche Vorteile das Bearbeitungsverfahren für die von ihm gefertigten, spezifischen Werkstücke bietet, bevor er in diese produktivitätssteigernde Technologie investiert.

Fertigungsbetriebe, welche die Anschaffung einer Tiefschleifmaschine erwägen, stehen zwei wesentlichen Herausforderungen gegenüber. Die erste besteht darin, sich das Fachwissen und die Erfahrung anzueignen, die für eine erfolgreiche Umsetzung des Prozesses erforderlich sind. Die zweite Herausforderung besteht in der Rechtfertigung der für die Anschaffung einer Tiefschleifmaschine anfallenden Kosten.

DIE TIEFSCHLEIFMASCHINE

Beim Tiefschleifen sind die Maschinensteifigkeit und die Leistung entscheidend. Das Tiefschleifverfahren vergrößert die Schnittkräfte und macht den Einsatz von entsprechend ausgelegten Kugelgewindetrieben für die Schleifmaschine erforderlich. Die Anforderungen an die Steifigkeit umfassen sowohl die Maschinenstruktur als auch die Spannmittel, und solange das Werkstück sicher eingespannt werden kann, kommt eine Vielzahl unterschiedlicher Tiefschleifanwendungen in Frage.

Leistungsmäßig arbeitet eine typische Flachsleifmaschine mit einer Größe von 400 × 800 mm in einem Bereich von 7,5 kW. Tiefschleifmaschinen von UNITED GRINDING beginnen dagegen bei 17 kW und erreichen bis weit über 75 kW. Die Leistungsanforderungen bestimmen sich in der Regel aus der Schleifscheibenbreite, der Schnitttiefe und der Schleifscheibengeometrie; so erfordern beispielsweise breitere Schleifscheiben mehr Leistung. Obwohl bei der Tiefschleifbearbeitung hohe Kräfte auf die Maschine und das Werkstück wirken, kommt es aufgrund der geringen Vorschubgeschwindigkeit und Spannungsdicke erstaunlicherweise nur zu relativ geringen Kräften am einzelnen Schleifkorn.

Die Automatisierung einer Tiefschleifmaschine stellt eine gewisse Herausforderung dar, da durch das hohe Zerspanungsvolumen große Mengen an Spänen anfallen, die berücksichtigt werden müssen, weil zu viel Späne zu Werkstückfehlbelastungen führen kann. Da im automatisierten Betrieb kein Bediener anwesend ist, um die Späne zu entfernen, setzen Maschinenbauer bei der Konstruktion von Tiefschleifmaschinen ein technisch vollständig integriertes pneumatisches Reinigungssystem oder ähnliche Einrichtungen ein, um die Spannmittel sauber zu halten und sicherzustellen, dass Späne entfernt werden, bevor sie zu Betriebsstörungen an der Maschine führen können. UNITED GRINDING zum Beispiel hat eine Fachgruppe für Automatisierungstechnik, die entsprechende Inputs bei der Planung und Konstruktion der technischen Ausrüstung und Spannmittel für unsere Tiefschleifmaschinen liefert.

SCHLEIFSCHEIBENAUSWAHL

Die Auswahl der Schleifscheibe hängt, wie bei jeder Werkzeugentscheidung in der Metallzerspanung, von der spezifischen Anwendung und den gewünschten Stückkosten ab. Zur Auswahl stehen sowohl konventionelle Schleifmittel als auch kubisch kristallines Bornitrid (CBN) in verschiedenen Bindungssystemen. Für das Tiefschleifen einer Schlitzbreite von 2,5 mm ist jedoch möglicherweise eine kunstharzgebundene CBN-Schleifscheibe die beste Wahl. Aufgrund ihrer geringeren Kosten kommen allerdings am häufigsten herkömmliche keramisch gebundene Schleifscheiben mit Aluminiumoxid zum Einsatz.

Galvanisch gebundene oder gesinterte CBN-Schleifscheiben sind bei einigen Tiefschleifanwendungen hochproduktiv, können aber im Vergleich zu herkömmlichen Schleifscheiben die Werkzeugpreise bis zum Faktor 20 erhöhen. Häufig beginnen Betriebe eine Anwendung mit konventionellen Schleifscheiben und wechseln zur CBN-Technologie, wenn entsprechende Erfahrungen im Umgang mit Maschinen und Prozessen vorhanden sind.

Die meisten bei der Tiefschleifbearbeitung verwendeten Schleifscheiben besitzen einen Durchmesser von 300, 400 oder 500 mm und eine Breite zwischen 13 und 200 mm, für einige Anwendungen wie z. B. Zahnstangen für Kfz-Lenkgetriebe werden jedoch auch Schleifscheiben mit einer Breite von bis zu 250 mm benötigt. Die Mehrzahl der speziell für das Tiefschleifen ausgelegten Schleifscheiben verfügt über eine hohe Porosität, um den Kühlschmiermittelfluss und die Späneabfuhr zu unterstützen.

Leistungsmäßig arbeitet eine typische Flachsleifmaschine mit einer Größe von 400 × 800 mm in einem Bereich von 7,5 kW. Tiefschleifmaschinen von UNITED GRINDING beginnen dagegen bei 17 kW und erreichen bis weit über 75 kW.



KÜHLSCHMIERSTOFFZUFUHR

Ein weiterer wichtiger Aspekt beim Tiefschleifen ist der Umgang mit der entstehenden Wärme. Daher sind der Kühlschmiermittelfluss und die optimale Kühlschmierstoffzufuhr an die Schneidzone entscheidende Faktoren für den Prozess Erfolg.

Für ein wirksames Kühlen sollte die Austrittsgeschwindigkeit des Kühlschmierstoffs an der Düse der Schleifscheibenumfangsgeschwindigkeit entsprechen und die beim Abrichten auftretenden Veränderungen des Schleifscheibendurchmessers durch CNC-gesteuerte Kühlschmierstoffdüsen kompensiert werden. Beim Tiefschleifen lassen sich sowohl wassermischbare als auch nichtwassermischbare Kühlschmierstoffe effizient einsetzen; CBN-Schleifscheiben erfordern in der Regel jedoch den Einsatz eines nichtwassermischbaren Kühlschmiermittels sowie höhere Drehzahlen und Umfangsgeschwindigkeiten. Die Verwendung von wassermischbaren Kühlschmiermitteln bei CBN-Schleifscheiben verringert in jedem Fall die Schleifscheibenstandzeit.

Darüber hinaus können Schleifmaschinen zwar mit beiden Kühlschmierstoffarten betrieben werden, jedoch kann ein Wechsel mitten im laufendem Betrieb kompliziert sein. Der Wechsel von einem wassermischbaren zu einem nichtwassermischbaren Kühlschmiermittel erfordert zusätzliche Brandschutzsysteme sowie andere Zusatzmaßnahmen, die das Entflammbarkeitsrisiko von Flüssigkeiten auf Ölbasis reduzieren.

Ein weiterer wichtiger Aspekt beim Tiefschleifen ist der Umgang mit der entstehenden Wärme. Daher sind der Kühlschmiermittelfluss und die optimale Kühlschmierstoffzufuhr an die Schneidzone entscheidende Faktoren für den Prozess Erfolg.

ABRICHTEN DER SCHLEIFSCHEIBE

Die drei gängigsten Abrichtmethoden für Tiefschleifscheiben und zur Herstellung der gewünschten Schleifprofile sind das CNC-Abrichten mit Einkorn-Diamant sowie das Abrichten mit Vollform-Diamantabrichtrollen oder Crushierrollen. Die richtige Abrichtmethode ergibt sich aus der gefertigten Stückzahl, der Schleifscheibenform und der Oberflächengüte des fertig bearbeiteten Werkstücks. Bei geringen Stückzahlen und Anwendungen mit komplizierten Werkstückformen kann das Abrichten beispielsweise mittels CNC-Abrichten erfolgen. Bei den gleichen Werkstückformen und großen Losgrößen erfolgt das Abrichten dann hingegen in der Regel mittels Vollform-Diamantabrichtrollen, und im Falle hoher Stückzahlen und engen Radiusprofilen ist möglicherweise eine Hartmetall- oder Stahl-Crushierrolle erforderlich.

Durch die hohen Materialabtragsraten beim Tiefschleifen kommt es zu einem schnellen Schleifscheibenverschleiß, was die Bestimmung des Abrichtzeitpunkts zu einer weiteren anwendungsabhängigen Entscheidung macht. MÄGERLE und BLOHM Tiefschleifmaschinen von UNITED GRINDING sind optional mit kontinuierlichen Abrichtsystemen erhältlich, damit die Schleifscheibe über den gesamten Bearbeitungsvorgang hindurch ihre Schärfe beibehält.

Einige Schleifscheibenwerkstoffe – insbesondere CBN – sowie einige Bearbeitungsvorgänge erlauben ein intermittierendes Abrichten, wobei die Schleifscheibe in ausgewählten Teilbearbeitungsintervallen oder sogar zwischen Schrump- und Schlichtarbeitsgängen abgerichtet wird, damit die gewünschten Toleranzen eingehalten werden. Beim Abrichten der Schleifscheibe schrumpft ihr Durchmesser, so dass die Scheibendrehzahl erhöht werden muss, um eine konstante Schnittgeschwindigkeit am Umfang beizubehalten.

Wann die Schleifscheibe abgerichtet werden muss, wird durch viele Variablen beeinflusst, darunter der bearbeitete Werkstoff, der Schleifscheibentyp und die Vorschub- und Zustellgeschwindigkeiten, mit denen die Schleifscheibe betrieben wird. Die einzige Möglichkeit, den optimalen Abrichtzeitpunkt zu bestimmen, besteht darin, so lange zu schleifen, bis die Schleifscheibe nicht mehr die gewünschte Form oder Oberfläche erzeugt.

Irgendwann fällt die Schleifscheibe dann aus, und genau dieser Zeitpunkt muss exakt bestimmt werden. UNITED GRINDING verfügt über umfassende Erfahrungen im Bereich der Tiefschleifanwendungen und kann bei der Installation einer schlüsselfertigen Tiefschleifeinrichtung entsprechende Richtwerte für die jeweiligen Abrichtintervalle liefern. Die einzig sichere Möglichkeit, die vollständige Ausnutzung einer Schleifscheibe zu bestimmen, besteht jedoch nur darin, sie zum Ausfall zu bringen und danach in entsprechender Weise die Schleifparameter zu reduzieren, um einen ausreichenden Sicherheitsspielraum für die weitere Produktion zu schaffen.

Durch das laufende Abrichten bleibt die Schärfe der Schleifscheibe erhalten, wodurch sich im Gegensatz zum Räumen eine äußerst konstante Maßhaltigkeit der Werkstücke erzielen lässt. Beim Schneiden der Zähne einer Kfz-Lenkgetriebestange z. B. mit einer Räumnadel kommt es bei jedem Arbeitshub zu einem Verschleiß des Räumwerkzeugs und dadurch zu einer leichten Verringerung der Maßhaltigkeit. Im Anschluss kommt es dann schrittweise zu einer immer größeren Abweichung von den ursprünglichen Toleranzen, bis das Werkzeug ausgetauscht werden muss. Beim Tiefschleifen hingegen sorgen kontinuierliche oder wiederholte Abrichtvorgänge dafür, dass der auftretende Verschleiß vernachlässigbar ist, und gewährleisten so konstante Bearbeitungsergebnisse vom ersten bis zum tausendsten Werkstück.

Beim Tiefschleifen hingegen sorgen kontinuierliche oder wiederholte Abrichtvorgänge dafür, dass der auftretende Verschleiß vernachlässigbar ist, und gewährleisten so konstante Bearbeitungsergebnisse vom ersten bis zum tausendsten Werkstück.

CNC-VORTEILE

Fortschritte in der Geschwindigkeit und Flexibilität der Maschinensteuerungstechnik haben wesentlich zur Erweiterung des Anwendungsspektrums im Bereich des Tiefschleifens beigetragen, insbesondere bei komplexen Werkstücken mit mehreren Funktionsaufgaben. So ist bei einer Turbinenschaufel für die Luft- und Raumfahrt beispielsweise das Schleifen einer tannenbaumförmigen Funktionskontur, einer Keilnut und einer Schaufelspitze erforderlich. Hierzu wird die Turbinenschaufel in der Maschine von Spannvorrichtung zu Spannvorrichtung bewegt, und jeder fertige Bearbeitungsschritt dient als Bezugspunkt für die nächste Schleifoperation.

Zum Schleifen komplexer Werkstücke können mehrere Profile in eine einzige Schleifscheibe eingerollt oder Schleifscheibenpakete mit unterschiedlichen Profilen eingesetzt werden. So könnte ein typisches Schleifscheibenpaket an einem Ende aus einer Planscheibe zum Flachsleifen der Turbinenschaufel, einem gezackten Scheibenprofil in der Mitte zur Herstellung der Tannenbaumkontur und einer entsprechenden Profilscheibe zum Schleifen der Schaufelspitze bestehen. Tiefschleifmaschinen wie die von UNITED GRINDING bieten 5- und 6-Achs-Bearbeitungsmöglichkeiten und erlauben es dem Anwender so, den CNC-Funktionsumfang einer Maschine sowie die Vorteile des Tiefschleifverfahrens voll auszuschöpfen.

FAZIT

Ursprünglich in den 1970er Jahren in der Luft- und Raumfahrtindustrie zum Schleifen von Triebwerkskomponenten aus Superlegierungen eingeführt, ist Tiefschleifen heute für seine Produktivität und die damit erzielte Werkstückqualität bekannt. Die wachsende Zahl an Anwendungsmöglichkeiten für dieses Bearbeitungsverfahren reicht vom Zahnstangenschleifen für Kfz-Lenkgetriebe über das Schleifen von Sägeblättern und Bauteilen von Haarschneidemaschinen bis hin zu Massivwalzen für die Wellpappenherstellung, keramischen Herzklappenkomponenten und winzigen Stiften für den mechanischen Einsatz in Motorsteuerungen. Darüber hinaus lassen sich mit dem Tiefschleifverfahren typische Nachbearbeitungsschritte einsparen und so die Stückkosten und Fertigungszeiten senken – insbesondere, wenn Anwender sich bei der Fertigungstechnik für einen Partner wie UNITED GRINDING entscheiden, der sowohl über die technische Ausrüstung als auch das Fachwissen verfügt, die Fertigungsbetriebe brauchen, um diese Technologie gewinnbringend für ihre Werkstückfertigung einzusetzen.

Darüber hinaus lassen sich mit dem Tiefschleifverfahren typische Nachbearbeitungsschritte einsparen und so die Stückkosten und Fertigungszeiten senken – insbesondere, wenn Anwender sich bei der Fertigungstechnik für einen Partner wie UNITED GRINDING entscheiden, der sowohl über die technische Ausrüstung als auch das Fachwissen verfügt, die Fertigungsbetriebe brauchen, um diese Technologie gewinnbringend für ihre Werkstückfertigung einzusetzen.