Probleme der umwelt- und humanverträglichen Fertigung am Beispiel der Kühlschmierstoffe

Seit Beginn dieses Jahrhunderts werden fertigungstechnische Prozesse systematisch wissenschaftlich untersucht und weiterentwickelt. Lag der Forschungsschwerpunkt bisland darin, durch einen hohen Grad innovativer Neuerungen ein Maximum an Leistung bei hoher Wirtschaftlichkeit zu erzielen, so rücken in letzter Zeit zunehmend ökologische Gesichtspunkte in den Vordergrund. Diese umweltrelevanten Aspekte waren in der Vergangenheit, wenn überhaupt, nur am Rande beachtet worden. Der gesellschaftliche Wandel und die damit verbundene zunehmende Sensibilisierung in Umwelt- und Gesundheitsfragen spiegelt sich wider in einer steigenden Anzahl gesetzlicher Regelungen sowie einer wachsenden Zahl nationaler und internationaler Normen. Auch die Industrie kommt heutzutage nicht mehr umhin, Entwicklungen im Bereich der Fertigungstechnik in engem Zusammenhang mit ihrer Umweltverträglichkeit zu bewerten. – Zweiter Teil und Schluß von Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Uwe Heisel und Dipl.-Ing. Marcel Lutz [1]).

[1]) Professor Dr.-Ing. Dr. h.c. Uwe Heisel ist Direktor des Instituts für Werkzeugmaschinen der Universität Stuttgart. Dipl.-Ing. Marcel Lutz ist Leiter der Arbeitsgruppe Zerspanungstechnologie am selben Institut.

Zur ersten Kategorie gehören neben den Aufwendungen für Beschaffung und Lagerung, die Personalkosten für Überwachung, Pflege und Reinigung, die oben erwähnten Arbeitsschutzaufwendungen und die in zunehmendem Maße steigenden Entsorgungskosten. Daneben fallen aber auch Kosten für Anlagen zur Kühlschmierstoffversorgung und -reinigung an. Als weitere Faktoren einer gesamtheitlichen Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sind zudem noch Folgekosten zu berücksichtigen. Sowohl die Störung sensibler Steuerungsorgane an den Werkzeugmaschinen durch einen Kühlschmierstoff, z. B. durch Verklebungen, schlägt zu Buche, als auch Leckageschäden mit der Folge des Eindringens wassergemischter Produkte in Hydrauliken oder Schmiersysteme. Weitere Kosten verursachen Maßnahmen zur Reinigung der Werkstücke von Kühlschmierstoffrückständen vor einer Folgebearbeitung, zur Reinigung der Späne, um den Kühlschmierstoffaustrag zu minimieren, und die Reinigung der Vorrichtungen und Geräte nach erfolgter Bearbeitung. Als ein weiterer Kostenfaktor muß auch der mögliche Personalausfall durch kühlschmierstoffbedingte Hautschäden betrachtet werden.

Insbesondere im Bereich der Entsorgung werden die in den kommenden Jahren notwendigen Aufwendungen durch neue, noch restriktivere Gesetze auf dem Umweltschutzsektor weiter steigen. Im Vergleich zu anderen Schmierölen aus geschlossenen Systemen weisen Kühlschmierstoffe überdurchschnittlich hohe Altölquoten von 80 % im Fall nichtwassermischbarer und 70 % im Fall wassermischbarer Produkte auf. Diese Mengen sind es, die nach Ende der Lebensdauer als Abfall zurückbleiben und entsorgt werden müssen. Ausgehend von den Zahlen des Zeitraums Januar bis November 1992 bedeutet dies für die Bundesrepublik Deutschland eine zu entsorgende Kühlschmierstoffmenge von knapp 500 000 Tonnen.

Wenn auch die Anschaffungskosten für Kühlschmierstoffe im Gesamtbild der Fertigungskosten nur unwesentlich erscheinen, so stellten manche Unternehmen bei einer gesamtheitlichen Betrachtung der durch Kühlschmierstoffe verursachten Folgekosten fest, daß sie in ihrer Gesamtheit teilweise bereits über den Werkzeugkosten liegen. Von einem Fertigungshilfsstoff Kühlschmierstoff kann somit eigentlich keine Rede mehr sein. Vielmehr wird der Kühlschmierstoff in zunehmendem Maße zu einem wichtigen Produktions- und Kostenfaktor nicht nur einer umweltgerechten, sondern vor allem auch einer wirtschaftlichen Fertigung.

Ansätze zur Erhöhung der Umweltverträglichkeit eines solchen Produkti-

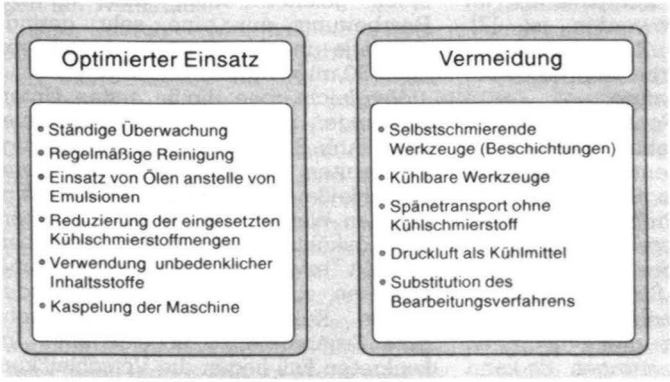


Abb. 5: Möglichkeiten zur Verringerung der Umweltbelastung durch Kühlschmierstoffe

Abb. 6: Gründe für einen Verzicht auf den Einsatz von Kühlschmierstoffen [6]

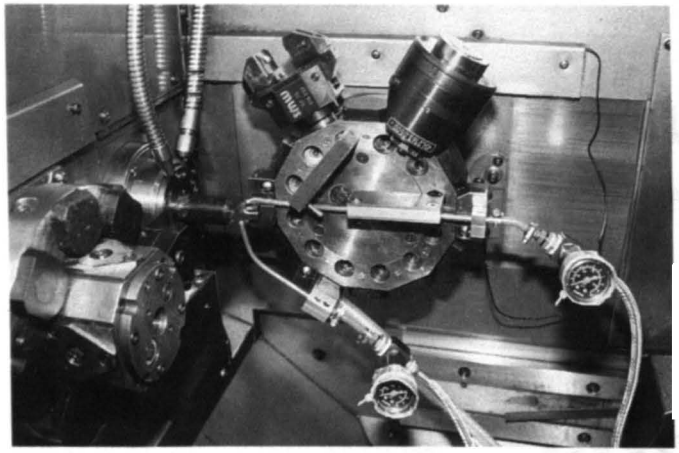


Abb. 7: Versuchsanordnung zur Untersuchung der Minimalmengenkühlschmierung beim Drehen auf einem CNC-Drehautomaten

onsfaktors lassen sich dadurch finden, daß man seinen Wirkungsgrad und seine Wechselwirkungen mit der Umwelt genau beobachtet. Davon ableiten lassen sich Bedingungen für einen optimierten Einsatz, der im Hinblick auf die Umwelt geringere Risiken aufweist (Abb. 5). Hierzu zählen vor allem die ständige Überwachung wichtiger Faktoren, wie beispielsweise Konzentration, Vorkommen von Mikroorganismen und pH-Wert, sowie eine regelmäßige Reinigung des Kühlschmierstoffs und die Verwendung unbedenklicher Inhaltsstoffe. Weitere Möglichkeiten bieten sich auch durch eine Substitution der relativ anfälligen Kühlschmieremulsionen durch nichtwassermischbare Metallbearbeitungsöle, die eine längere Lebensdauer aufweisen und physiologisch unbedenklicher erscheinen. Die große Menge zu entsorgender Kühlschmierstoffe läßt sich unter Umständen durch eine Reduzierung der eingesetzten Mengen, beispielsweise durch gezielte Zuführung an die Stelle, an der die kühlende und schmierende Wirkung benötigt wird, vermeiden.

Jedoch sei hier vor all zu euphorischen Erwartungen gewarnt. So weisen Kühlschmierstoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe, wie Raps- oder Rüböl, im Grundzustand wohl eine bessere Hautverträglichkeit auf als solche auf Mineralölbasis. Durch den Zusatz von Additiven und durch während des Prozesses entstehende Reaktionsprodukte stellen sich jedoch schnell dieselben Verträglichkeitseigenschaften ein. Daneben besteht unserem Kenntnisstand nach für solche Produkte in der industriellen Praxis bislang noch keine Möglichkeit des Recyclings. Sie müssen als Sondermüll entsorgt werden, was in einer gesamtökologischen Betrachtung einem Einsatz widerspricht. Dies ist sicherlich einer der Gründe, die eine weite Verbreitung von Kühlschmierstoffen auf der Basis nachwachsender Rohstoffe bislang behindern.

Weitere Ansatzpunkte zur konsequenten Reduzierung der anfallenden Mengen verbrauchten Kühlschmierstoffs bieten Maßnahmen zur Substitution kühlschmierstoffspezifischer Funktionen. Danach ließen sich die schmierenden Eigenschaften durch bestimmte Werkzeugbeschichtungen ersetzen. Die Kühlung der Wirkstelle könnte unter Umständen durch die Innenkühlung des Werkzeugs oder mit Hilfe von Druckluft erfolgen. Letztere ließe sich auch zum Spänetransport einsetzen. Eine weitere Möglichkeit bietet die Substitution besonders umweltbelastender Zerspanungsprozesse durch andere Bearbeitungsverfahren. So kann heutzutage beispielsweise das Schleifen, bei dem schwer entsorgbare Schleifschlämme anfallen, in vielen Fällen durch ein Verfahren mit geometrisch bestimmter Schneide ersetzt werden.

Für einen generellen Verzicht auf Kühlschmierstoffe sprechen viele Argumente (Abb. 6). Zum einen entfallen dabei Kosten für Anlagen zur Kühlschmierstoffversorgung und -aufbereitung sowie zur Absaugung von Rauch und Dämpfen. Die Personalbelastung ließe sich damit erheblich verringern. Gleichzeitig führt eine Vermeidung des Einsatzes von Kühlschmiermitteln unter Umständen zu einer Verkürzung der Fertigungsfolge durch den Wegfall von Reinigungsvorgängen, aber auch zur Vermeidung kühlschmierstoffbedingter Weiterverarbeitungsprobleme wie Weichfleckigkeit bei nachfolgendem Härten. Und schließlich tragen auch ökologische Randbedingungen dazu bei, den Verzicht auf Kühlschmierstoffe künftig ernsthaft in Erwägung zu ziehen [6].

Eine konsequente Möglichkeit zur Reduzierung der Kühlschmierstoffproblematik ist die Trockenzerspanung. Die Chancen der Trockenbearbeitung liegen neben dem Wegfall des Kühlschmierstoffs in der höheren Verfahrensflexibilität, da der Prozeß durch den Wegfall einer Komponente im Prinzip einfacher geworden ist [7]. Daneben sind die Zerspanprodukte leichter weiterzuverarbeiten, da keine Schmierstoffreste anhaften.

Entsprechend der Funktion von Kühlschmiermitteln sind aber Probleme im Bereich der Wärmeentwicklung, des Verschleißes und des Spänetransports zu erwarten. Diese Probleme betreffen die vier am Fertigungsprozeß beteiligten Komponenten Maschine, Späne, Werkzeug und Werkstück. So führt die Trokkenbearbeitung zu erhöhter Maschinenaufheizung und damit unter Umständen zu thermischen Verlagerungen. Es kann aber auch zu gesteigerter Maschinenverschmutzung und erhöhtem Leistungsbedarf kommen. Bezüglich der Späne kann deren Bildung durch fehlende Kühlschmierstoffadditive negativ beeinflußt werden. Auch das Werkzeug ist einer erhöhten thermischen und mechanischen Belastung ausgesetzt, und die Gefahr der Aufbauschneidenbildung wird wie der Verschleiß in vielen Einsatzfällen größer. Die Auswirkungen fehlenden Kühlschmierstoffs auf das Werkstück spiegeln sich in Maßhaltigkeitsproblemen, größeren Rauhigkeiten, thermischen Schäden und Verformungen wider.

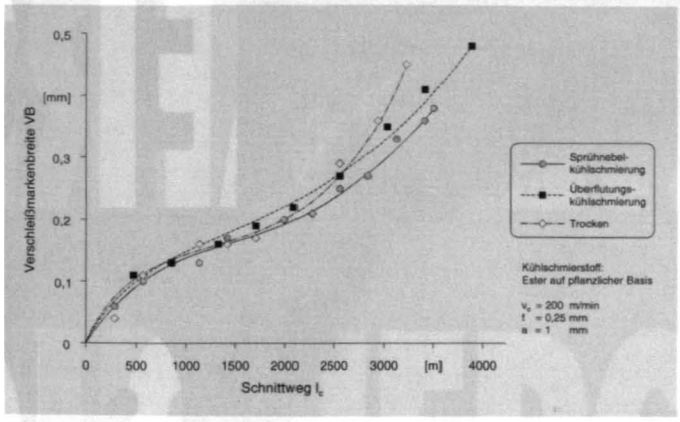
Eine weitere Aufgabe, die bei Einsatz der Trockenbearbeitung zu lösen ist, ist die Sicherstellung verschiedener Nebenfunktionen von Kühlschmierstoffen. So sind neue Techniken zum Transport der Späne z. B. durch Absaugen, Druckluft oder unter Einsatz von Gasen zu entwickeln. Weiterhin ist zu klären, wie sich die Entstehung und Verbreitung von Metallstäuben auf die Arbeitsplatzbelastung auswirkt.

Trotz erster Erfolge mit der Trokkenbearbeitung wird der Einsatz von Kühlschmierstoffen auch in Zukunft in vielen Fällen unverzichtbar sein. Dies gilt besonders dann, wenn hohe Oberflächengüte, Form- und Maßhaltigkeit gefordert oder kritische, schwer zerspanbare Werkstoffe zu bearbeiten sind. Frühere Untersuchungen am Institut für Werkzeugmaschinen der Universität Stuttgart haben dies bestätigt [8].

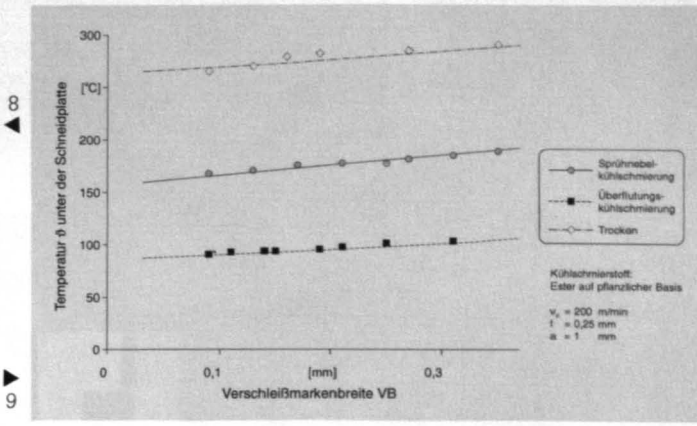
Sofern sich Kühlschmierstoffe nicht gänzlich vermeiden lassen, ist deren Reduzierung auf die unbedingt notwendige Menge anzustreben. Vor diesem Hintergrund beschäftigt sich eine Arbeitsgruppe am Institut für Werkzeugmaschinen der Universität Stuttgart in Zusammenarbeit mit den Firmen Oel-Held GmbH, Stuttgart, Index Werke GmbH & Co. KG Hahn & Tessky, Esslingen, und Steidle GmbH, Langenfeld, mit Untersuchungen zum Einsatz der Minimalmengenkühlschmierung beim Drehen von Wälzlagerstahl 100Cr6 (Abb. 7).

Der Kühlschmierstoff, ein Ester auf pflanzlicher Basis, wird mittels Druckluft zerstäubt und mit Hilfe zweier Düsen an die Wirkstellen zwischen Span und Werkstück bzw. Werkzeug und Werkstück geleitet. Dabei wird für die Bearbeitung nur eine sehr geringe Ölmenge in der Größenordnung von etwa 80 ml je Stunde benötigt.

Vergleicht man die in ersten Untersuchungen mit Sprühnebelkühlschmierung (Abb. 8 und 9) erzielten Werkzeugstandzeiten bis zum Erreichen einer Verschleißmarkenbreite VB = 0,3 mm mit den Werten, die im Fall von Überflutungskühlschmierung mit demselben Produkt bzw. bei Trockenbearbeitung auftraten, so zeigt sich, daß mit reduzierter Kühlschmierstoffmenge sehr gute Ergebnisse zu erzielen sind. Im konkreten Fall liegen die Verschleißkur-



8



9

Abb. 8: Einfluß der Kühlschmierungsart auf den Werkzeugverschleiß

Abb. 9: Abhängigkeit der Zerspanungstemperatur von Verschleiß und Kühlschmierungsart (Bildnachweis: IfW)

ven sehr eng beieinander und divergieren erst mit zunehmendem Verschleiß. Insgesamt weist das mit Ölnebel geschmierte und gekühlte Werkzeug eine gegenüber der Überflutungsschmierung zehn Prozent höhere Standzeit auf. Dabei wird die schmierende Funktion vom Öl, die kühlende hauptsächlich von der Druckluft übernommen. Im Vergleich zur Trockenbearbeitung liegt dieser Wert sogar bei 14 Prozent /9/.

Die unter der Wendeschneidplatte mit einem Thermoelement gemessenen Temperaturen weisen dabei den in Abb. 9 dargestellten Verlauf auf. Geht man von der Hypothese aus, daß die gleichzeitig an der Wirkstelle vorherrschenden Temperaturen jeweils um einen konstanten Faktor höher sind, läßt sich daraus eine Erklärung für die relativ langen Standzeiten der mit Minimalmengenkühlschmierung beaufschlagten Werkzeuge ableiten. Einerseits wird im Fall der Überflutung die zur Erzielung einer Werkstofferweichung in der Wirkzone notwendige Temperatur nicht erreicht. Der dadurch schwerer zerspanbare Werkstoff führt zu höherem Verschleiß. Andererseits treten bei der Trockenbearbeitung extrem hohe Temperaturen auf, die sich negativ auf die Lebensdauer der Werkzeugschneide auswirken. Gleichzeitig führen Wärmedehnungen während der Bearbeitung und der anschließende Abkühlvorgang insbesondere bei Werkstücken kleiner Durchmesser zu Maßabweichungen am Werkstück.

Die durch Minimalmengenkühlschmierung erzielbaren Ergebnisse lassen sich auf die an der Wirkstelle verbleibende Wärmemenge zurückführen, wobei die genauen Vorgänge Gegenstand künftiger Untersuchungen sind. Ansatzpunkt hierzu sind die bislang durchgeführten Versuchsreihen, die zeigten, daß mit Sprühnebelschmierung neben längeren Werkzeugstandzeiten, hohe Oberflächengüten und gesicherte Maßhaltigkeit zu erzielen sind. Ähnliche Ergebnisse erbrachten Untersuchungen für das Bearbeitungsverfahren Fräsen am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebsorganisation (wbk) der Universität Karlsruhe [10].

Die Minimalmengenkühlschmierung ermöglicht darüberhinaus die Verwendung von Ölen auf nativer Basis, die sehr gute Schmiereigenschaften aufweisen, aber relativ alterungsunbeständig sind. Aufgrund der Verbrauchsschmierung und der kleinen vorzuhaltenden Mengen entfällt die Forderung nach langen Standzeiten, womit auf Konservierungsstoffe weitgehend verzichtet werden kann. Eine Umweltbilanz der Mindermengenkühlschmierung ist allerdings noch zu erbringen.

Die Auswertung dieser Versuchsergebnisse und die Erfahrungen zahlreicher metallverarbeitender Betriebe erlauben den Schluß, daß in der spanenden Metallbearbeitung weiterhin auf den Einsatz von Kühlschmierstoffen nicht generell verzichtet werden kann. In vielen Fällen werden sie auch künftig technologisch notwendig und wirtschaftlich sinnvoll sein. Alternativen Formen der Kühlschmierung mit geringeren Verbrauchsmengen wird parallel zu den bekannten Techniken mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden müssen. Generell muß beim Kühlschmierstoffeinsatz künftig neben der traditionellen Betrachtungsweise zunehmend der Aspekt der Umweltverträglichkeit berücksichtigt werden.

Daraus ergeben sich folgende Forderungen [11]:

- Der Kühlschmierstoff soll sich bei der Herstellung umweltneutral verhalten. Das bedeutet geringer Energieverbrauch, keine Abfallstoffe und Emissionen.
- Kühlschmierstoff sollte möglichst auf regenerierbaren, also vorzugsweise aus nativen Rohstoffen hergestellt werden. Damit ließen sich wertvolle Ressourcen schonen. Allerdings ist die im Rahmen dieses Aufsatzes angesprochene Entsorgungsfrage in diesem Gesamtzusammenhang zu klären.
- Kühlschmierstoff muß sich physiologisch unbedenklich verhalten. Er darf weder toxisch, noch krebserregend, noch sonst irgendwie gesundheitlich schädigend wirken.
- Kühlschmierstoff muß ökotoxikologisch verträglich sein, sollte sich nicht mit Wasser vermischen - ein Problem bei den Emulsionen - und sollte nicht zu Wassergefährdung führen.
- Kühlschmierstoffreste sollten nach Gebrauch leicht biologisch abbaubar sein und gleichzeitig keine giftigen und unangenehmen Abbauprodukte hervorbringen.
- Kühlschmierstoffe sollten sich durch einfache Recyclingmöglichkeiten auszeichnen und somit keine Entsorgungsprobleme aufwerfen.

Gleichzeitig muß von Seiten der Anwender und der Forschung aufgezeigt werden, in welchen Grenzen sich ein Kühlschmierstoffeinsatz überhaupt bewegen muß. In Fachkreisen ist man sich heute einig, daß der Umgang mit Kühlschmierstoff in vielen Fällen noch immer nach dem Motto „Viel hilft viel" vollzogen wird. Entsorgungsprobleme und Gesetzgebung werden hier über kurz oder lang zum Umdenken führen.

Zahlreiche fertigungstechnische Forschungsinstitute haben die künftige Brisanz dieses Themas erkannt und Forschungstätigkeiten auf dem Gebiet der Kühlschmierstoffe aufgenommen [6,7,8,10,12]. Am Institut für Werkzeugmaschinen der Universität Stuttgart beschäftigt sich eine Arbeitsgruppe schon seit etwa zwei Jahren mit diesem Problemkreis. Vor kurzem wurde eine sogenannte Off-Shore-Vorrichtung für das Drehen entwickelt und in Betrieb genommen, mit deren Hilfe definierte Benetzungszustände der Werkzeugschneide erzeugt werden können. Solche und andere systematische Untersuchungen werden in Zukunft weitreichende Erkenntnisse über die genauen Vorgänge an der Werkzeugschneide bei der Zerspanung unter Kühlschmierstoff liefern. Gleichzeitig gilt es, die Zusammenhänge zwischen Kühlschmierstoff und Zerspanungsprozeß eingehender zu erforschen sowie die Grenzen des Kühlschmierstoffeinsatzes aufzuzeigen. Vor dem Hintergrund, daß Umweltschutz zunehmend höchste Priorität eingeräumt wird und sowohl in Unternehmensgrundsätze als auch strategische Entscheidungen der Industrie einfließt, entsteht der Auftrag an wissenschaftliche Forschungseinrichtungen, neue Wege in der Produktion aufzuzeigen und Bausteine für

umweltverträgliche Fertigungsprozesse bereitzustellen.
(Der erste Teil ist in dima 8/9-93 erschienen).

Literatur

[1] Byrne, G.; Scholta, E.: Environmentally clean machining processes - a strategic approach -. In: Annals of the CIRP Vol. 42/1/1993, S. 471 - 474.

[2] van Donkelaar, Pieter: Naturverträgliche Technologien. Expert Verlag, 1991.

[3] Brinksmeier, E.; Schneider, C.: Bausteine für umweltverträgliche Feinbearbeitungsprozesse. In: Hohe Prozeßsicherheit, hohe Leistung, hohe Präzision / 7. Internationales Braunschweiger Feinbearbeitungskolloquium; Essen: Vulkan-Verlag; 1993.

[4] Schütz, A.; Wolf, D.: Kühlschmierstoffe - Zusammensetzung, Schadstoffe, Schutzmaßnahmen. In: BIA-Handbuch: BIA 120 220; Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit, 1986.

[5] Boll, H.: Aspekte zum Umgang mit Kühlschmiermitteln aus der Sicht des Arbeitsmediziners. Arbeitskreis Kühlschmierstoffe und -emulsionen des Instituts für Werkzeugmaschinen, Stuttgart 1993.

[6] König, W.; Peiffer, K.; Knöppel, D.: Die Produktion umweltverträglicher gestalten. In: Industrie-Anzeiger (1991) 94, S. 23 - 26.

[7] Lung, D.; Gerschwiler, K.: Auslegung von Fertigungsprozessen unter umweltrelevanten Aspekten. DIF-Seminar: Umweltgerechte Fertigungsverfahren, 1993.

[8] Heisel, U.; Lutz, M.: Kühlschmierstoffe auf dem Prüfstand; Einfluß der Konzentration auf das Bearbeitungsergebnis. In: Produktion (1992) 35, S. 28/29.

[9] Rometsch, E.: Konzeption und Erprobung einer Temperaturmeßeinrichtung für die Zerspanung auf CNC-Drehmaschinen. Unveröffentlichte Untersuchung im Institut für Werkzeugmaschinen; Universität Stuttgart, 1993.

[10] Wassmer, R.: Einflußgrößen auf die Zerspanung und die resultierende Beanspruchung im Fräsprozeß. Vortrag, 1. Karlsruher Kolloquium Fräsen 1992.

[11] Möller, U.J.: Einführung in die Problematik. Vortrag: TAE, Esslingen 1991.

[12] Tönshoff, H.K.; Stanske, C.; Camacho, J.H.: Einfluß des Kühlschmierstoffs bei der Hartbearbeitung. In: VDI-Z, 133 (1991) 3, S. 74 - 84.

[13] Mang, T.: Die Schmierung in der Metallbearbeitung. Würzburg: Vogel-Verlag, 1983.