

---

## Erfolgreiche Serienproduktion mit Minimalmengenschmierung

### 03 | Minimalmengenschmierung



---

Prof. Dr.-Ing. Eckehard Kalhöfer | Dipl.-Ing. Christian Schmidt

Die Minimalmengenschmierung (MMS) ist eine ausgereifte Alternative zur konventionellen Kühlschmierung, insbesondere in der Serienproduktion. Sie senkt Produktionskosten, Investitionskosten und Flächenbedarf und schont die Umwelt. Es werden andere (und sehr viel geringere Mengen von) Schmiermedien und andere Systeme für die Zuführung dieser Medien verwendet.

Auch an Werkzeugmaschinen, Werkzeuge und Werkzeughalter werden für die Minimalmengenschmierung teilweise andere Anforderungen gestellt im Vergleich zur Nassbearbeitung. In diesem Beitrag wird das Gesamtsystem Minimalmengenschmierung dargestellt, wie es vor allem in der Serienproduktion erfolgreich angewendet werden kann.

**Motivation Motivation**

Die Minimalmengenschmierung kann einen erheblichen Beitrag zur Kostenreduktion in der mechanischen Fertigung leisten. Typisch für die Großserienfertigung der Automobilindustrie sind Kosten für die konventionelle Kühlschmierung zwischen 8 % und 16 % (1). Neben der Reduzierung dieser Aufwendungen sind weitere Gründe für die Einführung der MMS die steigende Anzahl der Umweltvorschriften und eine geringere Gesundheitsbeeinträchtigung der Mitarbeiter.

Minimalmengenschmierung kann jedoch in manchen Fällen auch zu einer direkten Qualitätsverbesserung der Werkstücke führen. Insbesondere bei der Feinbearbeitung von Aluminiumlegierungen und Messing ergibt sich bei der Bearbeitung mit MMS eine bessere Oberflächengüte im Vergleich zur Bearbeitung mit konventioneller Kühlschmierung mit Emulsion. Gründe dafür sind die bessere Schmierwirkung der MMS-Medien und die Abwesenheit kleiner Partikel, die vom konventionellen Kühlschmiersystem nicht ausgefiltert werden.

Aus den gleichen Gründen (Schmierwirkung und höhere Reinheit des Mediums) ergeben sich teilweise bei Anwendung der MMS auch bessere Werkzeugstandzeiten im Vergleich zur KSS-Bearbeitung. Auch

tritt bei der MMS-Bearbeitung kein Thermoschock im unterbrochenen Schnitt auf, der bei der Bearbeitung mit Kühlschmierstoff zu einer Schädigung der Werkzeugschneide und zu vorzeitigem Verschleiß führen kann.

Die möglichen Einsparungen durch MMS resultieren aus geringeren Investitionskosten im Vergleich zu KSS-Systemen (insbesondere wenn große KSS-Zentralanlagen eingespart werden können), einem verringerten Medienverbrauch, weniger Wartungsaufwand und aus deutlich geringeren Energiekosten für die Kühlschmiertechnik. So konnten bei der Bearbeitung von Getriebegehäuseteilen aus einer Aluminiumguss-Legierung etwa 20% bis 25% Energiekosten in der Fertigung eingespart werden (2). Die monatlichen Kosten pro BAZ für das Kühlschmiermedium wurden dabei von 333 € bei der KSS-Bearbeitung auf 20 € bei der MMS-Bearbeitung reduziert.

**INDEX**

Motivation	2
Medien + Zufuhrsysteme	3
Maschinendesign	5
Spanntechnik	6
Werkzeuggestaltung	7
Prozessfolge	8
Schnittparameter + Standmengen	8
Mitarbeiterschulung	8
Anforderungen an das Umfeld	9
Zusammenfassung	10
Literatur	11

## 03 | Minimalmengenschmierung

Medien und  
Zufuhrsys-  
teme

### Medien und Zufuhrsysteme für die Minimalmengenschmierung

Mit MMS-Medium wird das Öl-Luftgemisch bezeichnet, das der Wirkstelle zugeführt wird (3). Im Gegensatz zur konventionellen Kühlschmierung, bei der das Medium eine Schmier- und eine Kühlwirkung hat, ist die Kühlwirkung (Wärmeabfuhr) bei der MMS vernachlässigbar klein. Die verwendeten Öle sollten eine gute Schmierwirkung haben, um durch die Verringerung der Reibung Wärmeentstehung und Temperaturen zu begrenzen. Weiterhin sollten sie eine hohe thermische Belastbarkeit aufweisen, also eine hohe Verdampfungstemperatur und einen hohen Flammpunkt.

In der Praxis werden insbesondere Fettalkohole und synthetische Ester als MMS-Öl verwendet. Synthetische Ester haben eine besonders hohe Schmierwirkung, so dass sie abrasiven Verschleiß wirkungsvoller verringern als Fettalkohole. Fettalkohole werden verwendet, wenn die Trennwirkung zur Vermeidung von Aufbauschneiden im Vordergrund steht. Beide werden in die Wassergefährdungskategorie 1 oder als nichtwassergefährdend eingestuft, so dass die zu erfüllenden Umweltauflagen bei diesen Ölen geringer sind, als bei den üblichen wassergemischten Kühlschmierstoffen. Die verwendeten Öle haben in der Regel eine Viskosität zwischen 20 und 50 mm<sup>2</sup>/s bei 40°C.

Die benötigten Ölmenge für die MMS sind vom zu bearbeitenden Werkstoff und vom Bearbeitungsverfahren abhängig. Bild 1 zeigt am Beispiel einer Zylinderkopfbearbeitung den Ölbedarf verschiedener Zerspanverfahren für Aluminium-Gusslegierungen. Die pro Stunde verbrauchten Ölmenge sind in der Regel unter 50 ml. In Ausnahmefällen kann komplett trocken bearbeitet werden. Dagegen ist der Ölbedarf für die Fertigbearbeitung der Nockenwelle und das Reiben der Injektorbohrung relativ hoch, weil hier Führungsleisten der Werkzeuge im Werkstück geführt und dafür gut geschmiert werden müssen. Für die Bearbeitung von Grauguss und Stahl ist der Ölbedarf meist geringer als bei Aluminium-Gusslegierungen (Bild 2 und 3).

Der Druckluftverbrauch ist in erster Linie abhängig vom Strömungswiderstand (vor allem vom kleinsten Querschnitt der Zufuhrkanäle) und dem Druck. Zweikanal-Systeme werden typischerweise mit 5

bis 6 bar betrieben. Bei Einkanal-Systemen wird der Luftdruck häufig, insbesondere bei Werkzeugen mit kleinen Kühlkanälen, durch einen Druckbooster auf 10 bar erhöht.

Bild 1  
Zylinderkopf, Werkstoff AISi7

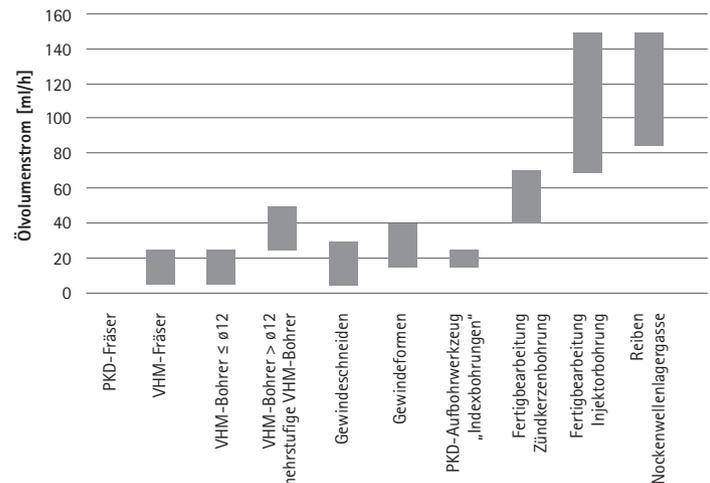
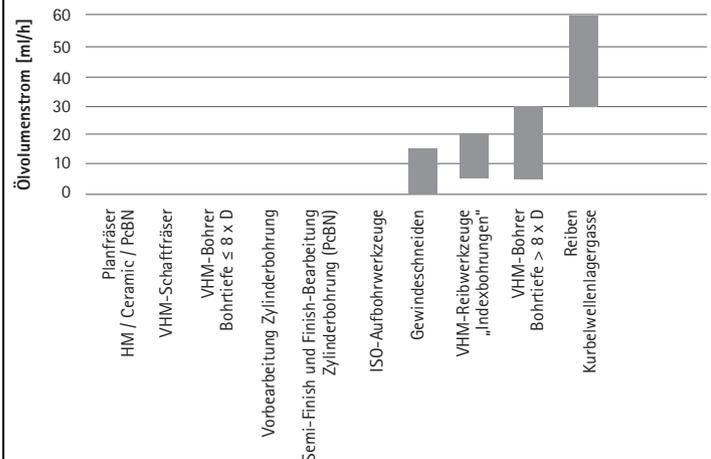
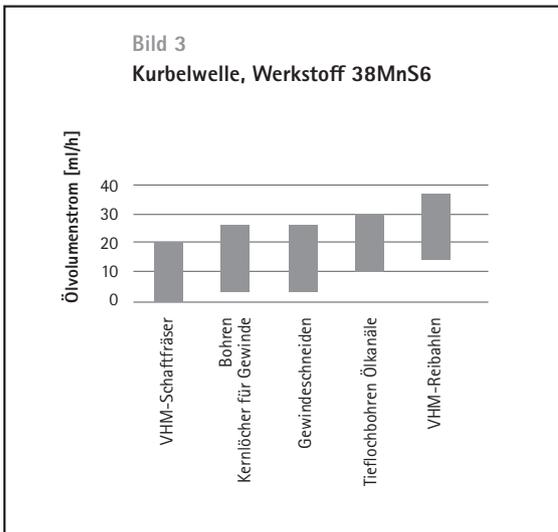


Bild 2  
Kurbelgehäuse, Werkstoff GG30





An die MMS-Systeme werden vielfältige Anforderungen gestellt. Der Ölvolumenstrom sollte prozessabhängig einstellbar sein von 5 bis 200 ml/h. Auch kleine Ölmenge müssen konstant und gleichmäßig transportiert werden und nach einer kurzen Reaktionszeit (0,1 s) nach dem Werkzeugwechsel beziehungsweise nach Einschalt- / Umschaltvorgängen in Transfereinheiten am Werkzeugaustritt verfügbar sein. Die zugeführte Ölmenge soll dabei möglichst wenig von der Betriebsdauer und der Temperatur abhängen. Das MMS-System sollte einen Luftvolumenstrom von bis zu 1.000 Normlitern pro Minute ermöglichen. Im MMS-System sollten möglichst geringe Druckverluste bis zur Werkzeugschnittstelle auftreten und es muss gegen die verwendeten Fettkohole und Esteröle langzeitbeständig sein.

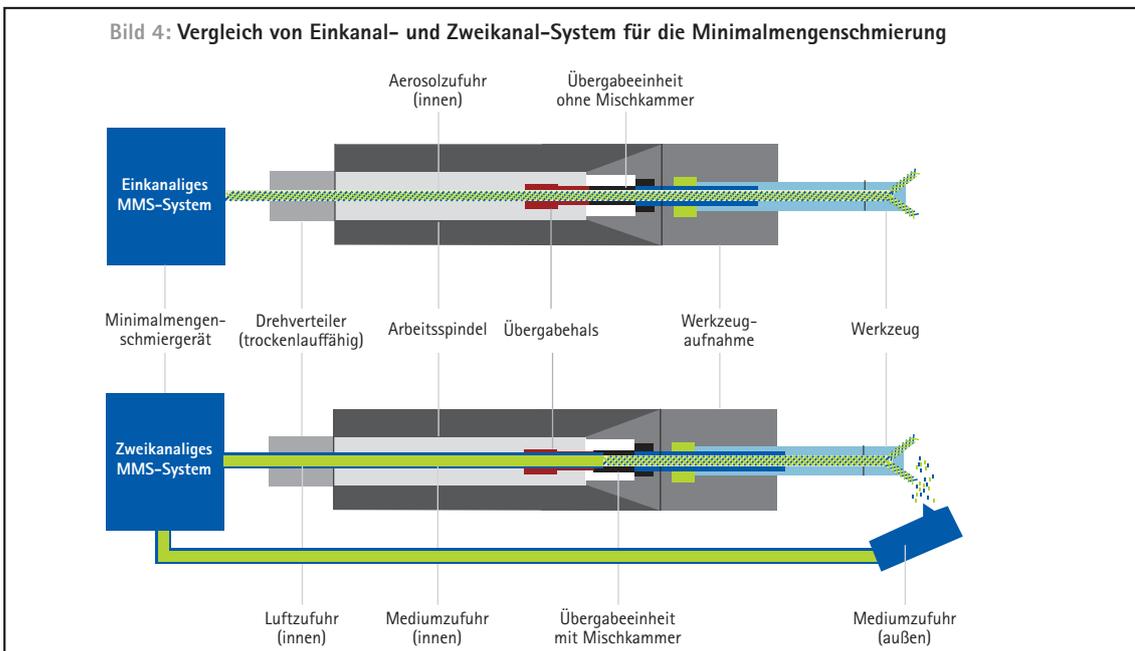
Grundsätzlich kommen unterschiedliche Systeme für die Mischung des MMS-Mediums aus Öl und Luft und die Zuführung an die Zerspanstelle zur Anwendung.

Sie können eingeteilt werden in

- MMS-Systeme mit externer Zuführung,
- MMS-Systeme mit interner Zuführung durch die Spindel und Gemischbildung außerhalb der Spindel (Einkanalsystem, Bild 4, oben) und
- MMS-Systeme mit interner Zuführung durch die Spindel und Gemischbildung innerhalb der Spindel bzw. im Werkzeughalter (Zweikanalsystem, Bild 4, unten).

Zusätzlich muss das MMS-System anschließbar sein an CNC- und SPS-Steuerungen. In manchen Fällen wird eine Mehrspindelversorgung durch ein MMS-System und das automatische Nachfüllen der Vorratsbehälter gefordert. Teilweise wird auch die Möglichkeit gefordert, die Ölmenge auf null zu reduzieren, so dass mit reiner Druckluft bearbeitet wird. Dies setzt eine trockenlauffähige Drehdurchführung voraus.

MMS-Systeme mit externer Zuführung haben den Vorteil, dass sie mit wenig Aufwand und geringen Kosten nachgerüstet werden können und dass keine speziellen Werkzeuge nötig sind. Die Einstellmög-



## 03 | Minimalmengenschmierung

lichkeiten auf unterschiedliche Werkzeugdurchmesser und -längen sind jedoch gering oder gar nicht vorhanden. Der größte Teil des MMS-Mediums wird in der Regel die Zerspanstelle nicht treffen. Daher werden diese Systeme in der Serienfertigung kaum verwendet.

Vielfach verwendet werden Einkanal- und Zweikanal-Systeme. Sie haben jeweils spezifische Vor- und Nachteile, die abhängig von der konkreten Anwendung mehr oder weniger zum Tragen kommen. Einkanal-Systeme sind kostengünstiger und einfacher in die Maschine zu integrieren. Hier werden Luft und Öl außerhalb der Hauptspindel zu einem Aerosol vermischt. Dieses Aerosol wird bis in das Werkzeug transportiert. Die Förderung des MMS-Mediums durch verwinkelte Kanäle und die Versorgung von mehreren Spindeln mit einem MMS-System (in Bohrköpfen) ist leichter realisierbar als mit Zweikanal-Systemen. Die Größe der Öltröpfchen ist bei Einkanal-Systemen etwa 1 bis 2 µm. Die zugeführte Ölmenge ist jedoch von der Drehzahl abhängig und nicht unabhängig vom Luftvolumenstrom einstellbar. Daher ist eine genaue, werkzeugspezifische Dosierung der Ölmenge schwierig. Auch die Viskosität und damit die Temperatur des Öls beeinflusst bei ansonsten gleichen Einstellparametern die Ölmenge. Temperaturschwankungen in der Produktionshalle beeinflussen damit direkt die Zusammensetzung des MMS-Mediums.

Bei Zweikanal-Systemen werden Luft und Öl in zwei unterschiedlichen Kanälen bis zur Spindelnahe transportiert und erst an der Spindelnahe beziehungsweise im Werkzeughalter gemischt. Diese zwei Kanäle verursachen den höheren Montageaufwand und die Schwierigkeit der Förderung durch verwinkelte Kanäle und der Versorgung von mehreren Spindeln mit einem MMS-System. Andererseits ist hier eine genauere und unabhängige Dosierung der Ölmenge möglich. Dadurch kann für jedes Werkzeug die optimale Einstellung der Ölmenge realisiert werden. Die zugeführte Ölmenge ist kaum abhängig von äußeren Randbedingungen wie der Temperatur des Öls.

das Kühlschmiermittel aus der Maschine gebracht werden. Der größte Teil der Wärme ist in den Spänen gespeichert, die möglichst schnell aus der Maschine transportiert werden sollten. Es ist darauf zu achten, dass keine Späneansammlungen in der Maschine entstehen. Dafür sollte die Arbeitraumverkleidung möglichst glatt sein (zum Beispiel aus unlackiertem Edelstahl) und aus steilen, schrägen und senkrechten Wänden bestehen. Waagerechte Flächen, auch Rohrleitungen, an denen es zu Späneansammlungen kommt, sollten vermieden werden. Ansonsten vergrößern sich thermische Verformungen der Maschine und Maßfehler. Eine A-Achse ist günstig, um gegebenenfalls auf der Spannvorrichtung liegende Späne nach der Bearbeitung abzukippen oder auch die komplette Bearbeitung überkopf durchzuführen.

Durch Verkleidungen können die genauigkeitsbestimmenden Teile der Werkzeugmaschine thermisch vom Bearbeitungsraum entkoppelt werden. Der Arbeitsraum sollte wirkungsvoll abgedichtet werden, um Antriebs- und Führungselemente und das Werkzeugmagazin vor Metallstäuben zu schützen.

Die Späne können durch einen Kratzförderer im Boden der Maschine oder auch durch eine Späneabsaugung aus der Maschine transportiert werden. Für den Transport der Späne von der Maschine zu zentralen Spänesammelstellen gibt es spezielle Absauganlagen mit Späneseparierung, an die eine größere Anzahl von Maschinen angeschlossen werden kann, von denen in Intervallen nacheinander die Späne abgesaugt werden.

In jedem Fall muss eine Absaugung mit geeignetem Filter vorhanden sein, die Metallstäube, MMS-Medium und Öldampf aus dem Arbeitsraum absaugt. Dadurch wird der Reinigungsaufwand der Maschine reduziert, die Brandgefahr durch entzündliche Aerosole vermindert und sichergestellt, dass die vorgeschriebenen Arbeitsplatzgrenzwerte eingehalten werden.

Typischerweise gibt es Anhaftungen von Metallstaub und Spänen an den Innenwänden des Bearbeitungsraums, so dass ein angepasstes Reinigungskonzept unerlässlich ist. Teilweise ist es ausreichend, die Maschinen mit einem Lappen oder Besen am Ende der Schicht zu reinigen. In anderen Fällen wird mit Niederdruckgeräten mit Wasserverbräuchen zwischen 1 und 2 Litern pro Minute gereinigt. Hier wird reines, warmes Wasser oder auch Wasser mit

### MMS-gerechtes Maschinen-design

#### MMS-gerechtes Maschinendesign

Für die MMS-gerechte Werkzeugmaschine sind einige Anforderungen zu beachten (4). Die beim Zerspanprozess entstehende Wärme kann nicht durch

## 03 | Minimalmengenschmierung

Reinigungsemulsion verwendet.

In vielen Fällen ist von Zeit zu Zeit eine intensive Maschinenreinigung mit Trockeneis nötig. Bei großem Schmutzanfall muss etwa alle zwei Wochen mit Trockeneis gereinigt werden. Teilweise wird aber auch nur einmal pro Jahr mit Trockeneis gereinigt.

Entscheidend für den Reinigungsaufwand ist die Ölmenge, mit der bearbeitet wird. Durch konsequente Prozessoptimierung und Minimierung der benötigten Ölmenge kann der Verschmutzungsgrad des Bearbeitungsraums entscheidend beeinflusst werden. So konnte zum Beispiel die Ölmenge bei der Großserien-Komplettbearbeitung von Zylinderköpfen auf etwa 7 ml pro Werkstück reduziert werden. Bei der Komplettbearbeitung von Getriebegehäusen werden teilweise Ölmenngen von 1,5 ml und 0,3 Nm<sup>3</sup> Luft pro Werkstück erreicht bei einer Hauptzeit von 3,3 Minuten (5). Dabei wird zum Beispiel bei Eilgangbewegungen die Ölzufuhr ausgeschaltet, um nicht unnötig Öl zu verbrauchen. Auch der zu bearbeitende Werkstoff beeinflusst den Reinigungsaufwand. Insbesondere bei Graugussbearbeitung wird die Maschine stärker verschmutzt.

Systeme zur Temperaturkompensation erleichtern die

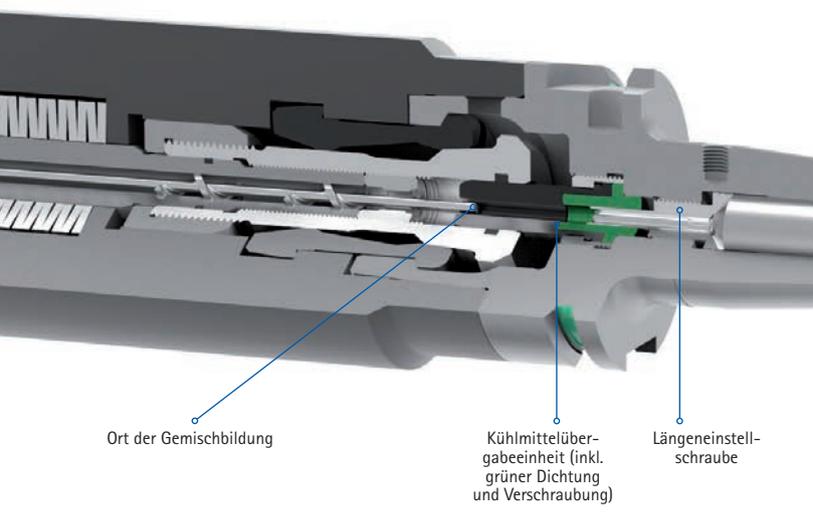
sensoren zur Kompensation thermisch bedingter Maschinenverformungen ist möglich. Oft ist auch keine Temperaturkompensation nötig, wenn die Positionstoleranzen nicht zu hoch sind und die Rohteile vor der Bearbeitung auf Hallentemperatur gebracht werden. Auch eine angepasste Prozessfolge kann thermisch bedingte Positionsabweichungen am Werkstück erheblich verringern (siehe unten).

### Spanntechnik für die MMS

Für die Bearbeitung mit MMS sollten spezielle MMS-Spannfutter verwendet werden. Sie unterscheiden sich von den Spannfuttern für die konventionelle Bearbeitung mit Kühlschmierstoff vor allem durch andere Kühlmittelrohre und Längeneinstellschrauben. Um den spezifischen Anforderungen der Einkanal- und der Zweikanal-Systeme zu genügen, sind weitere Unterscheidungen nötig. In beiden Fällen sollten möglichst wenige Querschnittsprünge in dem Strömungskanal vorhanden sein und die unvermeidbaren Querschnittsänderungen allmählich erfolgen. Für Einkanal-Systeme sollte der Strömungsquerschnitt für das MMS-Medium bis zum Eintritt in den Werkzeugschaft möglichst groß sein, so dass sichergestellt wird, dass die Kühlkanäle des Werkzeugs den kleinsten Querschnitt im Strömungssystem darstellen.

Spanntechnik für die MMS

Bild 5: Geometrische Verhältnisse im Spannfutter für Zweikanal-Technik

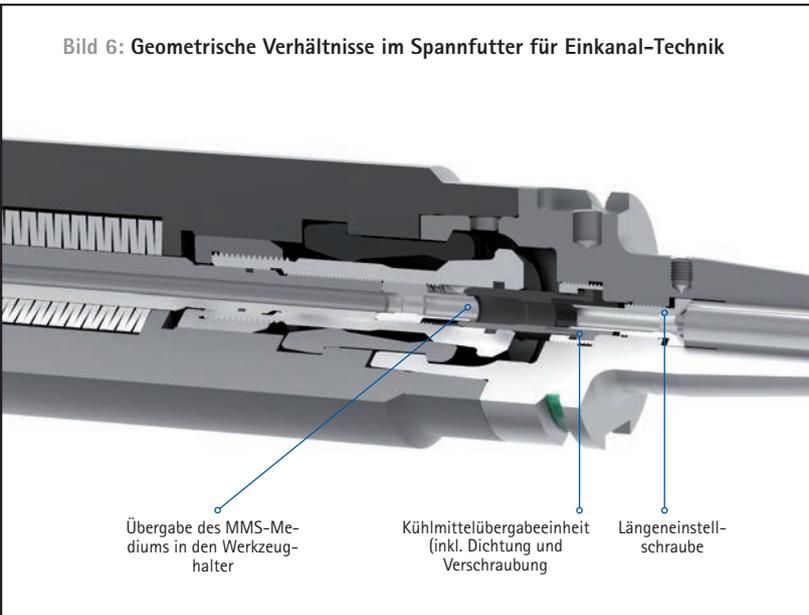


Im Vergleich zum Einkanal-System sind die Strömungsquerschnitte in den Kühlmittelübergabeeinheiten und Längeneinstellschrauben für Zweikanal-Systeme kleiner. Der Grund hierfür ist, dass die Strömungsgeschwindigkeit der Luft möglichst hoch gehalten werden muss, um den Transport des Öles, welches beinahe zu 100 % als dünner Film an den Wänden der Kühlkanäle des Werkzeuges strömt, sicherstellen zu können.

Das Verhältnis zwischen dem Querschnitt in der Längeneinstellschraube und dem Gesamtquerschnitt der Austritte am Werkzeug, das sogenannte „MQL-Ratio“, sollte zwischen 1 und 4 liegen. Dies ist für eine kontinuierliche, gleichmäßige Ölversorgung am Werkzeugaustritt und für kurze Reaktionszeiten notwendig. Daraus ergibt sich für unterschiedliche Austrittsquerschnitte bei verschiedenen Werkzeugen, dass unterschiedliche Kühlmittelübergabeeinheiten und Längeneinstellschrauben für die Anpassung an die jeweiligen Werkzeuge zur Verfügung stehen müssen (Bild 5).

Einhaltung enger Toleranzen, vor allem von Positionstoleranzen. Dafür werden Temperatursensoren in Maschinenkomponenten und/oder in der Spannvorrichtung angeordnet. Auch das Antasten von in der Spannvorrichtung positionierten Näherungs-

Bild 6: Geometrische Verhältnisse im Spannfutter für Einkanal-Technik



MMS-Bearbeitung spiralisiert, um den Spantransport zu erleichtern (Bild 7). Durch die bessere Späneabfuhr wird auch die Wärmeeinbringung in das Werkstück minimiert.

Die Kühlkanäle im Werkzeug müssen so gestaltet werden, dass eine optimale Zuführung des MMS-Mediums an die Zerspanstelle und gegebenenfalls an Führungsflächen von im Werkstück geführten Werkzeugen erfolgt. Die Kühlkanäle sollten gratfrei ausgeführt werden und so, dass der Strömungswiderstand zu allen Austrittsöffnungen etwa gleich ist. Längere Strömungswege benötigen daher etwas größere Durchmesser. Die Austritte sollten mehr in radialer Richtung und näher an der Zerspanstelle angeordnet sein, als bei Werkzeugen für die Nassbearbeitung (Bild 8). Durch Sprühtests beim Werkzeughersteller und zur Qualitätssicherung in der Werkzeugvorbereitung kann die Durchgängigkeit der Kühlkanäle überprüft werden.

Für Einkanal-Systeme ist eine Ausführung für Kühlmittelübergabeeinheit und Längeneinstellschraube ausreichend. Hier muss der Strömungsquerschnitt nicht angepasst werden an das Werkzeug (Bild 6). Sichtbar sind die deutlich größeren Strömungsquerschnitte im Vergleich zur Zweikanal-Technik.

Der Übergang zwischen Längeneinstellschraube und Werkzeugschaft ist in beiden Fällen typischerweise kegelig ausgeführt. Die japanische Horkos Corp. besitzt ein Patent, welches die Übergabe eines MMS-Mediums über eine „Rohr in Rohr“-System definiert. Die heute in der Industrie verwendeten Übergabesysteme basieren auf diesem Prinzip, weshalb die meisten Lieferanten für Werkzeughalter und MMS-Übergabesysteme entsprechend lizenziert sind. Alternative Ausführungen haben sich bisher nicht durchgesetzt.

Bild 7: Verbesserung der Spanabfuhr durch spiralisierte Bohrer



Bild 8: Anordnung der Austrittsöffnung



### MMS-gerechte Werkzeuggestaltung

### MMS-gerechte Werkzeuggestaltung

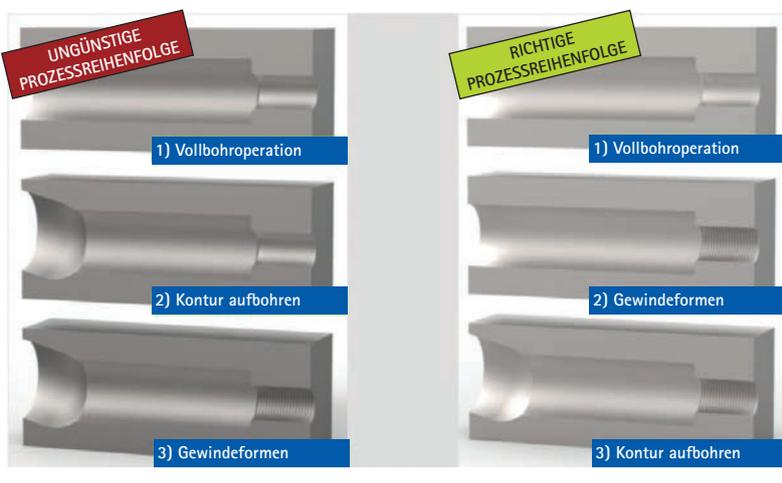
Anpassungen der Werkzeuggeometrie speziell an die Minimalmengenschmierung betreffen vor allem die Gestaltung der Kühlkanäle und die Gestaltung der Spanabfuhr aus dem Werkzeug. Teilweise werden die Spanräume etwas größer ausgeführt als für die Nassbearbeitung. Auch werden die Spannuten poliert, um die Reibung zwischen Span und Werkzeug zu verringern und damit den Span weniger zu bremsen. Bohrwerkzeuge, die für die Nassbearbeitung gerade ausgeführt werden, werden für die

### MMS-gerechte Prozessfolge

#### MMS-gerechte Prozessfolge

Für die Abfolge der einzelnen Bearbeitungen spielen insbesondere die Wärmeeinbringung ins Werkstück mit den damit verbundenen thermischen Ausdehnungen und die Vermeidung von Spananhäufungen in oder vor noch zu bearbeitenden Bohrungen eine Rolle. In Bild 9 ist ein solches Beispiel dargestellt. Wenn nach dem Vollbohren zunächst die Kontur aufgebohrt wird, sammeln sich einige Späne am Grund der Bohrung. Diese verursachen beim nachfolgenden Gewindeformen eine schlechte Qualität des Gewindes oder sogar Werkzeugbruch. Eine Umstellung der Bearbeitungsreihenfolge, so dass als zweites das Gewinde geformt wird und anschließend die Kontur aufgebohrt wird, behebt das Problem.

Bild 9:  
Optimierung der Bearbeitungsreihenfolge hinsichtlich liegendebliebener Späne



Um die Auswirkungen thermischer Ausdehnungen aufgrund der Werkstückerwärmung zu minimieren, sollten Bearbeitungen mit engen Toleranzen durchgeführt werden, wenn die Werkstücke noch nicht warm geworden sind. Bearbeitungen, welche einen großen Wärmeeintrag ins Werkstück verursachen und nicht so eng toleriert sind, werden (wenn möglich) am Ende des Gesamtprozesses durchgeführt. Dies ist also eine Umkehrung der normalerweise für die Nassbearbeitung angewendeten Prozessfolge, bei der die Feinbearbeitung am Ende des Gesamtprozesses erfolgt.

Sind am Werkstück größere Volumina abzutragen und ist mit frei werdenden Eigenspannungen zu

rechnen, muss zunächst diese Grobbearbeitung durchgeführt werden. Nach einer anschließenden Abkühlung (zum Beispiel in einem Werkstückpuffer zwischen zwei Bearbeitungsmaschinen) folgen dann in einer neuen Aufspannung die Feinbearbeitung und anschließend die weniger genauen Bearbeitungen.

#### Schnittparameter und Standmengen bei der MMS

Sieht man von schwer zerspanbaren Werkstoffen wie Titanlegierungen und hochlegierten Stählen zum Beispiel für Turbolader ab, können für die MMS-Bearbeitung ähnliche oder gleiche Schnittparameter verwendet werden, wie für die Nassbearbeitung. In Aluminium-Gusslegierungen sollte die Schnittgeschwindigkeit möglichst nicht kleiner als 200 bis 250 m/min sein, um die Aufbauschneidenbildung zu unterdrücken. Teilweise wird der Vorschub pro Schneide für die MMS-Bearbeitung erhöht. Dadurch brechen die Späne kürzer und es entsteht etwas weniger Wärme.

Bei der Aluminiumbearbeitung mit Vollhartmetall-Werkzeugen werden typischerweise etwa 10 bis 15% höhere Standmengen erreicht als bei der Nassbearbeitung. Für PKD-Werkzeuge ist die Standmenge etwas höher als bei Nassbearbeitung. Gewindeform-Werkzeuge erreichen typischerweise mindestens die doppelte Standmenge im Vergleich zur Nassbearbeitung. Bei der MMS-Bearbeitung von Ölkanälen in Kurbelwellen aus Sphäroguss und Stahl werden 30 – 50% höhere Standmengen erreicht. Teilweise werden noch größere Standmengensteigerungen bei der Stahlbearbeitung dokumentiert (6). Ursache für den geringeren Werkzeugverschleiß bei der Minimalmengenschmierung ist die bessere Schmierwirkung und die geringere Thermoschockwirkung gegenüber konventioneller Kühlschmierung mit Emulsion.

#### Mitarbeiterschulung

Um die angegebenen Standmengen prozesssicher zu erreichen, sind neben geeigneten Werkzeugen, MMS-Systemen, Maschinen und gut eingestellten Prozessen geschulte Mitarbeiter eine Grundvoraussetzung. Große Unternehmen führen diese Schulungen teilweise in Eigenregie durch. Außerdem können Schulungen auch vom MMS-Werkzeuglieferanten angeboten werden.

#### Schnittparameter und Standmengen

#### Mitarbeiterschulung

**Bild 10:**  
**Programm für die Mitarbeiterschulung zur Minimalmengenschmierung von MAPAL**

**Grundlagen der Minimalmengenschmierung**

- Was versteht man unter MMS
- Definition von MMS
- Wesentlichen Unterschiede zwischen KSS und MMS

**MMS-Zuführsysteme**

- Einkanal-Systeme
- Zweikanal-Systeme

**Grundlagen bezüglich Ausführung und Ausstattung von Maschinen, Spanabfuhrsystemen, Absaugungen, Temperaturkompensation, MMS-Öle, Luftdrücke**

**Spanntechnik und Übergabesysteme (KM-Rohre und Längeneinstellschrauben)**

**Montage von MMS-Werkzeugen**

**Grundlagen der Werkzeugauslegung**

- Kühlkanalführung
- Spanraumgestaltung

**Prozessgestaltung bei MMS**

- Prozessfolgen
- Ölmengen

**MMS-Sprühtests**

- Statische und dynamische Sprühtests

**Erkennen und Beheben von Fehlern im laufenden MMS-Prozess**

Nur gut geschulte Mitarbeiter können adäquat auf Störungen reagieren. Sie sollten für die Anwendung der Minimalmengenschmierung nicht nur ihre eigenen Tätigkeiten kennen und können, sondern einen Gesamtüberblick über die verschiedenen Aspekte der MMS haben.

Bei der Montage von Werkzeug und Werkzeughalter ist zum Beispiel die korrekte Auswahl von Kühlmittelrohr und Längeneinstellschraube entscheidend für eine gute Versorgung des Werkzeugs mit MMS-Medium. Diese Versorgung kann zum Beispiel auch durch einen nicht ganz an der Längeneinstellschraube anliegenden Werkzeugschaft beeinträchtigt werden.

**Mögliche Fehler im laufenden Betrieb sind zum Beispiel**

- Eine matte, aufgerissene Oberfläche, die auf ein Problem mit der Ölversorgung hindeutet,
- Riefen in der Oberfläche (Sie entstehen durch mitgezogene Späne. Hier liegt also ein Problem mit dem Spanabfluss vor, das häufig nur durch eine Werkzeuganpassung beim Hersteller behoben werden kann.),
- Werkzeugbruch, der durch mangelnde Ölversorgung zum Beispiel beim Gewindebohren verursacht werden kann. Hier ist zu prüfen, ob das MMS-Medium an den Austrittsöffnungen des Werkzeugs, oder möglicherweise durch eine Undichtigkeit im Werkzeughalter an anderer Stelle austritt.

**Anforderungen an das Umfeld**

Auch an das Umfeld des eigentlichen Fertigungssystems werden einige Anforderungen gestellt, die bei der konventionellen Kühlschmierung nicht so entscheidend sind, wie bei der MMS-Bearbeitung. Die Hallentemperatur sollte 35°C nicht überschreiten. Sie sollte sich innerhalb eines Tages nicht mehr als 10 K und innerhalb von einer Stunde nicht mehr als 2 K verändern. Auch direkte Sonnenbestrahlung auf die Maschine, eine direkte Bestrahlung durch die Hallenheizung und Zugluft sollten vermieden werden. Diese Temperaturunterschiede haben ohne die ausgleichende Wirkung von großen Mengen an Kühlschmierstoff bei der MMS-Bearbeitung einen deutlichen Einfluss auf die Maßgenauigkeit der Werkstücke.

Noch wichtiger ist eine einigermaßen konstante Temperatur der Rohteile, wenn die Bearbeitung beginnt. Werden Rohteile angeliefert, sollten sie eine ausreichend lange Zeit in der Produktionshalle gelagert werden, um die Hallentemperatur anzunehmen. Andernfalls gibt es naturgemäß große Temperaturunterschiede der Rohteile zwischen den Jahreszeiten und damit entsprechende Streuungen der Fertigungsmaße und einen erhöhten Aufwand für die Temperaturkompensation.

**Anforderungen an das Umfeld**

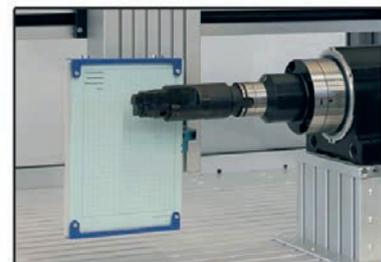
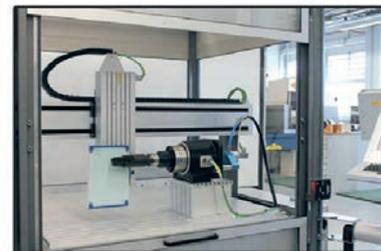
### Summary

### Zusammenfassung

Mit Minimalmengenschmierung können Investitions- und Betriebskosten eingespart werden. Außerdem wird die Umwelt geschont und die Belastung der Mitarbeiter durch Kühlschmiermittel verringert. Bei richtiger Anwendung werden teilweise bessere Werkstückqualitäten und bessere Standmengen der Werkzeuge erreicht. Um diese Vorteile der MMS zu realisieren, müssen die verschiedenen Komponenten optimal aufeinander abgestimmt sein. Dafür sind geeignete MMS-Öle und MMS-Systeme auszuwählen. Die Werkzeugmaschinen müssen MMS-gerecht aufgebaut sein. Werkzeughalter und Zerspanwerk-

zeuge müssen für die Minimalmengenschmierung optimiert sein. Und auch die Prozessfolge für MMS ist im Vergleich zur Nassbearbeitung geändert. Die Umstellung von Nassbearbeitung auf Minimalmengenschmierung ist also mit einigem Aufwand verbunden. Die Vorteile sind aber so deutlich, dass in den letzten zehn Jahren eine Reihe von Automobilherstellern und Zulieferern eine Vielzahl von Maschinen und Fertigungssystemen mit Minimalmengenschmierung anstatt mit konventioneller Kühlschmierung in Betrieb genommen haben.

Das Unitest-MQL führt Sprühtests durch und prüft die sichere Durchleitung des MMS-Mediums zur Schneide



#### Literatur

1. Klocke, F., Gerschwiler, K.: Trockenbearbeitung - Grundlagen, Grenzen, Perspektiven, VDI Berichte Nr. 1240 Auf dem Weg zur Trockenbearbeitung, VDI-Verlag 1996, S. 93-110.
2. Mit MMS Produktionskosten abschmieren lassen. MAPAL Impulse, Ausgabe 52, September 2013, S. 36-39.
3. DIN 69090, MMS-Bearbeitungstechnologie, Teil 1, Begriffe und Definitionen, Beuth-Verlag.
4. BGI/GUV-I 718, Information Minimalmengenschmierung in der spanenden Fertigung, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V., 2010.
5. Vogl, P.: Anforderungen an die MMS-fähige Maschine, Vortrag auf Seminar MAPAL Dialog, Aalen, 10.04.2013.
6. Kuchenmeister, R.: Kosten- und Qualitätsvorteile, Minimalmengenschmierung versus Nassbearbeitung, Werkstatt und Betrieb, Heft 6/2012, S. 75-77.

#### **Prof. Dr.-Ing. Eckehard Kalhöfer**

ist Inhaber des Stiftungslehrstuhls Spanende Fertigung an der Hochschule Aalen.  
eckehard.kalhoefer@htw-aalen.de

#### **Dipl.-Ing. Christian Schmidt**

ist Entwicklungsingenieur bei MAPAL Dr. Kress KG.  
christian.schmidt@de.mapal.com



MAPAL Dr. Kress KG  
Obere Bahnstraße 13 | 73431 Aalen  
Phone +49 7361 585-0 | Fax +49 7361 585-150  
info@de.mapal.com      www.mapal.com