

Es kommen trockene Zeiten

Die Trockenbearbeitung ist eine Schlüsseltechnologie der spanenden Metallbearbeitung und kann den Unternehmen als Differenzierungsmerkmal im Wettbewerb einen Technologievorsprung verschaffen. Wie Unternehmen die Trockenbearbeitung erfolgreich meistern, zeigen die Beispiele der trockenen Radträgerfertigung bei DaimlerChrysler und der Herstellung von Sonderwerkzeugen bei Lothmann in Ludwigsburg.

JÜRGEN FLEISCHER, JÜRGEN SCHMIDT, MARTIN DYCK

Die Trockenbearbeitung schöpft die größten Einsparpotenziale nur bei komplett kühlsmierstofffreien Produktionsanlagen aus (Bild 1). Aktuell liegt ein Fokus der Trockenbearbeitung daher auf der trockenen Komplettbearbeitung von Werkstücken, inklusive der Fertigbearbeitung. Randbedingungen setzt der gegenwärtige Stand der Maschinenteknik und der Automatisierung. Die Minimalmengenschmierung ist ein fester Bestandteil der Trockenbearbeitung, sie erweitert das Spektrum bei ähnlichen Einsparungen und technologischen Anforderungen. Bild 2 zeigt den heutigen Stand der Tro-

ckenbearbeitung auf der Lebenszyklus-kurve. Eine Schlüsseltechnologie ist hier klar definiert: Die konkreten Anwendungsfelder und der Nutzen der Technologie sind geklärt, die Forschung erweitert die Anwendungsfelder, die Industrie nutzt die Technologie, um Wettbewerbs- und Markterfolge zu erzielen. Dies entspricht dem heutigen Stand der Trockenbearbeitung. Machbarkeit und Wettbewerbsfähigkeit sind nachgewiesen, die notwendige technische Ausrüstung ist in vielen Varianten verfügbar.

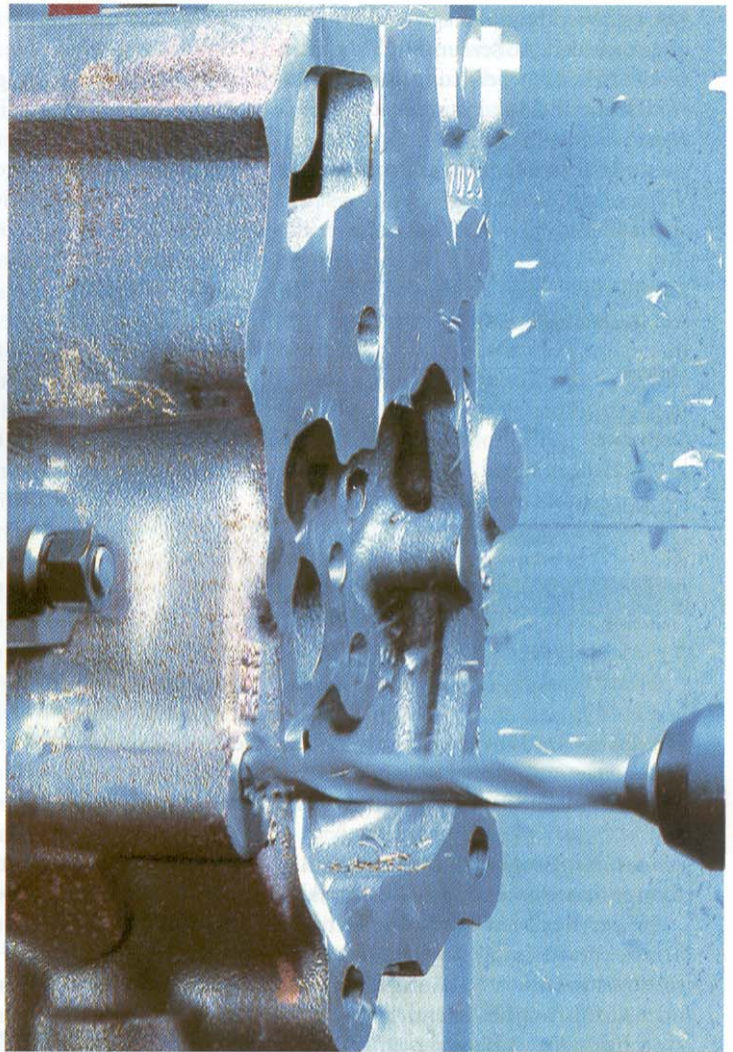
Anhand der Lebenszyklus-kurve wird die weitere Entwicklung der Trockenbearbeitung mit einer starken Verbreitung der Anwendungen charakterisiert. Der Status der Basistechnologie ist erst erreicht, wenn die Technologie von allen Wettbewerbern benötigt wird, dem Einzelnen aber keine Wettbewerbsdifferenzierung mehr bietet. An diesem Punkt ist die Trockenbearbeitung jedoch noch

nicht angelangt. Um die weitere Verbreitung der Trockenbearbeitung besser abschätzen zu können, sollen aus den Erfahrungen des Beratungsnetzwerks 'Technologienetz Trockenbearbeitung' drei weitere Kriterien betrachtet werden:

- zeitliche Umsetzung,
- Anwendungsspektrum,
- Antrieb und Anforderungen der Trockenbearbeitung.

Investitionen und Ausbildung bestimmen den Zeitplan

In der hoch automatisierten Großserienproduktion wird die Trockenbearbeitung mit der Beschaffung neuer Produktionsanlagen (Transferstraßen oder Fertigungslinien) eingeführt. Der Aufbau des technologischen Know-hows beginnt mit Machbarkeitsanalysen in der Planungsphase, zu denen meist Fachkräfte aus Technologieentwicklung, Versuch ►►



Am besten komplett und trocken: Die trockene Komplett- und Fertigbearbeitung, beispielsweise eines Zylinderkopfes, erschließt erhebliche Einsparpotenziale

i ANWENDER

Lothmann Werkzeugtechnik,
71634 Ludwigsburg,
Tel. 0 71 41/3 30 05,
Fax 0 71 41/37 80 29

und Werkzeugmanagement hinzugezogen werden. Außerdem sind Mitarbeiter der Arbeitsvorbereitung, des Betriebsmittelbaus und der -instandhaltung sowie Maschinenbediener in der Trockenbearbeitung zu schulen. Diese Produktionsanlagen stellen einen großen Invest dar, deshalb entstehen in der deutschen zer-

schinenumrüstung gerne in die Generalüberholung einer Maschine eingebunden. In Beratungsanfragen in der flexiblen Fertigung sind Maschinenumrüstungen und Neubeschaffungen von universellen, trockenbearbeitungsgerechten Maschinen ähnlich häufig. Die Technologieverbreitung findet somit in Jahren statt, personelle Ausbildung und Investitionen begrenzen die Häufigkeit von Technologie-

neueinführungen in Unternehmen. Damit wird die Zeit bis zur Basistechnologie auf weitere fünf bis zehn Jahre eingeschätzt.

In der produktionstechnischen Forschung heute wird die Trockenbearbeitung sowohl zur Leistungssteigerung von Zerspanprozessen – zum Beispiel Hochleistungsräumen –

steht der Wärmeeintrag ins Werkstück im Fokus. Durch ein besseres Verständnis der thermischen Abläufe im Zerspanprozess sollen Steuergrößen und Maßnahmen gemehrt, Versuchsphasen vor dem Fertigungsanlauf verkürzt sowie Handlungsempfehlungen zur Prozesseinrichtung und zur Diagnose von Fertigungsfehlern abgesichert werden. Geeignete Wärmeeintragsmodelle sollen das Problem simulierbar und kompensierbar machen.

Getrieben wird die Trockenbearbeitung durch zwei Faktoren: Einsparpotenziale, beispielsweise bei den Kühlschmierstoffkosten, beim Reinigungsaufwand oder bei der Verkürzung der Prozesskette auf Grund geringerer Verschmutzung der Werkstücke, werden mit der Trockenbearbeitung erschlossen. Neben dem Einsparpotenzial sind hauptsächlich technologische Vorteile zu nennen. Da immer höhere Zeitspanvolumina gefordert werden, sind die Ursachen für den Werkzeugverschleiß zunehmend in der thermischen Belastung der Schneidstoffe zu finden.

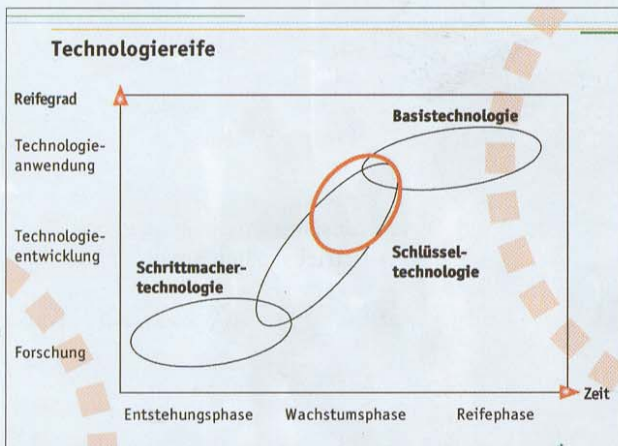
Produktivitätssteigerungen durch Trockenbearbeitung

Der Einsatz einer Vielzahl hochwärmefester Schneidstoffe wird erst dadurch möglich, dass ohne Kühlschmierstoff auch kein Thermoschock an der Werkzeug-schneide entsteht. Bei Hartmetallwerkzeugen bringt dieser Effekt einen deutlichen Standzeitgewinn, insbesondere bei härtesten Werkstoffen. Außerdem führen die höheren Werkzeugstandzeiten auch zu einer besseren Dauergenauigkeit.

Die heutigen Qualitätsanforderungen an die spanende Fertigung können mit der Trockenbearbeitung prinzipiell ebenso erfüllt werden wie mit konventionellem Kühlschmierstoffeinsatz. Die Unternehmen führen die Trockenbearbeitung ein, um gezielt auf Kundenwünsche zu reagieren. Ein Beispiel dafür ist die Aluminiumbearbeitung: Sollen Bauteile nach der spanenden Bearbeitung verklebt werden,

reduziert die Trockenbearbeitung die aufwändige Reinigung oder verringert optische Qualitätseinbußen, die durch Flecken von KSS-Rückständen verursacht werden. Auftragsfertiger können sich so einen Wettbewerbsvorteil verschaffen.

Beim Wärmeeintrag ins Werkstück darf keine pauschale Entwarnung gegeben werden. Die Sorge der Anwender vor



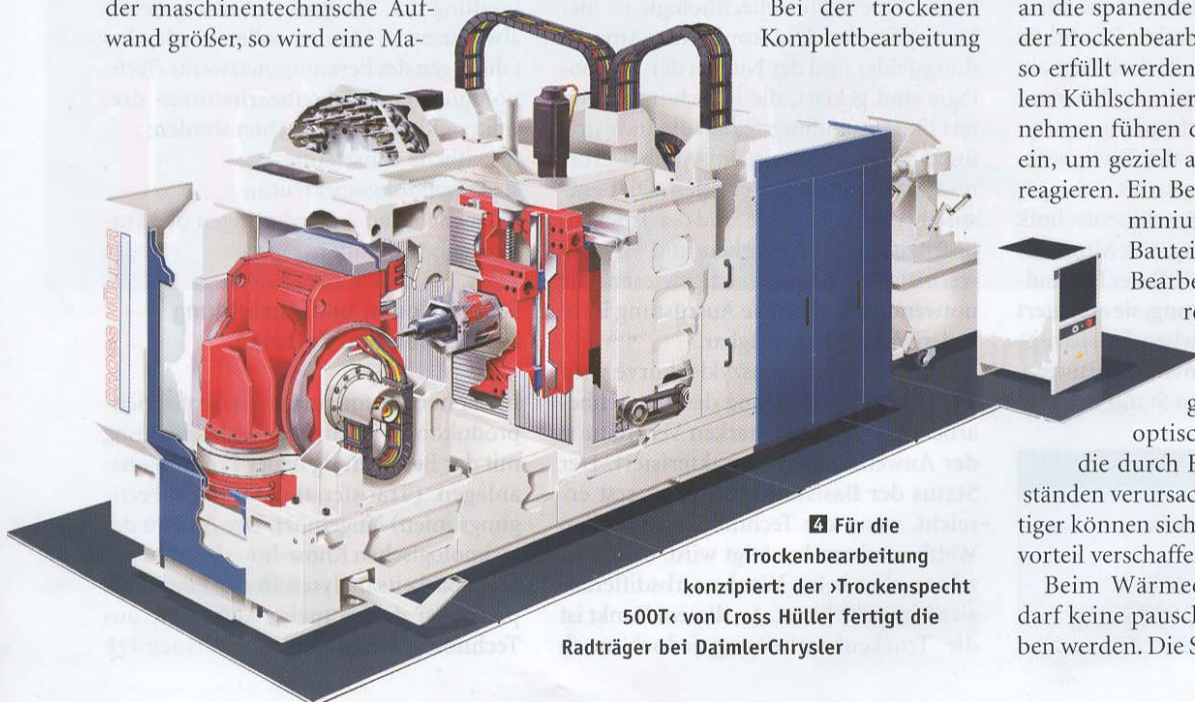
Stand der Trockenbearbeitung anhand der Technologielebenszyklusurve: Die Trockenbearbeitung ist gegenwärtig eine Schlüsseltechnologie der spanenden Metallbearbeitung

spanenden Großserienfertigung einige wenige neue Anwendungsfälle pro Jahr.

In der flexiblen Fertigung wird die Trockenbearbeitung auf Grund geringerer Investitionskosten häufig durch Um- oder Aufrüstung bestehender Maschinen eingeführt. Der Aufbau des entsprechenden Know-hows bei den Mitarbeitern ist hierbei eine bestimmende Größe. Beginnend mit ersten Seminarbesuchen über eigene Versuche bis zum ersten trocken gefertigten Werkstück vergehen erfahrungsgemäß ein bis drei Jahre. Ist der maschinentechnische Aufwand größer, so wird eine Ma-

auch bei der Entwicklung neuer Zerspanverfahren – beispielsweise Wälzschalen von Verzahnungen oder bei der Mikrozerspannung – betrachtet. Hochleistungsbau- teile und Leichtbau fordern immer neue Werkstoffe wie faserverstärkte Alu-Profile für Rahmenkonstruktionen, Gusseisen mit Vermikular-Grafit im Motorenbau oder Magnesium für leichte Fahrzeugteile. In der Folge werden das Anwendungsspektrum erweitert, neue Schneidstoffe entwickelt und Verschleißmechanismen erforscht.

Bei der trockenen Komplettbearbeitung



Für die Trockenbearbeitung konzipiert: der Trockenspecht 500T von Cross Hüller fertigt die Radträger bei DaimlerChrysler



3 Leichtbau in Großserie: Der Radträger aus Aluminiumguss wird bei DaimlerChrysler mit Minimalmengenschmierung gefertigt

mehr als handwarmen Werkstücken ist in der Regel aber unbegründet. Für die Einzelfallbetrachtung eines Werkstücks stehen einige Parameter und Maßnahmen zur Verfügung, um den Wärmeeintrag zu berücksichtigen. Mit geeigneten Schnittparametern und Werkzeugen kann die Temperaturerhöhung auf einen unkritischen Bereich gesenkt werden, sodass ein ausreichender Sicherheitsabstand zu den Toleranzen besteht. Viele Getriebegehäuse oder Lagersitze können aus diesem Grund trocken gefertigt werden. Ein Qualitätsvorteil liegt wiederum darin, dass die Minimalmengenschmierung eine Verbrauchsschmierung darstellt und gegenüber einem Kühlschmiermittelkreislauf keine Feinstpartikel in den Schnitt eingebracht werden. So erreichen geriebene Oberflächen mit MMS meist eine höhere Qualität.

Zwei Beispiele sollen belegen, wie die Trockenbearbeitung mittels intensiven Know-how-Transfers zielgerichtet umgesetzt werden kann.

Technologieeinführung in der Großserie

Um das Gewicht der Fahrzeuge zu reduzieren, fertigt DaimlerChrysler zum ersten Mal Radträger aus Aluminiumguss (Bild 3). Um die Trockenbearbeitung in der Serie einzuführen, wurde dieses weniger komplexe Werkstück ausgewählt, da es den hohen Anforderungen der neuen Technologie gerecht wird, welche die Mitarbeiter im Dreischichtbetrieb sicher beherrschen müssen. Darüber hinaus ist das Zerspanvolumen des Radträgers im Vergleich zu einem Zylinderkopf geringer, sodass die hoch automatisierte Anlage mit größerer Sicherheit rein gehalten werden kann.

Werkstückhandhabung. Bei einer Taktzeit von 6 Minuten und 5 Sekunden werden die Radträger in drei Aufspannungen und 27 Operationen pro Maschine bearbeitet. (Bild 3). Bei der Radträgerfertigung ist es gelungen, den Schmierstoffbedarf auf 1 ml pro Bauteil zu reduzieren. Auch in anderen Anwendungen waren Aluminium-Gusslegierungen sehr gut mit Minimalmengenschmierung zerspanbar.

Der Anstoß für diese Anwendung kam aus dem BMBF-Verbundprojekt ›Trockenbearbeitung prismatischer Bauteile‹

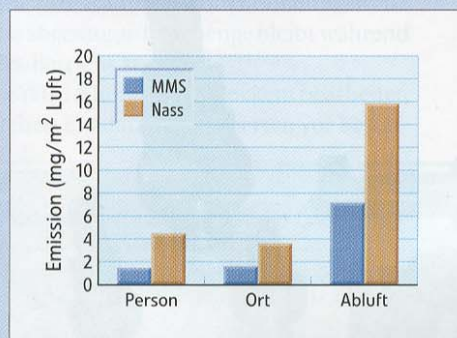
Für die Bearbeitung der Radträger wurde eine trockenbearbeitungsgerechte Fertigungsanlage angeschafft. Die Maschinen des Modells ›Trockenspecht 500T‹ stammen von Cross Hüller, Ludwigsburg, (Bild 4). Insgesamt acht flexibel verkettete Bearbeitungszentren haben eine Ausbringung von 1400 Radträgerpaaren pro Tag. Vier Roboter übernehmen die

Chrysler bei Cross Hüller bearbeitet. Anhand von 50 bearbeiteten Werkstücken wurde die Kurzzeitfähigkeit ermittelt. Der Zylinderkopf erwärmte sich bei der Vorbearbeitung um 10 K, bei der Endbearbeitung um 4 K. Durch eine angepasste Bearbeitungsreihenfolge konnten kritische Stichmaße jedoch eingehalten und bei allen Bearbeitungen ein c_{mk} -Wert größer 2 erreicht werden. Vergleichsrechnungen zeigten, dass die Anlage zur trockenen Bearbeitung der Radträger gegenüber einer Anlage mit KSS deutlich günstiger ist. Entfallende Kühlschmierstoffinstalltionen, Kühlschmierstoffpflege sowie Ver- und Entsorgung führten zu beträchtlichen Einsparungen beim Platzbedarf, bei den Betriebskosten sowie den Be- ▶▶

MMS IST ARBEITSSCHUTZ

Die Süddeutsche Metall-Berufsgenossenschaft untersuchte in Kooperation mit der Industrie und mit Unterstützung des Berufsgenossenschaftlichen Instituts für Arbeitsschutz (BIA) die Emissionen bei der Metallbearbeitung mit MMS. Der Entstehung von Spalt- und Pyrolyseprodukten auf Grund der hohen thermischen Belastung der minimalen Schmierstoffmenge galt hierbei besonderes Interesse. Zwischen 2001 und 2003 wurden Expositionsreihen an Arbeitsplätzen mit MMS durchgeführt (Bild 5). In allen Fällen wurde der Luftgrenzwert für KSS-Emissionen eingehalten, in 95 Prozent lagen die Ergebnisse unterhalb der Hälfte des Grenzwertes von 5 mg/m³ Raumluft. Weiterhin wurden die Emissionen bei der Drehbearbeitung einer Revolvermutter aus CK 45 mittels MMS direkt mit der Überflutungsschmierung verglichen. Die Emissionen am Maschinenarbeitsplatz blieben mit MMS deutlich unter denen der Emulsionskühlung. Im Abluftstrom der Absaugung waren die Emissionen um die Hälfte geringer. Basierend auf diesen Analysen wurde eine neue BG/BIA-Empfehlung erstellt. Diese beschreibt, was bei der MMS zum sicheren Einhalten der Luftgrenzwerte und zum Verzicht auf Kontrollmessungen nach ›TRGS 402‹ zu beachten ist.

VERGLEICH KSS-EMISSIONEN



5 Die Minimalmengenschmierung zeigt deutliche Vorteile bei den KSS-Emissionen am Arbeitsplatz und unterschreitet die zulässigen Grenzwerte deutlich

(1995 bis 1997). Ergebnisse zum Zerspanprozess, zur Maschinengestaltung und zur Wirtschaftlichkeit bei der Komplettbearbeitung unterschiedlicher Werkstücke motivierten einige Unternehmen zur Gründung eines Arbeitskreises. Neben einem Kupplungs- und einem ABS-Gehäuse wurden gemeinsam Aluminium-Zylinderköpfe aus ›GK-ALSi10Mg‹ unter der Federführung von Daimler-

Süddeutsche Metall-Berufsgenossenschaft,
 55130 Mainz,
 Tel. 0 61 31/8 02-0,
 Fax 0 61 31/8 02-1 33,
 www.smbg.de

►► schaffungskosten der Anlage. Seit September des Jahres 2001 wird der Radträger auf dieser Anlage im Dreischichtbetrieb produziert.

Mit Teamarbeit schwierige Aufgaben lösen

Als Hersteller von Sonderwerkzeugen ist Lothmann aus Ludwigsburg selbst mit den Kundenwünschen der Trockenbearbeitung konfrontiert. Um die Vorteile der Trockenbearbeitung auch im eigenen Unternehmen zu nutzen, entschied man sich dazu, eine Zerspanungsaufgabe gemeinsam mit dem Expertenkreis ›TroIA‹ zu betrachten: In langen Stufenwerkzeugen sind Kühlkanäle mit hohem Länge-Durchmesser-Verhältnis einzubringen. Für die Trockenbearbeitung ist dies auf Grund des schwierigen Spanabtransports ein entscheidender Arbeitsgang.

Ein Team, bestehend aus Mitarbeitern eines Herstellers von Minimalmengenschmiergeräten und zwei Werkzeugherstellern, führte bei Lothmann gemeinsam Versuche durch. Betrachtet wurde dabei die Herstellung einer Kühlkanalbohrung durch das Einlippentiefbohren mit MMS. Die Bohrung besitzt eine Länge von 240 mm und einen Durchmesser von 4 mm (Bild 6). Der Fokus der Stichversuche lag auf dem Spanabtransport aus der

i BERATUNG

Auch nach auslaufender öffentlicher Förderung bleibt das Technologienetz Trockenbearbeitung aktiv und schließt neben Experten aus Industrie und Forschung auch andere beratende Organisationen ein, beispielsweise IHKs, Landesgewerbeämter, Handwerkskammern sowie Berufsgenossenschaften. Um den Wissenstransfer zu verbessern, unterstützt beispielsweise die Süddeutsche Metall Berufsgenossenschaft (SMBG) kleine und mittelständische Unternehmen bei der Einführung der Trockenbearbeitung. Gemeinsam mit dem Institut für Produktionstechnik (wbk) der Universität Karlsruhe werden Seminare für Unternehmer und Aufsichtspersonen durchgeführt und gefördert. Eine wichtige Initiative im Rahmen der Fortsetzung des Technologienetzes stellt der Arbeitskreis ›Trockenbearbeitung in der industriellen Anwendung‹ (TroIA) dar. www.trockenbearbeitung.de

Aerosol zur Minimalmengenschmierung versorgt. Das Aerosol wurde mit einem Einkanalssystem der Firma Lubrix erzeugt und mit 6 bar Druckluft aus dem Hallenversorgungssystem beaufschlagt. Es wurde auf 120 mm vorgebohrt und im Anschluss daran auf 240 mm tiefgebohrt. Bei einer Drehzahl von 4000 min⁻¹ und einem Vorschub pro Umdrehung von 0,018 mm konnte ohne Entspanen gebohrt werden. Der Verlauf der Bohrung blieb dabei wie bei der Nassbearbeitung sicher unterhalb der zulässigen Toleranz von 2 mm.

In fünf bis zehn Jahren von der Schlüssel- zur Basistechnologie

Im ersten Stichversuch wurden die Späne bei zwölf Bohrungen ohne Spanklem-

Zur Weiterentwicklung und zu anstehenden Standzeitversuchen wird nun ein MMS-Gerät fest bei Lothmann installiert.

Einer weiteren Verbreitung dieser ökonomisch wie ökologisch sinnvollen Tech-

i KONTAKT

Institut für Produktionstechnik (wbk),
76131 Karlsruhe,
Tel. 07 21/6 08-24 41,
Fax 07 21/69 91 53,
www.wbk-ka.de

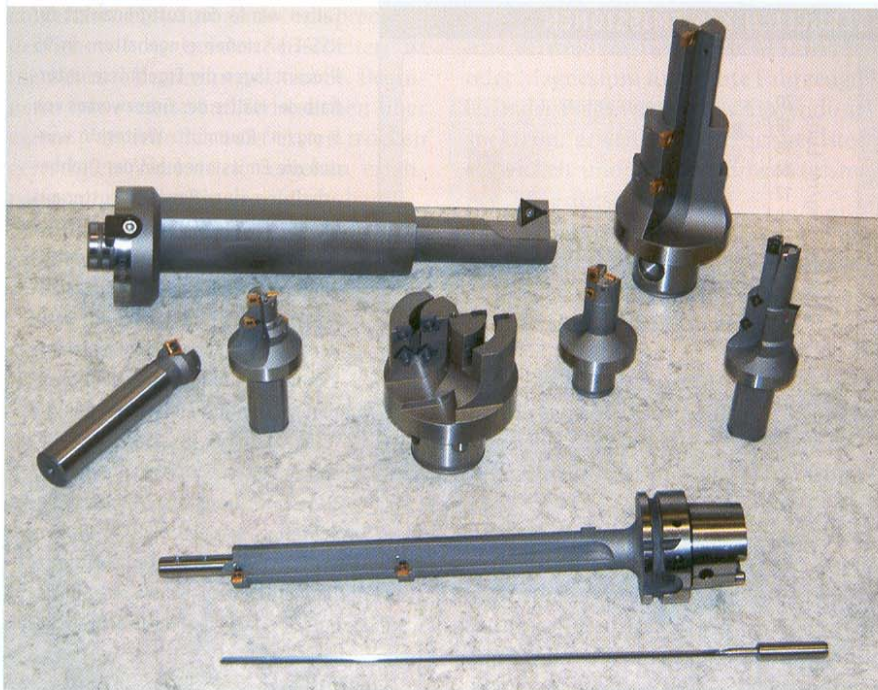
nologie stehen keine grundsätzlichen technologischen Hindernisse gegenüber. Forschungsaktivitäten zielen heute auf die Leistungssteigerung, ein verbessertes ›Handling‹, auf die Optimierung von trockenen Zerspanprozessen und deren Anwendbarkeit sowie auf die Nutzung bei neuen Fertigungsanforderungen beziehungsweise neuen Werkstoffen.

Die Trockenbearbeitung ist von wirtschaftlichen Vorteilen getrieben und drückt anhand ihrer Technologiereife in die breite Anwendung. Auf Grund der zeitlichen Abläufe bei der Einführung dieser komplexen Technologie wird die Verbreitung der Trockenbearbeitung als Schlüsseltechnologie vermutlich innerhalb der kommenden fünf bis zehn Jahre stattfinden.

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Fleischer leitet das Institut für Produktionstechnik (wbk) der Universität Karlsruhe seit 2003; fleischer@wbk.uka.de

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schmidt leitet die Gruppe Fertigungstechnologie am wbk der Universität Karlsruhe schmidt@wbk.uka.de

Dipl.-Ing. Martin Dyck ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am wbk der Universität Karlsruhe; dyck@wbk.uka.de



6 Sonder als Standard: Spektrum von Sonderwerkzeugen von Lothmann, im Vordergrund der Einlippentiefbohrer zur Bohrung der Kühlkanäle

tiefen Bohrung. Im Versuch kamen gerade genutete Werkzeuge von Gühring und Botek zum Einsatz. Diese wurden mit

mer aus der tiefen Bohrung herausgefördert. Die beteiligten Partner waren von diesen positiven Versuchen überzeugt.