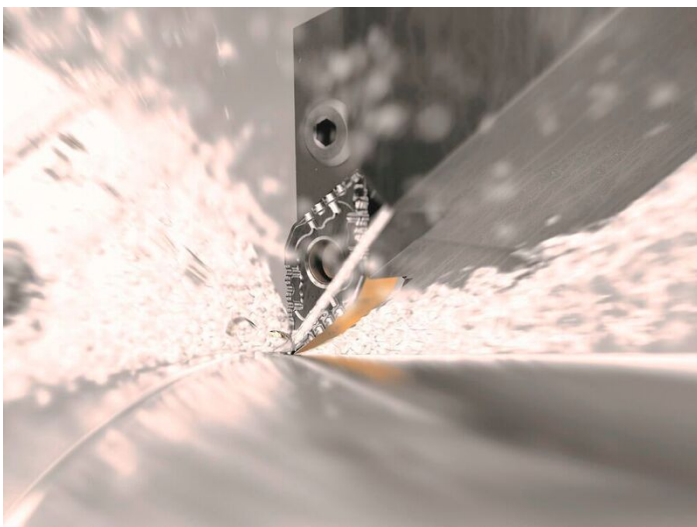


Zerspanungsoptimierung

Kryogene Kühltechnik für Zerspanungsprozesse einfach nachrüsten

15.11.2022 | Von Thomas Götz und Andreas Gebhardt

Forscher aus Stuttgart haben mit der MHT GmbH Merz & Haag eine Nachrüsteinheit entwickelt, mit der die kryogene Kühlung per Kohlendioxid an Bestandsmaschinen relativ einfach nachgerüstet werden kann.



*Um die bei der Zerspanung entstehende Prozesswärme abzuleiten, werden meist flüssige Kühlschmierstoffe (KSS) verwendet. Die haben aber ihre Nachteile, weshalb die kryogene Kühlung naheliegt. Forscher haben dafür jetzt etwas Besonderes geschaffen.
(Bild: Sandvik Coromant)*

vollständig in Wärme umgesetzt wird (Bild 2). Die dabei entstehenden Wärmeströme werden nur zu gut 75 Prozent mit dem Span abgeführt, während die restlichen circa 25 Prozent in das Werkzeug respektive in das Werkstück eingeleitet werden. Diese thermische Belastung führt

Durch den Einsatz von Kohlenstoffdioxid als Kühlmedium kann die Wirtschaftlichkeit im Zerspanungsprozess deutlich verbessert werden. Für die einfache Nachrüstung der kryogenen Kühltechnik in Bestandsmaschinen hat die MHT GmbH Merz & Haag zusammen mit dem Fraunhofer IPA eine Alternative entwickelt und erfolgreich getestet.

Im Zerspanungsprozess unterliegen Werkzeug und Werkstück hohen mechanischen Belastungen, wobei die zur Spanentstehung nötige mechanische Energie in der Scher- und Reibzone fast

einerseits zu einer starken Aufheizung der Werkstücke, die mit einer entsprechenden Ausdehnung derselben verbunden ist. Darüber hinaus verursachen die hohen Temperaturen Verschleißerscheinungen am Zerspanungswerkzeug wie beispielsweise mechanischer Abrieb, Diffusionsvorgänge oder Verzunderungen. Diese Effekte wirken sich negativ auf die Bearbeitungsqualität und Bearbeitungsgenauigkeit der Werkstücke sowie die Standzeit der Zerspanungswerkzeuge aus (Klocke und König 2008; Lang 2012).

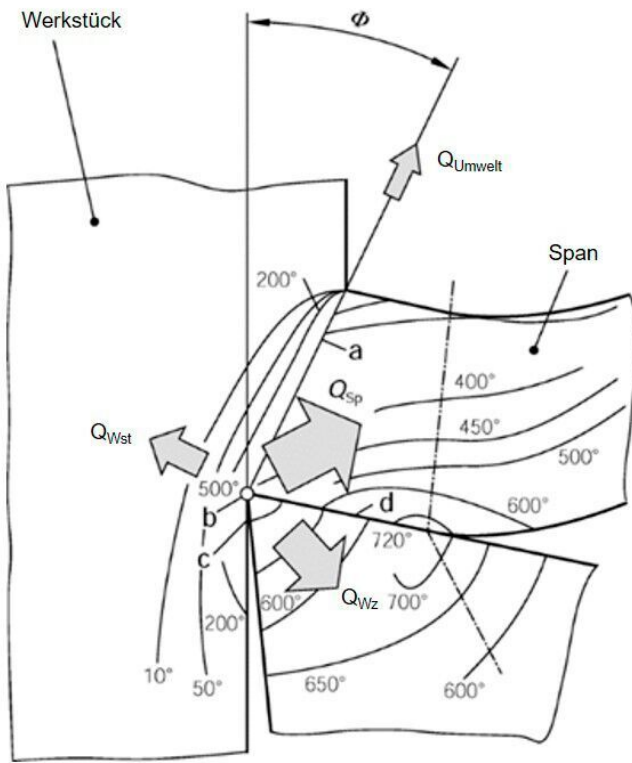


Bild 2: Energieumwandlung und Wärmeentstehung beim Zerspanen (Kühn et al. 2018).
(Bild: Fraunhofer IPA)

Die üblichen Kühlstrategien bei der Zerspanung

Um die Temperaturbelastung im Zerspanungsprozess zu vermeiden respektive zu verringern, werden typischerweise Kühlschmierstoffe (KSS) eingesetzt, die meist als Öl-Wasser-Emulsion vorliegen, wobei Zerspanungswerkzeuge und Werkstück in der Regel mit denselben überflutet werden. Diese als Nasszerspanung bezeichnete Kühlstrategie erlaubt neben einer Abfuhr der Prozesswärme aus der Kontaktstelle Werkzeug-Werkstück auch eine Reduktion von Reibwärme durch Schmierwirkung. Damit tragen Kühlschmierstoffe zu einem hohen Leistungsniveau einer Vielzahl spanender Fertigungsprozesse bei (Lang

2012).

Außer den technischen Vorteilen, die mit dem Einsatz von KSS verbunden sind, stellen sie jedoch eine nicht unerhebliche Gefährdung für Mensch und Umwelt dar. So können Kühlschmierstoff-Bestandteile wie beispielsweise Bakterizide und Fungizide bei Kontakt oder Aspiration Auslöser für Erkrankungen sein. Darüber hinaus führen Leckage- und Ausschleppverluste, Waschwasser oder die Entsorgung verbrauchter Kühlschmierstoffe zu einer Belastung von Boden, Wasser und Luft. Der Gesetzgeber hat deshalb den Umgang und die Entsorgung von Kühlschmierstoffen mit strengen Auflagen geregelt. Für die Unternehmen bedeuten die Einhaltung sowohl eine hohen Verantwortung gegenüber ihren

Mitarbeitern als auch eine hohe finanzielle Belastung – zum Beispiel Entsorgungskosten. (siehe Klocke und König 2008; Koch 2015).

Einen Ansatz, um auf den Einsatz von Kühlschmierstoffen vollständig zu verzichten, stellt die sogenannte Trockenbearbeitung dar, wobei entweder eine eingeschränkte Kühlung durch Luft realisiert, oder auf eine Kühlung vollständig verzichtet wird. Bei der Trockenbearbeitung kommt daher den Beschichtungen der eingesetzten Zerspanungswerkzeuge eine besondere Bedeutung zu, mit deren Hilfe die thermische Belastung der Schneidstoffe reduziert und Adhäsions- und Reibvorgänge zwischen Zerspanwerkzeug und Werkstück verringert werden sollen. Die Nachteile der Trockenbearbeitung liegen unter anderem in einer höheren Wärmeentwicklung im Prozess, welche die Maßhaltigkeit des Bauteils negativ beeinflussen kann und im nicht mehr vorhandenen Späneabtransport durch die Spülwirkung der Kühlschmierstoffe.

Kann auf die schmierende Wirkung von Kühlschmierstoffen nicht vollständig verzichtet werden, empfiehlt sich bei der spanenden Bearbeitung auch die sogenannte Minimalmengenschmierung (MMS). Dabei wird der Zerspanungsstelle ein Aerosol aus Luft und Schmierstoff zugeführt (Lang 2012).

Die kryogene Kühlung bringt Vorteile für die Zerspanung

Als Alternative zu konventionellen Kühlschmierkonzepten bietet sich die kryogene Prozesskühlung an (Bild 3). Bei ihr werden Kühlmedien unter extrem niedrigen Temperaturen eingesetzt. Typische Tieftemperaturmedien sind verflüssigte Gase, wie Wasserstoff (Siedepunkt 20,268 K = -252,882 °C) und Stickstoff (Siedepunkt 77,35 K = -195,80 °C), aber auch Kohlendioxidschnee (Sublimationspunkt 194,5 K = -78,5 °C) (Klocke 2017).



Bild 3: Die üblichen Kühlschmierstrategien für die Zerspanung von Metallen im Überblick (nach Lang 2012). (Bild: Fraunhofer IPA)

Die wesentlichen Nachteile eines Wasserstoff- und Stickstoffeinsatzes bei der Zerspanung liegen in einer aufwendigen Speicher-, Zuführ- und Isoliertechnik. Beispielsweise siedet Flüssigstickstoff unter atmosphärischem Druck, weshalb vakuumisolierte Behälter für die Lagerung eingesetzt werden müssen (Klocke 2017; Awiszus et al. 2020).

Im Vergleich dazu ist Kohlendioxid (CO₂) als Kühlmedium deutlich einfacher zu handhaben, weil CO₂ bei Raumtemperatur und unter hohen Drücken in flüssiger Form vorliegt. Diese Eigenschaft erlaubt es, das flüssige CO₂ auch ohne Isolierung unter einem Druck von 6 Megapascal durch eine Rohrleitung an die Zerspanungsstelle zu führen (Klocke 2017; Awiszus et al. 2020).

Zum Zeitpunkt des Austritts kommt es schlagartig zu einem Druckabfall, der auf das flüssige CO₂ wirkt, sodass es sich zu einem Gemisch aus festen (45 Prozent) und gasförmigen (55 Prozent) Aggregatzuständen entspannt. Die feste Phase des Gemisches wird auch als Trockeneis bezeichnet und hat im Vergleich zur gasförmigen Phase eine deutlich höhere Kühlleistung. (Klocke 2017)

Jetzt Newsletter abonnieren

Verpassen Sie nicht unsere besten Inhalte

Geschäftliche E-Mail

Mit Klick auf „Newsletter abonnieren“ erkläre ich mich mit der Verarbeitung und Nutzung meiner Daten **gemäß Einwilligungserklärung (bitte aufklappen für Details)** einverstanden und akzeptiere die Nutzungsbedingungen. Weitere Informationen finde ich in unserer Datenschutzerklärung.

✓ **Aufklappen für Details zu Ihrer Einwilligung**

Das Kohlendioxid bildet keine gesundheitsschädlichen Dämpfe und Nebel, sodass kein Gesundheitsrisiko für den Bediener besteht. Auch die Reinigung der Werkstücke oder die Entsorgung der Späne gestaltet sich einfach. Denn die Werkstücke bleiben trocken und sind nicht mit Ölen und Fetten verunreinigt, wodurch auf eine Endreinigung derselben weitgehend verzichtet werden kann.

Mögliche Medienzufuhr bei der kryogenen Kühlung

Bei den kryogenen Zuführungsstrategien lässt sich grundsätzlich zwischen der kryogenen Überflutungskühlung und der kryogenen Innenkühlung unterscheiden (Bild 4). Bei der

kryogenen Überflutungskühlung wird die Zerspanungsstelle von außen mit dem kryogenen Kühlmedium überflutet. Zwar ist diese Zuführstrategie einfach in der Umsetzung, jedoch auch mit einigen Nachteilen verbunden. Einerseits erreicht das Kühlmedium die Werkzeugschneide nur unzureichend, andererseits entsteht ein hoher Verbrauch des eingesetzten Kühlmediums.

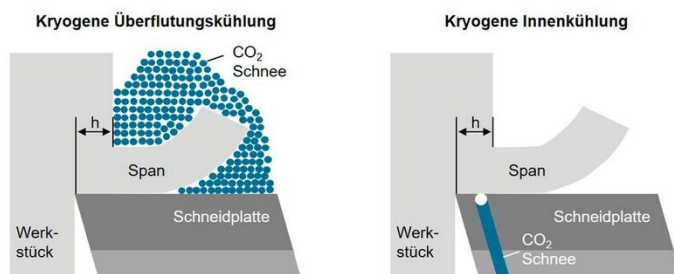


Bild 4: Das sind die Zuführstrategien für die Kühlmedien bei der kryogenen Kühlung im Zerspanungsprozess (nach Lang 2012).

(Bild: Fraunhofer IPA)

Im Vergleich dazu wird mit der kryogenen Innenkühlung eine deutlich größere Kühlleistung erreicht, weil das Kühlmedium unmittelbar an die Zerspanungsstelle geführt wird. Zudem lässt sich mit dieser Zuführstrategie der Verbrauch des Kühlmediums deutlich reduzieren (Lang 2012).

Aktuell am Markt verfügbare Systeme zur kryogenen Innenkühlung nutzen eine sogenannte Drehdurchführung durch die Motorspindel, um das Kühlmedium zum Ort des Geschehens zu leiten. Mit diesem Konzept ist jedoch ein erhöhtes Risiko einer unerwünschten Kühlung von Maschinenkomponenten verbunden, was wiederum zu Ungenauigkeiten in der Fertigung führen kann. Darüber hinaus ist der erforderliche Umbau der Motorspindel aufwendig und teuer (Volz und Abele 2019). Jetzt gibt es eine Alternative, die auf der nächsten Seite vorgestellt wird.

Eine neue Nachrüsteinheit für die kryogene Kühlung

Aufgrund der bestehenden Nachteile einer Kühlmedienzuführung durch die Motorspindel wurde im Rahmen eines gemeinsamen Projektes von der MHT Merz & Haag GmbH und dem Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA die Nutzung des IKZ-Mediumverteilers der MHT GmbH für die kryogene Zerspanung mittels CO₂ untersucht.

Bei dem Mediumverteiler handelt es sich um ein eigenständiges System zur Innenkühlung (IKZ), bestehend aus den Komponenten Spindelanbau, IKM-Ringkörper und IKM-Werkzeugaufnahme (Bild 5). Das System zeichnet sich dadurch aus, dass es sich günstig und ohne großen Aufwand in bestehenden Maschinen nachrüsten lässt.

Im Rahmen des Projektes wurde dann flüssiges CO₂ aus Tauchrohrflaschen mithilfe eines Hochdruckschlauchs über den Spindelanbau bereitgestellt, wobei die Zuführung über ein

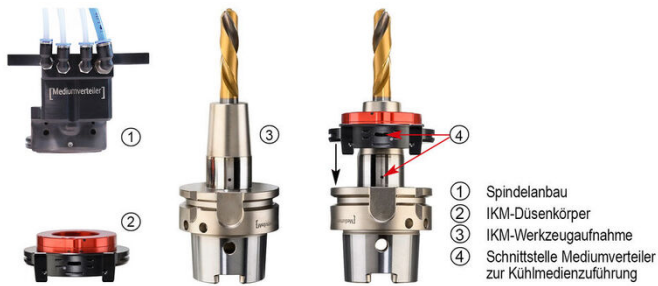


Bild 5: Der neuartige IKM-Medienverteiler, der als Nachrüsteinheit für die kryogene Kühlung an Bestandsmaschinen genutzt werden kann. (Bild: Fraunhofer IPA)

Magnetventil geschah, das unmittelbar vor dem Spindelansatz zwischengeschaltet wurde, und geregelt werden konnte. Sobald das Magnetventil geöffnet wurde, gelang das flüssige CO₂ über die Schnittstellen am Ringkörper und der Werkzeugaufnahme in das innengekühlte Werkzeug und entspannte beim Austritt aus dem Kühlkanal zu CO₂-Schnee.

Für die Betätigung des Magnetventils wurde eine Steuerung entwickelt, durch welche die Zuführung über frei definierbare Maschinenparameter erfolgen kann. Die Maschinenparameter werden dabei von der verwendeten Maschinensteuerung, einer Siemens-CNC des Typs Sinumerik 840d, über einen OPC-UA-Server bereitgestellt, mithilfe des Entwicklungswerkzeugs Node-RED abgefragt und als Triggersignal an eine industrietaugliche, frei programmierbare SPS vom Typ Controllino übertragen. Die SPS öffnet beziehungsweise schließt anhand der Triggersignale das Magnetventil, sodass das flüssige CO₂ der Zerspanungsstelle durch den Kühlkanal des Zerspanungswerkzeugs zugeführt werden kann. Die Steuerung erlaubt es zukünftig, eine drehzahl-, werkzeug- oder werkstoffabhängige Kühlmittelzufuhr zu nutzen.

Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen des gemeinsamen Projektes wurde eine Nachrüsteinheit auf Basis des MHT-Mediumverteils für die kryogene Prozesskühlung entwickelt und erfolgreich getestet.

Weiterer zukünftiger Forschungsbedarf liegt darin, die Auswirkungen des CO₂-Kühlmediums auf die Dichtigkeit an den Schnittstellen über einen längeren Zeitraum hinweg zu beobachten. Daneben sollten weitere umfangreiche Versuche zur kryogenen Zerspanung durchgeführt werden. Hierbei sollte der Fokus vor allem auf der Bewertung von Werkzeugstandzeiten und Oberflächengüten unter Variation von Zerspanungswerkzeugen, Werkstoffen, Eingriffsbreiten, Drehzahlen sowie des CO₂-Volumenstroms liegen. Aus den daraus gewonnen Erkenntnissen soll eine intelligente Steuerung realisiert werden.

Literatur

Awiszus, Birgit; Bast, Jürgen; Hänel, Thomas; Kusch, Mario (Hg.) (2020): Grundlagen der Fertigungstechnik. Carl Hanser Verlag. 7., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage.

München: Hanser (Hanser eLibrary).

Klocke, Fritz (2017): Fertigungsverfahren 1. Zerspanung mit geometrisch bestimmter Schneide. Berlin: Springer Vieweg (VDI-Buch).

Klocke, Fritz; König, Wilfried (2008): Drehen, Fräsen, Bohren. 8., [neu bearb.] Aufl. Berlin: Springer (VDI-Buch, Bd. 1).

Koch, Thomas (2015): Mikrobiologie der Kühlschmierstoffe. 1. Auflage. Tübingen: expert verlag (Reihe Technik). Online verfügbar unter <http://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:24-epflicht-1970406>.

Kühn, Klaus-Dieter; Fritz, Alfred Herbert; Förster, Ralf; Hoffmeister, Hans-Werner (2018): Trennen. In: Alfred Herbert Fritz (Hg.): Fertigungstechnik. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (Springer-Lehrbuch), S. 225–378.

Lang, Heiner (2012): Cryogenic - Zerspanen mit tiefkaltem Stickstoff. Online verfügbar unter <https://www.zukunftsorientierte-zerspanung.de/leistungsspektrum/fachinformationen-detailansicht/cryogenic-zerspanen-mit-tiefkaltem-stickstoff.html>.

Volz, Marcel; Abele, Eberhard (2019): Innovative Chuck with Integrated Rotary Feed-Through for Drilling Process with Application of Cryogenic Cooling. In: Robert Schmitt und Günther Schuh (Hg.): Advances in Production Research. Cham: Springer International Publishing, S. 278–287.

* M. Sc. Thomas Götz und Dipl.-Ing. Andreas Gebhardt forschen am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA in Stuttgart.

(ID:48746257)

KARRIERECHANCEN



Stadtwerke Rosenheim GmbH & Co. KG

Planungsingenieur für Tief- und Rohrleitungsbau (m/w/d)

in Rosenheim (+2 weitere Standorte) | Weiterbildung| Flexible Arbeitszeit| Weihnachtsgeld



Elmar Jung Product Solutions GmbH & Co. KG



Gebietsverkaufsleiter (m/w/d) GaLa

in Eisenach (+12 weitere Standorte) | Weiterbildung



Stürtz Maschinenbau GmbH

Fahrer / Mitarbeiter Lager (m/w/d)

in Neustadt | Jobrad | Betr. Altersvorsorge



Getränke Hoffmann GmbH

Marktleiter (m/w/d)

in Berlin (+2 weitere Standorte) | Jobrad | Weiterbildung | Betr. Altersvorsorge | Getränke



Railpool GmbH

HR Manager (m/w/d)



Energie und Wasser Potsdam GmbH

Senior Systembetreuer (m/w/d) SLP / RLM

in Potsdam | Gesundheitsmaßnahmen