

Prozesssichere Werkzeuge fürs Bohren mit MMS

Bei der Bearbeitung mit Mindermengenschmierung (MMS) kommt es entscheidend auf die thermischen Verhältnisse in Werkzeug und Werkstück an. Bei der Werkzeugauslegung wird neben Schneidstoff, Geometrie und Schicht auch die thermische Situation des Bearbeitungsumfeldes berücksichtigt. Im Mittelpunkt der Betrachtungen steht dabei stets die Prozesssicherheit.

PETER HÄNLE UND DIETER GSÄNGER

■ Um die rasch fortschreitenden Ansprüche der spanenden Industrie nach Reduzierung der Hauptzeiten zu erfüllen, bieten moderne HPC-Werkzeuge die ideale Ausgangsbasis. Um dieser Forderung nach Leistungserhöhung von Zerspanungswerkzeugen gerecht zu werden, wird bei Gühring, Albstadt, umfangreiche Grundlagenforschung betrieben, die direkt bei der Auslegung von Serien- und Sonderbohrwerkzeugen Berücksichtigung findet. Hierbei wird nicht nur das Werkzeug in seinen leistungsbestimmenden Parametern Schneidstoff, Schicht und Geometrie betrachtet, sondern auch das Umfeld, wie zum Beispiel die Wärmeausbreitung in Werkstücken und die damit verbundenen Bearbeitungsstrategien, um den thermischen Verzug von Werkstücken während der Bearbeitung in Grenzen zu halten. Von großer Wichtigkeit ist dabei vor allem die Betrachtung der Prozesssicherheit.

i HERSTELLER

Gühring OHG,
72458 Albstadt,
Tel. 0 74 31/17-0,
Fax 0 74 31/17-2 79,
www.guehring.de

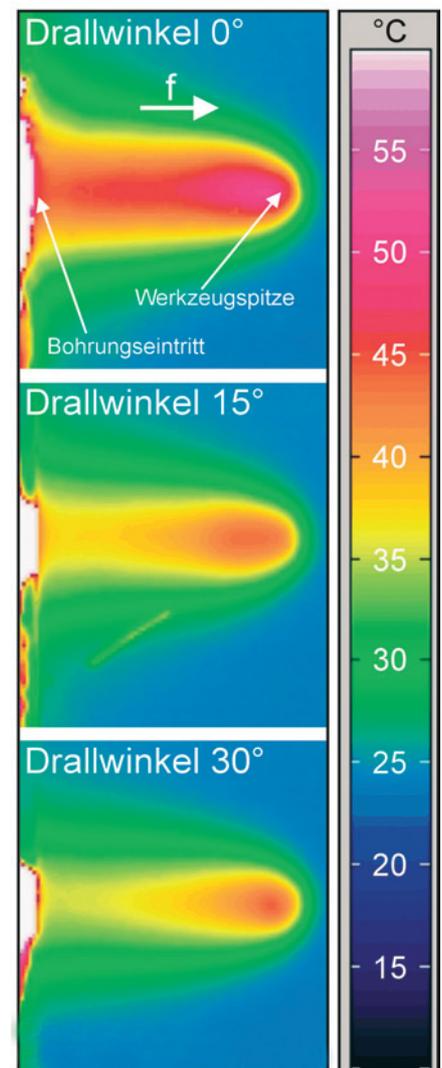
Der vorliegende Fachaufsatz soll – aufbauend auf die Beiträge ›MMS-gerechte Gestaltung des Bohrschaftes‹ (siehe WB 09/03) und ›Das Bohrwerkzeug für den MMS-Einsatz fit gemacht‹ (WB 10/03) die Notwendigkeit einer solchen ganzheitlichen Betrachtungsweise unter besonderer Berücksichtigung der Prozesssicherheit verdeutlichen.

Bei der Trockenbearbeitung oder der Bearbeitung mit Mindermengenschmierung (MMS) ist die Betrachtung der thermischen Verhältnisse in Werkzeug und Werkstück besonders wichtig. Da die generierte Zerspanungswärme nicht ebenso wie bei der konventionellen Nassbearbeitung durch die Emulsion oder das Öl abgeführt werden kann, werden die MMS-Werkzeuge derart gestaltet, dass

- beim Zerspanungsprozess weniger Wärme entsteht (zum Beispiel durch scharfe Schneiden mit positivem Spanwinkel bei gleichzeitig gesteigerten Schnittparametern),
- die Reibung minimiert wird (zum Beispiel durch geringere Breite der Führungsfasen im Vergleich zum ›Nass-Werkzeug‹, einer größeren Verjüngung des Werkzeugs und durch Verwendung von MMS),
- der Wärmeübergang Span/Werkzeug reduziert wird (zum Beispiel durch thermisch isolierende Hartstoffschichten und polierte Werkzeugoberflächen zur Reduzierung der Reibung zwischen Span und Spanfläche),
- der Wärmeübergang Span/Werkstück vermindert wird (zum Beispiel durch rasche Spanabfuhr aus der Bohrung beziehungsweise von der Werkstückoberfläche weg).

Die Spanentsorgung verbessert sich mit zunehmendem Spiralwinkel

Zur Untersuchung der Frage, welchen Einfluss der Spanwinkel auf die entstehende Temperatur hat, wurden drei Versuchsbohrwerkzeuge des Durchmessers 10,0 mm für eine Bohrtiefe von 100 mm hergestellt.



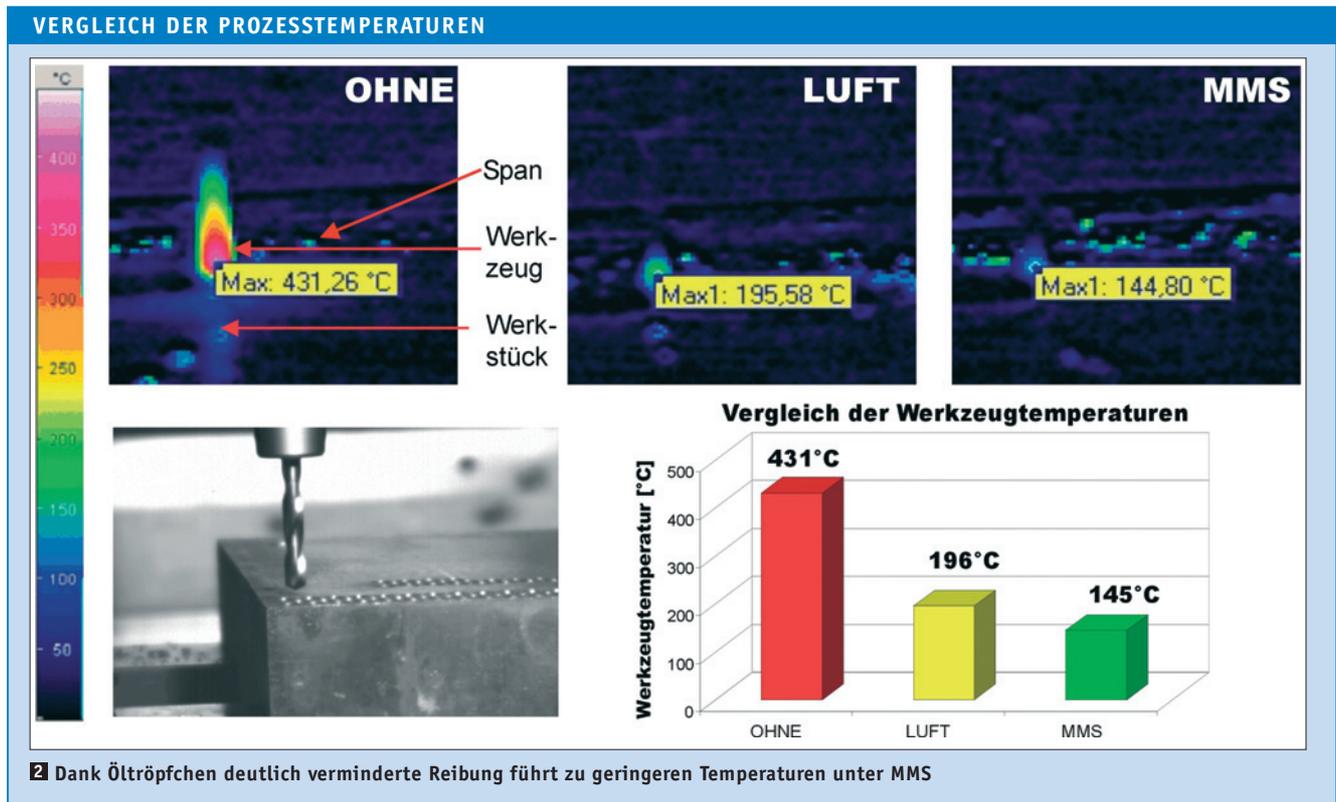
1 Werkstückenerwärmung in Abhängigkeit vom Spanwinkel: Ein positiver Spanwinkel generiert in der Scherzone des Spanes deutlich geringere Temperaturen; $D = 10 \text{ mm}$, AlSi7 , $v_c = 300 \text{ m/min}$, $f_u = 0,35 \text{ mm}$

Die Werkzeuge waren geometrisch gleich gestaltet, sie unterschieden sich lediglich in ihrem Drall- und demzufolge in ihrem Spanwinkel. Die hergestellten Versuchswerkzeuge wiesen Spanwinkel von 0° (also geradegenutet), 15° sowie 30° auf. Der Durchmesser der inneren Kühlkanäle war bei allen Werkzeugen identisch. Mit einer Thermografie-Kamera wurde die gene-

seren Oberflächen/Volumen-Verhältnisses leichter durch die MMS-Strömung gefördert werden können und weniger zum Verkleben in der Spannut neigen.

Bei der thermografischen Betrachtung der Werkzeugschneide (Bild 1) zeigt sich ein deutlicher Zusammenhang zwischen dem Spanwinkel und der entstehenden Temperatur. Ein positiver Spanwinkel führt da-

beitung mit MMS bei. Geradegenutete Werkzeuge können dennoch für die Bohrungsbearbeitung von Aluminium- und Eisengusswerkstoffen vorteilhaft dort eingesetzt werden, wo gesteigerte Anforderungen an die Bohrungsqualität (zum Beispiel verbesserte Rundheit und geringerer Bohrungsverlauf) gefordert werden. Dies liegt daran, dass geradegenutete Werkzeu-



rierte Wärme bei der Bohrungsbearbeitung einer Aluminiumlegierung AlSi7 in Echtzeit aufgenommen und dokumentiert. Die verwendeten Versuchsplatten hatten eine Dicke von 14 mm und wurden stirnseitig gebohrt, sodass die verbleibende Restwandung zwischen Bohrung und der thermografisch untersuchten Plattenoberfläche 2 mm betrug. Somit war es möglich, die Wärme in Abhängigkeit vom verwendeten Versuchswerkzeug qualitativ zu vergleichen. Zusätzlich wurde der Spanfluss durch eine Hochgeschwindigkeitskamera aufgezeichnet. Bei den gewählten Schnittwerten von $v_c = 300$ m/min und $f = 0,35$ mm/U waren deutliche Unterschiede in der Spanentsorgung und der Zerspanungswärme zu erkennen. Die Spanentsorgung, das heißt die kontinuierliche Förderung aus der Bohrung, wurde mit zunehmend positiver Geometrie und dem damit verbundenen besseren Spanbruch (kürzere Scherspäne) günstiger. Diese kürzeren Scherspäne gelangen schneller aus der Bohrung, da sie auf Grund ihres bes-

zu, dass in der Scherzone des Spanes eine deutlich geringere Temperatur generiert wird, da der Span bei einem 30°-verdrallten Werkzeug lediglich um 60° umgelenkt (geringe Scherung) werden muss, wohingegen die Spanumlenkung bei einem geradegenuteten Werkzeug 90° (große Scherung) beträgt. Die in der Scherzone entstehende Wärme geht direkt als Zerspanwärme in den Prozess ein. Ein kürzerer Span überträgt – dank seiner kürzeren Kontaktlänge auf der Spanfläche – eine geringere Reibungswärme auf das Werkzeug, was ferner zu günstigeren Temperaturverhältnissen beiträgt. Das geradegenutete Werkzeug wies im Vergleich zum 15°- und 30°-verdrallten Werkzeug vier anstatt zwei Führungsfasen auf, was wiederum zu einer höheren Reibung des Werkzeugs an der Bohrungswand führt.

Spiralisierte Werkzeuge tragen also auf Grund ihrer besseren Spanentsorgung und der vergleichsweise geringeren Prozess-temperatur wesentlich zur Erhöhung der Prozesssicherheit bei der Bohrungsbear-

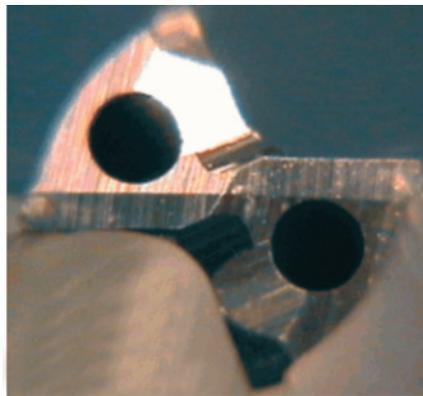
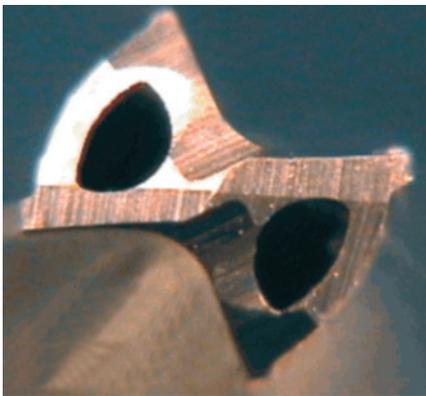
ge in der Regel vier Führungsfasen aufzuweisen. Das Temperaturniveau geradegenuteter Bohrwerkzeuge kann durch eine optimierte geometrische Gestaltung der Kühlkanäle jedoch so weit reduziert werden, dass dieser thermische Nachteil gegenüber verdrallten Bohrwerkzeugen zum großen Teil ausgeglichen werden kann. Auf diese optimierte geometrische Gestaltung wird später detailliert eingegangen.

Einfluss der Reibung auf die Prozesstemperatur

Die vorangegangenen Veröffentlichungen hatten zum Inhalt, durch welche geometrischen Maßnahmen (MMS-gerechtes Schaftende und strömungsgünstige Gestaltung der Spannut beziehungsweise Ausspitzung) bei Gühring-Werkzeugen eine optimale Versorgung der Hauptschneiden und Führungsfasen mit MMS erreicht wird. Die nachfolgend beschriebene Untersuchung zeigt, wie effizient das Temperaturniveau gesenkt und wie stark die >>>

►► Prozesssicherheit bei der MMS-Bearbeitung erhöht werden kann, wenn das Gesamtsystem Spannfutter/Werkzeug optimal abgestimmt ist. Eine prozesssichere Erzeugung des MMS-Stromes wird selbstverständlich vorausgesetzt.

In einem Versuch wurden Bohrungen in Sphäroguss GGG40 eingebracht, wobei der Versuch sich in drei Teilversuche unterteilte. Mit einem für jeden Versuch identischen Werkzeug wurde eine komplett trockene Bearbeitung, eine Bearbeitung mit Luftströmung und eine Bearbeitung mit MMS durchgeführt. Beim verwendeten Versuchswerkzeug handelte es sich um ein für die MMS-Bearbeitung optimiertes Bohrwerkzeug des Durchmessers 8,5 mm, die Bohrtiefe belief sich auf 42 mm. Die Schnittwerte betragen $v_c = 130$ m/min und $f = 0,26$ mm/U. Eine Thermografie-



■ Maximaler Kühlkanalquerschnitt bei Erhaltung der Werkzeugstabilität: Werkzeug mit Trigon-Kühlkanälen (links) im Vergleich zur konventionellen Ausführung (rechts)

Kamera erfasste die beim Rückhub aus der Bohrung an der Bohrerspitze vorliegende Temperatur. Dazu wurde eine Bearbeitungssequenz von sieben aufeinander folgenden Bohrungen aufgenommen. Von der ersten bis zur fünften Bohrung war ein Anstieg der Temperatur an der Bohrerspitze von Bohrung zu Bohrung festzustellen, nach der fünften Bohrung jedoch änderte sich die Maximaltemperatur der Bohrerspitze beim Verlassen der Bohrung nicht mehr (quasistationärer Zustand). Aus diesem Grund wurde die Temperatur des Bohrwerkzeugs jeweils nach der siebten Bohrung erfasst.

Das vollkommen trocken laufende Bohrwerkzeug (ohne Luft beziehungsweise MMS) erreichte an seiner Spitze eine Maximaltemperatur von 431°C . Diese Temperatur ist konsequenterweise geringer als die während der Zerspanung an der Wirkstelle (Bohrerspitze) auftretende. Messungen mit Thermoelementen unterhalb der Spanfläche und kurz hinter der Hauptschneide haben ergeben, dass an der Wirkstelle Temperaturen von bis zu 900°C

auftreten können. Der innerhalb dieses Versuches durchgeführte Temperaturvergleich bei der Verwendung von Luftkühlung beziehungsweise MMS ist jedoch zulässig, da stets zum gleichen Zeitpunkt an der Bohrerspitze gemessen wurde.

Diese Temperatur stellt für moderne Schneidstoffe und Hartstoffschichten kein sonderlich großes Problem dar, die Bohrungsbearbeitung kann auch ganz trocken prozesssicher durchgeführt werden. Jedoch laufen die Verschleißmechanismen Diffusion und Adhäsion auf einem höheren Temperaturniveau beschleunigt ab, was wiederum zu kürzeren Werkzeugstandzeiten führt. Der erhöhte Wärmeintrag kann beim Werkstück zudem zu thermischen Ausdehnungen führen, die ihrerseits bei Nichtbeachtung der geeigneten Bearbeitungsstrategie eng tolerierte

der Bohrerspitze gemessen. Da die geringe verwendete Ölmenge (30 ml/h) nicht nennenswert zur Kühlung des Bearbeitungsprozesses beitragen kann, ist davon auszugehen, dass die dem Luftstrom beigemengten Öltröpfchen eine deutliche Reibungsverminderung bewirkten. Dies wird durch eine – gegenüber der reinen Luftkühlung – abermals gesteigerte Spanabfuhrgeschwindigkeit belegt. Eine im Vergleich zur reinen Luftkühlung noch geringere Spänetemperatur macht außerdem deutlich, dass Öl an die Wirkstelle gelangt, welches wiederum den Ablauf des Spanes auf der Spanfläche durch bessere Reibungsverhältnisse begünstigt (Bild 2).

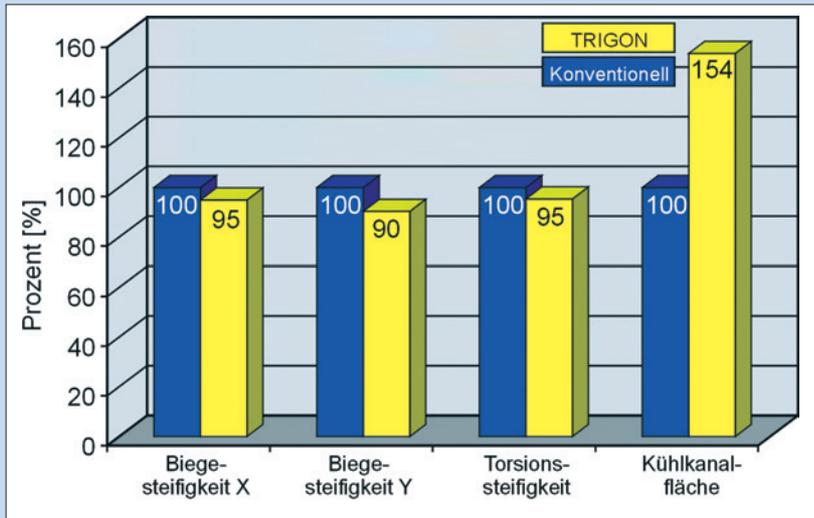
Wie im letzten Aufsatz »Das Bohrwerkzeug für den MMS-Einsatz fit gemacht« (WB 10/03) beschrieben, kann eine zum Werkzeugschaft hin geöffnete Nut die Spanabfuhrgeschwindigkeit deutlich steigern und somit die Prozesssicherheit bei gleichzeitig gesteigerter Zerspanungsleistung nochmals erhöhen.

Größerer Kühlkanalquerschnitt verlängert die Standzeit

Für Bohrwerkzeuge mit kleinen Durchmessern ist dies jedoch auf Grund der begrenzten Größenverhältnisse nur unzureichend möglich. Kreisförmige Kühlkanäle lassen sich kaum vergrößern, da die Wandungen des Werkzeugs zur Spankammer beziehungsweise zum Bohrerrücken hin zu dünn würden, um die anfallenden Belastungen aufzunehmen. Eine Alternative stellen Trigon- oder ellipsenförmige Kühlkanäle dar (Bild 3).

Die optimale Auslegung von Größe und Form dieser Trigon-Kühlkanalquerschnitte erfolgte bei Gührung mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode (Bild 4). Das Optimierungsziel war hier eine Maximierung des Kühlkanalquerschnitts bei gleichzeitiger Aufrechterhaltung der Werkzeugstabilität. Ferner wurden fertigungstechnische Randbedingungen berücksichtigt, die einerseits aus der Herstellung des Hartmetall-Rohstabs und andererseits dessen schleiftechnischer Weiterverarbeitung resultieren. Der durchströmte Kühlkanalquerschnitt kann bei fast gleicher Werkzeugstabilität (Widerstand gegen Biegung und Torsion) bis auf das Doppelte erhöht werden. Die maximale Erhöhung des Kühlkanalquerschnitts wird weitestgehend vom Werkzeugdurchmesser bestimmt. Der daraus resultierende größere Volumenstrom ist in der Lage, eine deutlich größere Wärmemenge von der Wirkstelle abzuführen und diese außerdem besser mit Schmierstoff zu versorgen. Die bis zu

VERGLEICH DER MECHANISCHEN EIGENSCHAFTEN



4 Trigon-Kühlkanäle verdoppeln den Volumenstrom bei nahezu gleich bleibender Werkzeugstabilität

100 Prozent höhere Geschwindigkeit des MMS-Stromes in der Spannt und die so ebenfalls erhöhte Spanabfuhrgeschwindigkeit haben eine größere Prozesssicherheit und konsequenterweise eine Erhöhung der Werkzeugstandzeit zur Folge.

Als einer der führenden Hartmetallhersteller beherrscht Gühring die Herstellungs- und Weiterverarbeitungstechnolo-

gie entsprechender Hartmetallstäbe für geradegenutete Werkzeuge in den wichtigsten Sorten und Abmessungen. Der Einsatz von geradegenuteten Werkzeugen mit Trigon-Kühlkanälen erlaubt es ferner, die während der Zerspanung generierte Wärme besser abzuführen und somit den thermischen Nachteil weitgehend auszugleichen, den geradegenutete Bohrwerkzeuge

mit konventionellen Kühlkanälen gegenüber den Bohrwerkzeugen mit verdrehten Kühlkanälen besitzen.

In Bild 4 werden die mechanischen Eigenschaften eines Werkzeugs mit kreisförmigen Kühlkanälen verglichen mit einem Werkzeug mit Trigon-Kühlkanälen für einen Werkzeugdurchmesser von 5 mm. Als Vergleichsgrundlage wurden die mechanischen Eigenschaften der Werkzeuge mit kreisförmigen Kühlkanälen zu 100 Prozent gesetzt. Den geringen Verlusten der Biege- und Torsionssteifigkeit steht eine deutliche Zunahme der Kühlkanalfläche gegenüber. Diesem deutlich größeren Kühlkanalquerschnitt ist es zu verdanken, dass Standzeitsteigerungen von bis zu 500 Prozent in verschiedenen Einsatzfällen erzielt wurden. In einigen Anwendungsfällen bei industriellen Anwendern war eine prozesssichere Bearbeitung durch die Verwendung von Werkzeugen mit Trigon-Kühlkanälen überhaupt erst möglich.

Dr. Peter Hänle ist Leiter F&E, Dieter Gsänger ist Leiter Entwicklungskonstruktion bei Gühring in Sigmaringen-Laiz; dieter.gsaenger@guehring.de online.service@guehring.de