

# Schweizer Präzisions- Fertigungstechnik

Sonderdruck  
2/2002

## Quasi-Trockenbearbeitung bringt den Innovationsschub

■ Peter Brauchli  
Unilube AG Minimalschmiertechnik  
CH-8280 Kreuzlingen

*Die Minimalschmiertechnik wird zunehmend als profitabel erkannt – sie vermindert nicht nur die Reibung, sondern schützt auch die Gesundheit der Mitarbeiter und die Umwelt. Der definitionsgemäße Einsatz von MinimalSchmier-Systemen (MSS) vermeidet zudem Rückstände und senkt den Aufwand für Entsorgung und Recycling. Wie Werkzeugmaschinen gezielt für die Integration der Minimalschmiertechnik konzipiert werden können, zeigt die Studie eines eigens entwickelten Fräszentrums*

*mit dem Micro-Innenschmierungssystem TIMJET®. Bei diesem Prototypen wird das Aerosol aus den über ein KoAx-Leitungssystem getrennt zugeführten Medien Luft und Schmierstoff direkt vor dem Eintritt in die Spindel erzeugt und strömungsoptimal bis an die Werkzeugschneide geführt. Der Praxisbetrieb beim anspruchsvollen Tieflochbohren und Nutenfräsen beweist, dass sowohl eine permanente Beschichtung der Schneide sichergestellt ist, das Werkstück rückstandsfrei trocken bleibt als auch das Arbeitsumfeld emissionsfrei bleibt.*



Bild 1. Werksausrüstung: Bearbeitungszentrum mit 2-Düsen MinimalSchmierSystem  
(Bild: Mikron AG, Nidau)

Minimalschmiertechnik ist ein immer häufiger benutztes Schlagwort, über dessen Definition sich viele nicht im Klaren sind. Im Gegensatz zu den herkömmlichen Flutkühl- und Ölnebelvorrichtungen ist diese als rückstandsfreie Verbrauchsschmierung konzipiert, die hoch wirksam Reibung vermindert, kostspielige Gesundheits- und Umweltprobleme

eliminiert und somit auch gesamtwirtschaftlich höchst profitabel ist. Eine klare (Verbrauchs-)Definition findet sich in der Patentschrift »DE 199 172 19 A 1«, die wie folgt lautet: »Ziel der Minimalschmiertechnik ist es, einen permanenten, konstant hauchdünnen Schmierfilm zu erzeugen, welcher einen Schmierstoffverbrauch pro Düse von durch-

schnittlich 1 bis 5 ml pro Stunde aufweist und beispielsweise bei einer Quasi-Trockenbearbeitung Anwendung findet ... Der Schmierstoff wird unter hohem Druck in das Gas mit hoher Strömungsgeschwindigkeit atomisiert, das heißt in feinste Tröpfchenpartikel vorzugsweise in einem Mischverhältnis von 1:100 000 und mehr zerstäubt.«



## 5 l Jahresverbrauch sind Stand der Technik

Vor mehr als 13 Jahren ist Unilube im schweizerischen Kreuzlingen mit dem Ziel gegründet worden, eine neue Micro-Schmierphilosophie zur Marktreife zu entwickeln. Diese sollte – im Gegensatz zu so genannten Sprühnebelgeräten – jegliche Form von Rückständen und den damit verbundenen Aufwand für Entsorgung und Recycling vermeiden. Der technische Vorsprung, den Unilube auf diesem Gebiet inzwischen erlangt hat, basiert auf engagierter Forschung und Entwicklung, speziell in den Bereichen Micro-Dosier- und Strömungstechnik, Tribologie sowie in deren praktischer Umsetzung, gemeinsam mit Werkzeug- und Spindelherstellern. Bei diversen namhaften Werkzeugmaschinenherstellern gehören die fortschrittlichen MinimalSchmierSysteme (MSS) zur OEM-Erstausrüstung (Bild 1), und ein Schmierstoff-Jahresverbrauch unter 5 l ist bei vielen Anwendungen Stand der Technik.

## Vorteile zweier Verfahren nutzbringend vereint

In der heutigen Metallbearbeitung werden grundsätzlich drei Zerspanungsmethoden angewendet: das Fluten mit Kühlschmierstoffen oder Bearbeitungsölen, das komplett trockene Bearbeiten

und das quasi-trockene Bearbeiten mit Minimalschmiertechnik. Anhand des vorhandenen Werkzeugmaschinenparks und der erforderlichen Bearbeitungsoperationen muss für jeden einzelnen Anwendungsfall das jeweils optimale Verfahren ausgewählt werden. Die wirtschaftlich maßgebenden Faktoren sind aus der Energie- und Kostenbilanz als prinzipielle Gegenüberstellung ersichtlich (Bild 2).

Das Fluten praktiziert man vor allem in der Décolletage-Industrie und bei konventionellen Zerspanungsmethoden. Entscheidende Vorteile dieser ›Schwemm- kühlung‹ sind der freie Abfluss der Späne sowie die unmittelbar sichtbare Einwir-

kung. Der Preis dafür sind hohe Reinigungs-, Entsorgungs- und nicht zuletzt auch Unterhaltskosten. Weil Kühlschmierstoffe in der Regel aus 90 bis 97 Prozent Wasser bestehen, ist die effektive Schmierwirkung sehr gering, und die Reibungsverluste, namentlich der Werkzeugverschleiß, sind entsprechend hoch. Wurden bereits früher besonders (grafithaltige) Gusswerkstoffe mehrheitlich trocken bearbeitet, so ermöglichen heute moderne Zerspanungswerkzeuge, Hart-schichten und HSC-Techniken eine Trockenbearbeitung auch von schwer zerspanbaren Werkstoffen. Auf Grund der fehlenden Schmierwirkung entstehen bei der reinen Trockenbearbeitung sehr hohe Reibungsverluste mit dem entsprechenden Werkzeugverschleiß. Deshalb erfordert dieses Verfahren wesentlich steifere Maschinenkonzepte und höhere Antriebsleistungen.

Quasi-Trockenbearbeitung mit Minimalschmiertechnik ist die optimale Synthese der beiden genannten Verfahren. MinimalSchmierSysteme arbeiten mit genau einstellbaren Kolbenpumpen mit konstanten Microfördermengen. Unter hohem Betriebsdruck wird der Schmierstoff durch Zweistoff-Mischdüsen gezielt und nebelfrei auf den Bedarfspunkt – in der Regel ist dies die Kontaktzone eines Werkzeuges – aufgetragen. Das Einstellen der Luft- und der Schmierstoffmenge erfolgt individuell für jede Düse. Die kontinuierliche ›Beschichtung‹ der Werkzeugschneide mit einem microfeinen Schmierfilm reduziert die Reibung und demzufolge die Wärmeentwicklung um ein Mehrfaches. ➤

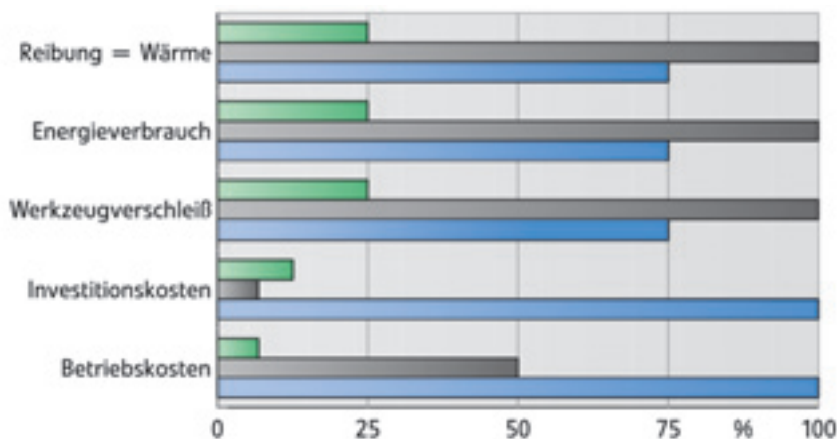


Bild 2. Verfahrensvergleich: Energie- und Kostenbilanz der Quasi-Trockenbearbeitung (grün), der reinen Trockenbearbeitung (grau) und der Überflutungskühlung (blau) (Bild: Unilube AG, Kreuzlingen)



Bild 3. Optimaler Werkzeugwechsel und Schmierfilmauftrag: Düsenhandlingsvorrichtung an einem Bearbeitungszentrum (Bild: Willemin Macodel SA, Bassecourt)



Bild 4. Versuchsaufbau: MinimalSchmierSystem mit Werkzeuginnenschmierung an einer HSC-Spindel für Drehzahlen bis 40 000  $\text{min}^{-1}$  (Bild: Unilube AG, Kreuzlingen)

### Saubere Werkzeugmaschine ist wichtiger Nebeneffekt

Bei der angestrebten Überführung der Schmierstoffpartikel von der flüssigen in die gasförmige Phase wird weitere Prozesswärme abgeführt und wegen der damit verbundenen Volumenvergrößerung – zusammen mit der Entspannung der Mischluft – die Späneabfuhr entscheidend verbessert. Temperaturspitzen und damit einhergehende Schockwirkungen auf die Werkzeugschneide, wie sie bei der Trockenbearbeitung oder beim Fluten auftreten, bleiben bei der MinimalSchmiertechnik aus und führen mit der gleichzeitig stark reduzierten Reibung zu einer wesentlich verlängerten Werkzeugstandzeit.

Die daraus resultierende Möglichkeit, mit höheren Schnittgeschwindigkeiten und Vorschüben zu arbeiten, ermöglicht ein rationelleres Fertigen und Oberflächen mit besserer Qualität. Als wichtigster Zusatzeffekt – neben den eingesparten Werkzeug-, Energie- und Bearbeitungskosten – ist die »saubere Werkzeugmaschine« zu nennen, woraus sich vor allem gegenüber dem Fluten immense Einsparungen im Unterhalt ergeben. Die marginale zusätzliche Investition für ein MinimalSchmierSystem bei einer OEM-Erstausrüstung hat sich innerhalb weniger Wochen amortisiert.

Langjährige, vielfältige Applikationserfahrung bei der Umsetzung der MinimalSchmiertechnik – sowohl in der Kooperation mit OEM-Maschinenherstellern wie auch mit Endanwendern – eröffnen stetig neue Einsatzgebiete. Um einen präzisen, auf den wirklichen Bedarfspunkt begrenzten Microschmierfilmauftrag zu erreichen, sind die Installation und die punktuelle Ausrichtung der koaxialen Düsen von entscheidender Bedeutung. Beispielsweise werden auf einer Sägeanlage je nach Werkzeugabmessung und geforderter Zerspanungsleistung bis zu drei starre Edelstahldüsen fix auf die Zahnflanken ausgerichtet und mittels einachsiger Verstellmechanismus den erforderlichen Abstandsänderungen angepasst. Im Gegensatz dazu setzt man bei Bearbeitungszentren eher flexible Düsenarme ein, die insbesondere bei der Hochgeschwindigkeitsbearbeitung mit ähnlichen (kleinen) Werkzeugdurchmessern auf einen durchschnittlichen Abstand zur Schneide eingestellt werden. Bei größeren Abweichungen, vor allem der Werkzeuglänge, ist eine Nachjustierung erforderlich, die beim gleichzeitigen Einsatz eines Werkzeugwechslers mit einer automatisierten Düsenhandlungsvorrichtung vorgenommen wird (Bild 3).

Beim Einsatz der MinimalSchmiertechnik gemäß Definition fallen die Späne quasi-

trocken an und sind somit leicht auffangbar und wiederverwertbar. Bei großem Späneanfall, wie er im Leicht- und Flugzeugbau üblich ist, empfiehlt sich die Installation eines in den Zerspanungsprozess integrierten Späneabsaugsystems. Moderne, auf die Quasi-Trockenbearbeitung ausgelegte Maschinenkonzepte ermöglichen einen freien (gravimetrischen) Fall der Späne von der Zerspanungsstelle zum Auffangbehälter, wie er zum Beispiel mit Schrägbettmaschinen oder mit vertikaler Werkstückaufspannung realisierbar ist.

### Werkzeug muss besondere Anforderungen erfüllen

Um einen optimalen Verschleißschutz im Sinne der MinimalSchmiertechnik sicherzustellen, muss der Microschmierfilm unbedingt unmittelbar am Zerspanungs-ort aufgetragen werden. Das ist beispielsweise beim (Tiefloch-)Bohren oder Fräsen von Kavitäten mit einer lateralen, das heißt einer externen Zuführung kaum optimal zu bewerkstelligen. Des-

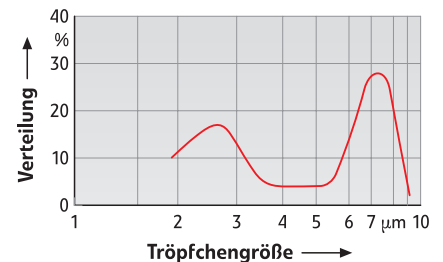


Bild 5. Aerosolbildung: Schmierstoff-Partikelgröße am Düsenaustritt eines MinimalSchmierSystems (Messung: Technische Universität Stuttgart)

halb wird von Seiten der MinimalSchmiertechnik die Anforderung gestellt, den Schmierfilm intern durch das Werkzeug direkt auf die Schneidkante aufzutragen (Tool Integrated Microlubrication).

Die TIM-Technologie stellt – besonders bei rotierenden Werkzeugen – sehr hohe strömungstechnische und geometrische Anforderungen an die Konstruktion der kompletten Kanalführung, und das von der MSS-Schnittstelle bis zur Werkzeugschneide. Physikalisch gesehen lässt sich Öl nicht in Luft lösen. Das bedeutet, dass die Luft nur als reines Träger- oder Transportmittel zu betrachten ist. Die technische Herausforderung besteht darin, ein homogenes, microfeines Aerosolgemisch zu erzeugen, das ohne Entmischung in möglichst geradlinig ➤

verlaufenden Kanälen zur Bedarfsstelle geleitet wird. Querschnittsveränderungen, Hohlräume oder gar Taschen wirken wie Blenden, die das Ausscheiden einzelner Schmierstoffteilchen verursachen und leicht zur Tröpfchenbildung führen können.

Bekanntlich sind bei Motorspindeln, besonders bei solchen mit integrierter Drehdurchführung, der Bauraum und somit die konstruktiven Möglichkeiten derart eingeschränkt, dass sich grundsätzlich ein 1-Kanal-System (Mono) mit axialer Zuführung und konzentrischer Durchführung empfiehlt. Eine solche Art von Monodurchführung über die unterschiedlichsten Schnittstellen der Spindel bis zum Werkzeug ermöglicht eine strömungstechnisch wesentlich bessere Ausgestaltung, als sie bei einem Mehrkanalsystem möglich wäre. Allgemein müssen sehr hohe Anforderungen in Bezug auf unveränderte Kanalquerschnitte und nahtlose Übergänge bei den diversen Schnittstellen gestellt werden. Oberflächen sind derart zu gestalten, dass die Reibung zwischen Kanalwandung und Schmierstoffmolekülen niedrig gehalten wird. Bei Werkzeugen soll zudem der Austritt zur Schneide praktisch die Funktion einer Düse erfüllen.

### Fräszentrum mit integrierter Minimalschmiertechnik

Aus den genannten Gründen hat Unilube das zum Patent angemeldete Injektor- und Homogenisiersystem TIMJET® entwickelt, das unmittelbar vor der Schnittstelle – das heißt bei der im vorigen Abschnitt beschriebenen Anwendung vor der Drehdurchführung – eingebaut wird. Je nach Leistungsbedarf werden mit ein oder zwei koaxialen Zuführleitungen die beiden Medien Öl und Luft getrennt und unter hohem Betriebsdruck dem System zugeführt (Bild 4). Mit Hilfe einer ausgeklügelten Düsentechnik wird der Schmierstoff in einem Verhältnis bis 1 : 500 000 mit Luft in microfeine Partikel zerlegt und zu feinstem Aerosol vermischt. Die integrierte Misch- und Beruhigungsstrecke führt zu einem homogenen Gemisch, das gemäß Messungen an der Technischen Universität Stuttgart durchschnittliche Partikelgrößen von weniger als 10 µm aufweist (Bild 5).

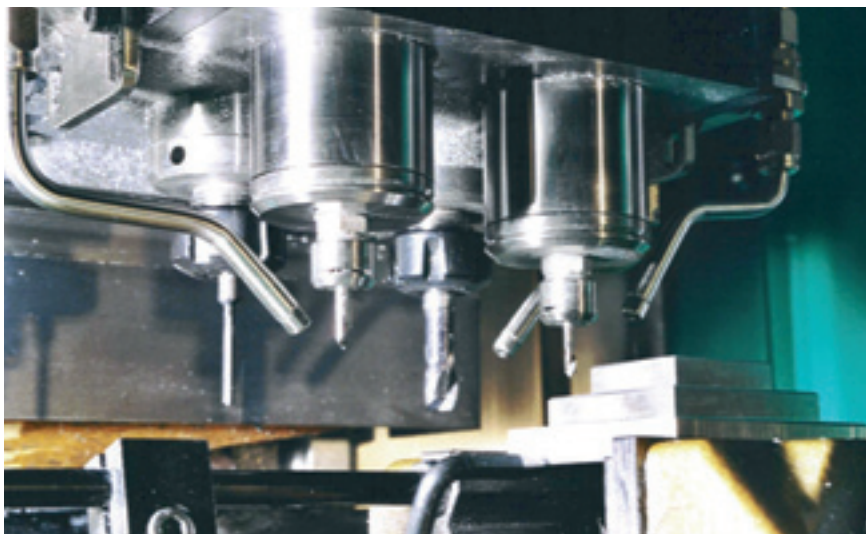


Bild 6. Integriert: F+E-Fräszentrum mit Micro-Innenschmierung (zwei Werkzeugspindeln hinten) und drei lateralen Düsen (zwei HSC-Motorspindeln vorne) für eine optimierte Quasi-Trockenbearbeitung (Bild: Witech SA, Bassecourt)

Außer der konstruktiven Lösung trägt auch die Wahl der chemischen Struktur des Schmierstoffes wesentlich zu einem idealen Strömungsverhalten bei. Die erforderlichen Fördermengen können sehr fein und für beide Medien individuell dem effektiven Bedarf entsprechend dosiert und somit den unterschiedlichen Werkzeugen und Zerspanungsleistungen angepasst werden. Die Einstellungen erfolgen entweder manuell direkt am MinimalSchmierSystem oder können über M-Funktion programmiert werden.

Damit sich die gewünschte Leistungsbilanz der Quasi-Trockenbearbeitung einstellt, müssen die schon beschriebenen technischen Voraussetzungen für die Minimalschmiertechnik geschaffen werden. Ab Werk mit (KSS-)Innenkühlung ausgerüstete Werkzeugmaschinen haben in der Regel groß dimensionierte, verwinkelte Bohrungen für die (Hochdruck-)Hydraulik und sind somit – entgegen anders lautenden Aussagen – für den Einsatz der Minimalschmiertechnik nicht geeignet.

Im Rahmen eines von Forschungsmitteln unabhängig durchgeführten F+E-Projektes hat Unilube in Zusammenarbeit mit einem Werkzeugmaschinenkonstrukteur ein Fräszentrum mit integrierter Minimalschmiertechnik entwickelt und auf der EMO 2001 in Hannover mit sehr eindrucksvollen Zerspanungsleistungen quasi-trocken vorgeführt.

Die 3-Achsen-Werkzeugmaschine hat zwei HSC-Motorspindeln mit lateralen Düsen und zwei schnell laufende Werkzeugspindeln mit integrierter Micro-Innenschmierung, die das Aerosol aus der KoAx-Mischstelle via aufgesetzter Drehdurchführung strömungsoptimal bis an das Werkzeug führen (Bild 6). Das gewählte Verfahren TIMJET® stellt speziell beim Nutenfräsen und Tieflochbohren eine ununterbrochene Beschichtung der Schneide mit microfeinem Schmierfilm sicher und verhindert – beispielsweise bei der Aluminiumbearbeitung – die Bildung von Aufbauschneiden und Verschleißspuren. Der erhöhte MSS-Betriebsdruck von 15 bar ermöglicht eine besonders feine Atomisierung des Öl-Luft-Gemisches, eine gesteigerte Durchflussrate und somit einen gesicherten Späneabfluss, sogar aus sehr tiefen Bohrungen. Auf Grund der Reibungsminderung kann die Antriebsleistung niedriger als üblich ausgelegt und höchste Wirtschaftlichkeit erzielt werden. Der Schmierstoffverbrauch von 2 ml pro Stunde hinterlässt keine Rückstände und unterstreicht die Richtigkeit der Quasi-Trockenbearbeitung.

#### HERSTELLER

Unilube AG Minimalschmiertechnik  
Konstanzerstrasse 6  
CH-8280 Kreuzlingen  
Tel. +41/71 672 65 22  
Fax +41/71 672 65 32  
e-mail unilube@bluewin.ch