

HPM Technologie GmbH

Abschlussbericht zum Vorhaben

**„Spanende Aluminiumbearbeitung mit Minimalmengenschmierung:
Entwicklung eines innovativen und erstmalig wasserbasierten
High-Tech-Fluids“**

gefördert unter dem Az: 35409/01-21/2 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

erstellt durch

Hanspeter Münzing

Steffen Hoffmann

Januar 2021

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	35409	Referat	21	Fördersumme	124.694 €
Antragstitel	Spanende Aluminiumbearbeitung mit Minimalmengenschmierung: Entwicklung eines innovativen und erstmalig wasserbasierten High-Tech-Fluids				
Stichworte	Minimalmengenschmierung – Aluminium – Fluid – wasserbasiert – Zerspanung				
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)		
12 Monate	29.10.2019	29.10.2020	3		
Zwischenberichte	1				
Bewilligungsempfänger	HPM Technologie GmbH			Tel	+ 49712388039-12
	Paul-Lechler-Straße 21			Fax	+ 49712388039-81
	72581 Dettingen/Erms			Projektleitung Hanspeter Münzing	
				Bearbeiter	
Kooperationspartner	keine				

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Im Bereich der Aluminiumbearbeitung wird in der Praxis nahezu ausschließlich die Überflutungskühlung mit Emulsion eingesetzt. Infolgedessen war die Zielstellung des Vorhabens, ein unter ökologischen Gesichtspunkten unbedenkliches und höchsten Leistungsansprüchen, was insbesondere in der Aluminiumbearbeitung von entscheidender Bedeutung ist, genügendes High-Tech Fluid für die Minimalmengenschmierung zu entwickeln, welches nicht kennzeichnungspflichtig, wasserbasiert und für spanende Verfahren einsetzbar ist.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Das Entwicklungsvorhaben erfolgte für den spezifischen Anwendungsbereich der spanenden Bearbeitung von Aluminium und umfasste die folgenden drei Meilensteine:

Entwicklung unterschiedlicher Fluidrezepturen

(Bewertung unterschiedlicher Einzeladditive, Auswahl geeigneter Einzeladditive, Zusammenstellen unterschiedlicher Fluidrezepturen, Erforschung Synergieeffekte, Wirkzusammenhänge erfassen, Bewertung und Auswahl von Fluid-Rezepturen)

Durchführung von Fluidtests und Untersuchungen

(Ausarbeitung eines Versuchsprotokoll, Aufbau der Testumgebung, Durchführung einfacher Fluidtests u. a. Löslichkeitsüberprüfung, Haltbarkeitstest, Korrosionsprüfung, MMS-Tauglichkeitsuntersuchung u. a. Sprühversuche und Langzeit-Stabilitätstest, Analyse von Störsubstanzen und Wechselwirkungen im Fluid, Analyse und Bewertung der Testergebnisse, iterative Optimierung der Additiv-Zusammensetzung und Konzentration der Fluide-Rezepturen, Bewertung und Auswahl von Fluid-Rezepturen)

Durchführung aufbauender Spanversuche

(Anwendung des Fluids im MMS-System, Durchführung von spezifischen Performance-Tests, Optimierung des Systems, Durchführung von Langzeitprüfversuchen, Korrosionstests, Bohranalysen, Temperaturanalysen etc.)

Ergebnisse und Diskussion

Rückblickend konnten die Zielstellungen des Entwicklungsvorhabens vollumfänglich erfüllt werden. Es konnte erstmals ein wasserbasiertes High-Tech-Fluid im Bereich der MMS, speziell für die anspruchsvolle Aluminiumbearbeitung, entwickelt werden, welches neben einer guten Performance unter ökologischen Gesichtspunkten erhebliche Vorteile bietet. Das Fluid stellt somit im Bereich der MMS-Technik eine ökologische unbedenkliche Alternative zu den herkömmlich eingesetzten Fettalkoholen dar. Die im Projektverlauf aufgetretenen Entwicklungsherausforderungen führten dabei zu hoch innovativen Lösungen und einem erheblichen Erkenntnisgewinn in Bezug auf Schmiermitteltechnik und Aluminium. Aufgrund der aktuell andauernden COVID-19-Pandemie sollen in den kommenden Monaten Anwendungsversuche bei Kunden aus unterschiedlichen Branchen durchgeführt werden, um letzte Optimierungen aus der Praxisanwendung ableiten und durchführen zu können.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Die Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation der Entwicklungsergebnisse soll unter anderem über die eigene Firmenhomepage, Ansprache von Bestandskunden und durch Präsentationen auf Veranstaltungen erfolgen. Das Unternehmen ist aktuell im engen Austausch mit Kunden, die bereits Interesse an dem wasserbasierenden High-Tech Fluid geäußert haben, sodass trotz der Verzögerungen durch die COVID-19-Pandemie eine zeitnahe Markteinführung angestrebt wird.

Fazit

Die definierten Ziele sind mit Abschluss des Vorhabens erfüllt worden. Es konnte ein wasserbasierendes System entwickelt werden, welches bei der spanenden Bearbeitung von Aluminium in der MMS Technik mit einer guten Performance eingesetzt werden kann. Die mit dem Vorhaben einhergehenden Entwicklungsherausforderungen führten zu innovativen Lösungsansätzen, welche im Bereich der Schmiermitteltechnik neue Erkenntnisse lieferten. Die zukünftige Verwertung wird einen erheblichen Beitrag zur Verbreitung und Etablierung der MMS-Technik leisten.

Inhaltsverzeichnis

Projektkennblatt.....	2
Zusammenfassung	5
1 Einleitung	6
2 Stand des Wissens und der Technik.....	7
3 Zielsetzung des Vorhabens.....	9
4 Darstellung der durchgeführten Arbeitsschritte sowie der wichtigsten technischen Erkenntnisse.....	9
5 Bewertung der Vorhabenergebnisse und weiterer Forschungsbedarf	15
6 Darstellung der wirtschaftlichen Verwertbarkeit	16
7 Fazit.....	16

Zusammenfassung

Im Bereich der Aluminiumbearbeitung besteht aktuell die grundlegende ökologische Problematik, dass nahezu ausschließlich auf die Überflutungskühlung mit Emulsionen zurückgegriffen wird. Um die erheblichen Belastungen für Mensch und Umwelt zu minimieren, war es das Ziel des Vorhabens, ein auf den Anwendungsbereich abgestimmtes High-Tech Fluid zu entwickeln, welches in der MMS-Technik eingesetzt werden kann, eine ökologische Alternative zu konventionellen Schmierstoffen (nahezu 100%ige Fettalkohole) darstellt und hohe Oberflächenqualitäten während der Bearbeitung ermöglicht.

Im Verlauf des Entwicklungsvorhabens wurden unterschiedliche Einzeladditive detailliert untersucht und darauf aufbauend Fluidrezepturen entwickelt. Diese wurden anhand von Versuchsreihen (Langzeitstabilitätstest, Temperaturverlaufsmessung, Sprühverhalten etc.) analysiert, bewertet und iterativ optimiert. Aufbauend auf einem erstmals entwickelten wasserbasierenden System konnte u. a. ein Additivpaket auf den Werkstoff Aluminium abgestimmt werden, sodass das High-Tech Fluid in Anwendungsversuchen mit Aluminium (Testreihen umfassten Fräsen, Bohren und Gewindeschneiden) sehr gute Leistungsparameter erzielte. Mit den Entwicklungsergebnissen wurde ein neuer und bedeutsamer Meilenstein hinsichtlich ökologischer Schmierung im Bereich der MMS-Technik erreicht. Vor dem branchenweiten Einsatz sind noch Optimierungen geplant, insbesondere Langzeitversuche bei Kunden, die, aufgrund der Einschränkungen in der Pandemiezeit von COVID-19, aktuell noch nicht durchzuführen waren. Die grundsätzliche ökologische Vorteilhaftigkeit gegenüber konventionellem Schmiermittel als auch die Erreichung sehr guter Leistungsparameter in der zerspanenden Aluminiumbearbeitung haben jedoch die Grundlage für eine zeitnahe Markteinführung geschaffen.

1 Einleitung

Aluminium sowie dessen Legierungen werden aufgrund ihrer spezifischen Eigenschaften, wie z. B. elektrische und thermische Leitfähigkeit und ihrer geringen spezifischen Masse, vielfältig in der metallverarbeitenden Industrie eingesetzt. Bei wärmeintensiven Arbeitsprozessen, z. B. beim Bohren, ist eine sehr gute Kühlung des Bearbeitungsbereichs notwendig, da insbesondere bei Siliziumreichen Aluminiumlegierungen reibungsbedingt ein schneller Temperaturanstieg erfolgt, verbunden mit sehr hohem Verschleiß am Werkzeug. Die Schmelztemperatur ist im Vergleich zu anderen metallischen Werkstoffen bei Aluminium sehr niedrig (zwischen 550°C und 600°C) und bei Erreichen dieser Temperaturen erfolgt ein abrupter Phasenübergang, der, im Gegensatz zu Eisenmetallen, zu einer relativ dünnflüssigen Schmelze führt. Kühlschmierstoffe (KSS) werden daher eingesetzt, um das Werkzeug zu kühlen, die Reibung zwischen Werkstück und Werkzeug zu vermindern, den Verschleiß des Werkzeugs zu begrenzen sowie die Späne abzuführen. Die Bearbeitungsergebnisse sollen dabei verbessert und die Werkzeug-Lebensdauern verlängert werden. Der aktuelle Branchenstandard hierfür ist das Überfluten des Bearbeitungsbereichs mit Kühlflüssigkeit (insbesondere Emulsionen). Hierbei werden erhebliche Mengen benötigt, die anschließend aufwendig aufbereitet und entsorgt werden müssen. Mit Blick auf die damit einhergehenden Umweltbelastungen gewinnt die Minimalmengenschmierung (MMS) mit ihren ökologischen und ökonomischen Vorteilen in den Betrieben zunehmend an Bedeutung. Bei dieser Verlustschmierung mit geringem KSS-Eintrag werden ebenfalls optimale Bearbeitungsergebnisse erzielt. In dem spezifischen und breiten Anwendungsfeld der Aluminiumbearbeitung ist die Entwicklung geeigneter KSS für die umweltentlastende MMS-Technik jedoch noch in den Anfängen. Lediglich in Sonderprojekten und in geringem Umfang in Großserienfertigung im KFZ-Bereich wird die ressourceneffiziente MMS-Technik zum Teil bereits angewendet. Aus diesem Grund hat sich die HPM GmbH als Pionier in der Entwicklung von Fluiden für die MMS-Technik das Ziel gesetzt, erhebliche ökologische Vorteile zu erzielen, indem das Unternehmen erstmals ein innovatives wasserbasierendes High-Tech Fluid mit höchsten ökologischen Standards für die MMS-Technik in der spannenden Aluminiumbearbeitung entwickelt, sodass eine in den Leistungsparametern gleichwertige Alternative zu den am Markt verfügbaren jedoch umweltbedenklichen KSS angeboten werden kann.

2 Stand des Wissens und der Technik

In der MMS-Technik werden für die spanende Aluminiumbearbeitung bislang bevorzugt Fettalkohole (kohlenwasserstoffbasierte KSS) verwendet, die insbesondere in Bezug auf die Oberflächengüte optimale Ergebnisse liefern. Wahrgenommen als äußerst glatte Oberfläche ist dieses Bearbeitungsergebnis von Aluminium in der Industrie zwingend erforderlich. Neben den technischen Vorzügen resultiert aus dem Einsatz der momentan verfügbaren KSS (sowohl Fettalkohole in der MMS-Technik als auch bei dem Überflutungskühlen mit Emulsion) ein erhebliches gesundheitliches Gefahrenpotenzial für Personen in mittelbarer und unmittelbarer Umgebung. Darüber hinaus haben die aktuell weit verbreiteten langkettigen Fettalkohole, im Vergleich zu den in der Vergangenheit eingesetzten und besonders gewässerschädigenden kurzkettigen Fettalkoholen, ebenfalls negative Auswirkungen auf Gewässer. Trotz dieser bedenklichen Tatsachen bieten Wettbewerber, aufgrund der mit Fettalkohol erreichten Bearbeitungsergebnisse auf dem Markt fast ausschließlich Fettalkohole für die Aluminiumbearbeitung an. Daraus ergeben sich mit Blick auf den Energiebedarf, den Ressourceneinsatz sowie die resultierenden gesundheitlichen Risiken erhebliche umweltrelevante Problemstellungen. Diese werden im Folgenden zusammengefasst dargestellt:

- KSS verändern während ihres Einsatzes der Nassbearbeitung durch flüssige und feste Verunreinigungen ihre verfahrenstechnischen Eigenschaften. Dies kann im normalen Betriebsablauf nur bedingt verhindert werden. Fremdöleinträge, beispielsweise durch Leckagen in der Hydraulik oder durch das Anhaften von diversen Ölen auf der Werkstückoberfläche, kontaminieren den KSS und mindern die Qualität. Neben den möglichen flüssigen Verunreinigungen kann ein Eintrag von festen Fremdstoffen (z.B. Späne oder Abrieb) in den KSS-Kreislauf erfolgen.

Als Folge der unterschiedlichen Verunreinigungen im KSS ist beispielsweise die Bildung von gesundheitsgefährdenden Nitrosaminen zu nennen, die durch zum Teil sehr energieintensive, technische Gegenmaßnahmen wie Spanentölung, Werkstückreinigung, Absaugung, Filtration, Zuführung und Standzeitmanagement reduziert werden müssen. Insbesondere bei der Bearbeitung von gehärteten Stählen erfolgt ein nicht geringer Eintrag von Nitriten, die ein rapides Wachstum von Mikroorganismen initiieren. Eine Überwachung bzw. Pflege der Kühlflüssigkeit ist daher vorgeschrieben.

- Die Rückgewinnung und Wiederverwertung der benetzten Späne ist nur durch eine intensive Aufbereitung und Reinigung z. B. Zentrifuge möglich, die den gesamten Prozess sehr energieintensiv gestaltet.
- Die Entsorgung der kontaminierten KSS und der benetzten Späne unterliegen gesetzlichen Regularien und sind in Hinblick auf den Energieaufwand erheblich. Verbrauchte Kühl-

schmierstoffe sind generell als gefährliche Abfälle (Sondermüll) einzustufen. Nach Abfallverzeichnisverordnung (EAKV) werden die KSS den verschiedenen Abfallarten zugeordnet und getrennt gesammelt (KrW-/AbfG).¹

- Inhaltsstoffe von Emulsionen, die bei der Überflutungskühlung verwendet werden, wie beispielsweise Carbamate oder Antioxidantien, aber auch Fettalkohole, die bei MMS eingesetzt werden, können bei direktem und andauerndem Hautkontakt zu einer chronischen Entfettung der Haut führen. Bei empfindlichen Personen kann Fettalkohol bei der Reaktion mit der Talgdrüse zu einer Ausbildung einer Ölakne führen.²
- Fettalkohole bilden sehr stabile Aerosole. Sie entstehen im Rahmen des Bearbeitungsprozesses chemisch oder thermisch, beispielsweise durch Zerstäubung bei schnell rotierenden Teilen (z. B. Drehen und Fräsen) oder durch Cracken und Rückkondensation von verdampften KSS an heißen Oberflächen (z. B. Werkstücke, Werkzeuge und Späne). Die entstandenen stabilen Kühlschmierstoff-Aerosole, -Rauche und -Dämpfe belasten die Umgebungsluft stark und werden von den Mitarbeitern eingeatmet, sodass zahlreiche gesundheitliche Gefahrenpotenziale resultieren. Zusätzlich führt der niedrige Dampfdruck der Wirkstoffe zu einer Benetzung sämtlicher Oberflächen mit Aerosol-Niederschlag (z. B. Anlagen, Filtern, Sensoren), wodurch die verunreinigten Gegenstände umfangreich gereinigt und/oder erneuert werden müssen.
- In der Vergangenheit wurden die verwendeten wasserlöslichen und daher sehr gewässerschädigenden kurzkettigen Fettalkohole³ durch langkettige Fettalkohole als KSS zunehmend ersetzt. Trotz ihrer geringen Wasserlöslichkeit und der raschen Bioabbaubarkeit haben sie dennoch eine chronisch negative Auswirkung auf Gewässer. Das Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie (IME) untersuchte diese chronische Wirkung von langkettigen Fettalkoholen. In der Untersuchung nahm die Toxizität mit steigender Kettenlänge von C10 nach C12 deutlich zu. Es konnte gezeigt werden, dass die langkettigen Fettalkohole eine narkotische Hauptwirkung haben und neben den wasserlöslichen kurzkettigen Fettalkoholen ein Gefährdungspotenzial für Gewässer darstellen.⁴

¹ Umweltbundesamt: Leitfaden zur Anwendung umweltverträglicher Stoffe, 2003

² Dr. Wolfgang Pittermann und Dr. Olaf Munz, Kühlschmierstoffe und Hautschutz, Badenia Verlag und Druckerei GmbH, Karlsruhe, 2003.

³ Umweltbundesamt: Leitfaden zur Anwendung umweltverträglicher Stoffe, 2003

⁴ Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und angewandte Oekologie IME: Fraunhofer IME Jahresbericht – Aquatik SR Fettalkohole, 2005.

3 Zielsetzung des Vorhabens

Aufgrund der vorangegangenen, dargestellten Problemstellung der standardmäßig eingesetzten Bearbeitung mit Emulsionen und Fettalkohol und den daraus resultierenden gesundheitlichen und umweltrelevanten Risiken sollte im Rahmen des Innovationsvorhabens ein hochinnovatives, auf wasserbasierende High-Tech-Schmiermittel für die universelle Bearbeitung aller gängigen Aluminiumlegierungen entwickelt werden, welches eine ökologisch unbedenkliche und zudem gleichwertige Alternative zu den herkömmlich eingesetzten Fettalkoholen darstellen sollte. Mit der Entwicklung sollte der ressourceneffiziente MMS-Ansatz in der unternehmerischen Praxis vorangetrieben werden, indem zum einen die industrielle Anwendung der MMS-Technik in der Aluminiumbearbeitung bestärkt und zum anderen eine Substitutionsmöglichkeit zu herkömmlichen Fettalkohol als MMS-Fluid geschaffen werden soll. Im Rahmen des Entwicklungsprojekts wurde die Zielstellung verfolgt, die bisherigen guten Bearbeitungsergebnisse in der Aluminiumbearbeitung, durch den Einsatz von nahezu 100%igen Fettalkoholen, erstmals durch ein wasserbasiertes (min. 80%iger Wasseranteil) Fluid zu erreichen. Angesichts des Werkstoffes Aluminium sollte das zu entwickelnde Fluid die grundlegend geforderten Leistungsparameter der Temperaturbeständigkeit, des Schmierens, der Sprühfähigkeit, der Haltbarkeit und des rückstandlosen Verdampfens erreichen, sodass mit der Verwendung erstmals glatte Oberflächen erreicht werden, die beispielsweise bei Zylinderinnenflächen in Aluminiumspiegelgehäusen von Otto- und Diesel-Motoren in der Automobilindustrie gefordert sind. Festzuhalten ist, dass bis zu diesem Zeitpunkt kein wasserbasierter Schmierstoff auf dem Markt verfügbar war, der im Bereich der MMS speziell für Aluminium und Aluminiumlegierungen entwickelt wurde und die geforderten Oberflächenqualitäten erreicht. Somit ist kein Fluid am Markt verfügbar, welches keiner Kennzeichnungspflicht unterliegt bzw. ökologisch und gesundheitlich unbedenklich ist und parallel dazu gleichwertige Bearbeitungsergebnisse zu herkömmlichen KSS liefert.

4 Darstellung der durchgeführten Arbeitsschritte sowie der wichtigsten technischen Erkenntnisse

Die Grundlage für die im Entwicklungsprojekt durchgeführten Arbeitsschritte bildeten die bislang gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungswerte im Bereich der MMS-Technik. Bereits in einem abgeschlossenen und von der DBU geförderten Entwicklungsprojekt, in welchem erstmals ein breitbandig einsetzbares, vollständig wasserbasiertes High-Tech-Fluid im Bereich der Minimalmengenschmierung für zerspanende Verfahren entwickelt wurde, zeigte sich bereits eine grundsätzliche Machbarkeit von der Erreichung ökologischer Ansprüche und guter funktionaler Ergebnisse in der spanenden Bearbeitung, insbesondere von Stählen, wengleich die dabei gewonnen

Erkenntnisse, aufgrund der spezifischen Eigenschaften des Werkstoffes Aluminium, nicht auf das Marktsegment der Aluminiumbearbeitung übertragen werden konnten. Durch die resultierenden geringen technischen Leistungsparameter, beispielsweise die geringe Oberflächenqualität, die bei Aluminium erreicht wurde, stellte dieses Fluid keine Alternative zu den am Markt angebotenen Fettalkoholen dar. Um diesen entscheidenden und zunehmend an Bedeutung gewinnenden Anwendungsbereich erschließen zu können, galt es im Rahmen dieses Entwicklungsprojekts erstmals ein wasserbasierendes MMS-Fluid speziell für den Anwendungsbereich Aluminium zu entwickeln, in dem neue Wirkstrukturen und -mechanismen speziell auf den Anwendungsbereich Aluminium abgestimmt sind. Die grundsätzliche Machbarkeit konnte bereits durch Vorversuche belegt werden. Hierbei wurden wässrige Emulsionen bzw. Dispersionen mit unterschiedlichen Wachsen wie Aminwachs, Paraffinwachs und Bienenwachs hergestellt und getestet, da die Überlegung bestand, dass Kohlenwasserstoffe, wie beispielsweise Wachse oder Alkohole, bei der Aluminiumbearbeitung zu glatten Oberflächen führen. Die hergestellten Dispersionen der Reagenzien wiesen zwar eine gute Stabilität auf, die jedoch für eine kommerzielle Vermarktung nicht ausreichend sind. Dennoch bestätigen die gesammelten Ergebnisse die technologische Machbarkeit eines stabilen MMS-Fluids auf Basis einer Microdispersion bzw. Microemulsion.

Aufbauend auf den Vorüberlegungen bestand somit das Ziel des Innovationsprojekts, auf Basis der nachfolgenden aufgeführten Arbeitsschritte, ein vollständig neues System eines MMS-Fluid iterativ zu entwickeln. Die definierten Meilensteine wurden hierbei, wie ursprünglich geplant, erreicht.

Meilenstein 1: Entwicklung unterschiedlicher Fluidrezepturen

- Ableitung und Detaillierung von Anforderungen an die Einzeladditive durch Kennzahlen; Sondierung der am Markt verfügbaren Additive; Evaluation und Selektion der Additive
- Zusammenführung ausgewählter Additive zu unterschiedlichen Rezepturkombinationen (unterschiedliche Konzentrationen und Bestandteile); Erforschung von Synergieeffekte; Wirkzusammenhänge erfassen; Bewertung und Auswahl von Fluid-Rezepturen

Meilenstein 2: Durchführung Fluidtests und Untersuchungen

- Ausarbeitung eines Versuchsprotokolls; Definition der Rahmenbedingungen; Bereitstellung der benötigten Versuchsaapparaturen (Mikroskope, Sprühköpfe etc.); Aufbau der Testumgebung
- Durchführung einfacher Fluidtests u. a. Löslichkeitsüberprüfung, Haltbarkeitstest, Korrosionsprüfung, MMS-Tauglichkeitsuntersuchung u. a. Sprühversuche und Langzeit-Stabilitätstest; Analyse von Störsubstanzen und Wechselwirkungen im Fluid; Analyse und Bewertung der Testergebnisse
- iterative Optimierung der Additiv-Zusammensetzung und Konzentration der Fluide-Rezepturen; Bewertung und Auswahl von Fluid-Rezepturen

Meilenstein 3: Durchführung aufbauender Spanversuche

- Ausarbeitung eines Versuchsprotokolls; Festlegung von Versuchsparametern (z. B. Legierung, Material, Drehzahl); Definition der Rahmenbedingungen (z. B. Festlegung Versuchszahl, Definition der Werkzeuge und Bohrer, Definition der Fluidmenge); Bereitstellung der benötigten Versuchsapparaturen zum Tiefbohren; Aufbau der Testumgebung
- iterative Optimierung der Additiv-Zusammensetzung und Konzentration der Fluide-Rezepturen durch die Ableitung der Testauswertung; Auswahl der bestmöglichen Fluid-Rezeptur; Adaption auf Fräs- und Drehprozesse
- Freigabe der finalen Fluid-Rezeptur; Dokumentation des Lösungskonzepts

Die wesentlichen Entwicklungs Herausforderungen, mit denen sich das Projektteam während der vorangehend beschriebenen Arbeitspakete konfrontiert sah, werden im Nachfolgenden näher beschrieben:

Zu Beginn des Innovationsprojekts wurden unterschiedliche Fluidansätze entwickelt. Hierbei zeigte sich, dass die meisten Rezepturen instabil waren, sodass sich die Dispergierung der Wachse bzw. die Emulgierung der Wachslösungen labortechnisch als schwierig gestalteten. Ein vielversprechender Ansatz stellte ein System mit Bienenwachs, das mit Hilfe von Polyoxyethylene (10) oleyl ether (BRIJTM O10-SS-(RB) von Croda) zuverlässig stabilisiert wurde und mit Zusatz von Monopropylenglykol (MPG) zu leicht opaken fast klaren Flüssigkeiten führte. Die Menge an BRIJTM O10-SS-(RB) (>7 %), das kennzeichnungspflichtig ist, konnte in diesem System nicht in dem Maß reduziert werden, dass eine Kennzeichnung des Endprodukts nicht mehr erforderlich gewesen wäre. Eine wesentliche Herausforderung bestand infolgedessen darin, Stoffe oder Stoffgemische ohne gesundheitliche Relevanz zu ermitteln, die mit ähnlichen Dispergiereigenschaften wie BRIJTM O10-SS-(RB) am Markt erhältlich sind. Alternative Dispergieradditive zu BRIJTM O10-SS-(RB), die zunächst nur auf Eignung zur Flüssigkeitsstabilisierung getestet wurden, waren u. a. Mittel auf Polyacrylat-Basis (BYK-154 und BYK-156 der Fa. Krahn Chemie), Sorbitantrioleat (SPAN™ 85-LQ-(MV) von Croda), Sorbitanstearat. Insgesamt erwies sich kein Dispergieradditiv als zufriedenstellend. Stabile Mikrodispersionen ließen sich mit Wachsen nur über BRIJTM O10-SS-(RB) ohne allzu großen Aufwand herstellen. Ein sehr relevanter Entwicklungsaspekt war in diesem Zusammenhang das Sprühverhalten der untersuchten Dispersionen. Die Fluide mit BRIJTM O10-SS-(RB) und MPG-Zusatz funktionierten zuverlässig. Die Testflüssigkeiten mit den neuen Dispergieradditiven waren mit den Versuchsdüsen zwar sprühbar, führten aber beim Neustart (Unterbrechung eines Sprühvorgangs z. B. über Nacht) regelmäßig zur Blockade der Düse. Die Ursache war die Bildung von Pfropfen in der Düse. Eine geringe Beifügung von BRIJTM O10-SS-(RB) (ca. 1 % bis 2 %) zu diesen Testflüssigkeiten erbrachte Verbesserungen, aber immer noch kein ausrei-

chend zuverlässiges Sprühverhalten. Aus diesem Grund lag der Fokus auf der Herstellung entsprechender Emulsionen, bei denen Paraffin und versuchsweise Terpene als Lösemittel verwendet wurden. Es musste allerdings festgestellt werden, dass das Sprühverhalten nicht wesentlich verbessert werden konnte. Es zeigte sich jedoch, dass Wachsdispersionen mit Wasseranteil von 70% bis 80% gegenüber analogen Emulsionen mit flüssigen Paraffinen (z.B. PIONIER 1410 der Fa. Hansen & Rosenthal KG) und sogar auch gegenüber wässrigen Emulsionen von Fettalkoholen bessere Schmittergebnisse lieferten. Trotz der Tatsache, dass keine adäquaten Ersatzstoffe für BRIJTM O10-SS-(RB) zu diesem Zeitpunkt vorlagen, wurde der Ansatz von Mikro-Emulsionen weiterverfolgt. Diese lassen sich labortechnisch leichter und schneller umsetzen (LNB-Wert) als Dispersionen, wenn geeignete Wachs-Lösemittel zur Verfügung stehen. Bei den Recherchen zeigte sich jedoch, dass keine kennzeichnungsfreien Lösemittel am Markt verfügbar sind, die Wachse bei Raumtemperatur rückstandsfrei auflösen. Terpene, die sich speziell dafür eignen, sind entweder nur in geringen Mengen verfügbar, oft geruchsintensiv und/oder fast ausnahmslos gesundheitsschädlich. Paraffine (auch niedriger Viskosität) eignen sich ebenso wenig, da sich Wachse nur bei Erwärmung darin vollständig lösen und darüber hinaus nach Erkalten Ausfällungen zu beobachten sind.

Nach diesen experimentellen Erfahrungen mit Wachsen wurde iterativ nach Wirkstoffen, die deutlich leichter in der Handhabung waren, gesucht. Lediglich als Wegweiser lag der Fokus hierbei auf kurzkettige Fettalkohole (Ethanol), da diese trotz hohem Dampfdruck bei der spanenden Bearbeitung von Aluminium und dessen Legierungen sehr gute Ergebnisse liefern, besonders in Bezug auf die Oberflächenbeschaffenheit der Bearbeitungsflächen. Ursächlich für die Oberflächenqualität ist höchstwahrscheinlich das während der Bearbeitung an den reaktiven frischen Schnittflächen des Aluminiums entstehende Aluminium-Alkoholat (mit deutlich geringerem Dampfdruck als der reine Alkohol), da bei der Bearbeitung mit reinem Wasser an den Schnittflächen wasserreiches Aluminiumoxidhydrat entsteht, das keinerlei Schmiereigenschaften besitzt und damit die Oberflächenqualität negativ beeinflusst. Dies wurde in durchgeführten Versuchsreihen, bei welchen einem wassermischbaren Alkohol, wie Isopropanol, Wasser kontinuierlich beigemischt wurde, festgestellt. In weiteren Versuchsreihen mit rein wasserlöslichen Schmierstoffkomponenten (spezielle Additive für die Aluminiumbearbeitung wie z.B. Rhodafac ASI 100) im wässrigen Milieu konnte zudem beobachtet werden, dass keine zufriedenstellende Performance erreicht werden konnte. Als wesentliche Problemstellung wurde dabei erkannt, dass die lipophile Phase von Emulsionen bzw. Dispersionen den massiven Zutritt von Wasser auf reaktive frische Schnittstellen hemmt. Diese Erkenntnis führt dazu, dass als Alternative zu Wachsen nur Reagenzien in Frage kommen, die zwar nicht unlöslich (wie Wachse) aber nur in geringem Maß in Wasser mischbar sind und bei Wärmeentwicklung, folglich während der Bearbeitung, die Oberfläche gut benetzen (Netzmittel). Aus einer Vielzahl an Stoffen mit diesen Eigenschaften z.B. unter alkoxylierten Fettalkoholen, konnten nach erheblicher Entwicklungsleistung einige vielversprechende und geeignete Stoffe unter der

Gruppe ethoxilierten/propoxylierten Fettalkoholen ermittelt werden, die jedoch überwiegend kennzeichnungspflichtig waren. Aus diesem Grund wurden daher alle Präparate ausgeschlossen, bei denen Hinweise auf Organschädigungen (Augenschädigungen) bestanden. In sondierenden Tests an Bearbeitungsmaschinen mit vorab unfertigen, nicht sprühbaren Testpräparaten (Auftrag mit Pinsel) fielen zwei Reagenzien besonders auf:

- SYNPERONIC PE/L 64-LQ-(CQ) von Croda
und
- Synative® AC LF 420 von BASF, (Fettalkoholalkoxyolat)

Die herausragenden Eigenschaften waren die besondere Trennfähigkeit zwischen der Aluminiumphase und dem Werkzeug. Es gab anders als bei den übrigen Testsubstanzen schon bei einer Konzentration von ca. 2 % in Wasser bei der Aluminiumbearbeitung kaum Aufschmierungen von Aluminium auf dem Werkzeug und auch keine Anzeichen von Aufbauten. Dieses Kriterium ist grundsätzlich die Voraussetzung für eine gute Performance. Zudem konnte in Labortests festgestellt werden, dass es eine ganze Reihe von wassermischbaren Additiven gibt, die als Lösevermittler fungieren konnten, wie beispielsweise MPG, wassermischbare Ester (Priolube™ 2091-SS-(GD) von Croda) und Phosphorsäureester (Crodaphos 04A-LQ-(MH) von Croda). Dieser Ansatz war insbesondere aus labortechnischer Sicht deutlich aussichtsreicher als der Fluidansatz mit Wachsen (Kennzeichnungspflicht bzw. kein rückstandsfreies Auflösen möglich). Trotz der nur geringfügigen Wasserlöslichkeit von Synative® AC LF 420 von ca. 0,1 g/l gelang es mit Hilfe unterschiedlicher Lösevermittler stabile, nur leicht trübe Flüssigkeiten mit einer Konzentration von bis maximal 4 % Synative® AC LF 420 herzustellen. Bei allen Ansätzen wurde 20 % MPG eingesetzt, das HPM auch bei der Stahlbearbeitung wegen guter Kühleigenschaften verwendet. Die Proben hatten also einen Wassergehalt im Bereich von 75 %. Sprühtests mit Konzentrationsvarianten erbrachten anfänglich noch nicht ganz zufriedenstellende Ergebnisse, die Proben zeigten aber in der Tendenz insgesamt ein deutlich besseres Verhalten als die Wachs-Dispersionen und -Emulsionen. Auch die ersten Bohrversuche mit unterschiedlichen Aluminiumlegierungen erbrachten äußerst gute Performance: Späne klebten nicht am Werkzeug, das Werkzeug hatte nach zahlreichen Bohrungen weder Aufbauten noch Aufschmierungen von Aluminium, es wurde eine gute Oberflächenbeschaffenheit der Schnittflächen erzielt. Die Ergebnisse in der ersten Phase des Projekts wurden somit deutlich übertroffen und im direkten Vergleich zu Fettalkoholen wies das Fluid nur noch geringe Defizite auf. Die weiteren Optimierungen insbesondere im Sprühverhalten erfolgten mit dem Präparat Synative® AC LF 420, da auf dieser Basis mit Abstand die besten Ergebnisse bei der Aluminiumbearbeitung erzielt wurden. Darüber hinaus gehen laut Sicherheitsdatenblatt von diesem Präparat keine gesundheitlichen Gefahren aus, Synative® AC LF 420 hat keinerlei Kennzeichnung.

Im nächsten Schritt galt es, die richtigen Mischungsverhältnisse mit unterschiedlichen Lösevermittlern zu ermitteln, um sowohl langzeitstabile Fluide zu erhalten sowie auch deren Einfluss auf das Sprühverhalten wie auch auf die Performance zu ermitteln. Mit Phosphorsäureester (Cro-daphos 04A-LQ-(MH) neutralisiert mit Triethanolamin) und weiteren wassermischbaren Estern (Priolube™ 2091-SS-(GD)) in Konzentrationsbereichen von 1 % bis 2 % und zusätzlich 20 % MPG konnten stabile, leicht opake Fluide erzeugt werden, die bei Konzentrationen an Synative® AC LF 420 von bis zu 3,5 % gut sprühbar waren und die Düse nicht blockierten. Mit 30 % MPG und 3,5 % Synative® AC LF 420 waren die Flüssigkeiten fast klar. Da Synative® AC LF 420 in MPG löslich ist, entsteht nach Abdampfen des Wassers bei Sprühpausen kein Pfropfen in der Düse. Das Sprühverhalten wurde soweit verbessert, dass ein zuverlässiger Betrieb möglich war. Darauf aufbauend wurden die Mischungen mit 20 % MPG und entsprechende mit 30 % MPG verglichen. Während in den Sprühversuchen die 30 % Probe besser abschnitt, zeigte die 20%ige Probe bei den Bohrversuchen bessere Ergebnisse. Im weiteren Verlauf wurden infolgedessen Rezepturen mit 20 % MPG weiterverfolgt. Beobachtungen konnten zeigen, dass sich die Mischungen mit 20 % MPG und 3,5 % Synative® AC LF 420 nach ein bis zwei Tagen veränderten. Nachdem diese aufklärten und somit die Viskosität geringfügig zunahm, blieb die Flüssigkeit anschließend in ihrer Konsistenz wieder konstant. Dieser Effekt konnte durch die Quellbarkeit von Synative® AC LF 420, das sich fein verteilt nicht ganz vollständig in Lösung befand (die Flüssigkeiten waren leicht opak), erklärt werden. Auf die Sprühqualität und die Performance hatte dies aber keine zu beobachtenden negativen Effekte.

In einem weiteren Entwicklungsschritt wurde zusätzlich speziell für dieses System auf Wasserbasis ein Additivpaket entwickelt, das oxidative Prozesse an Legierungsbestandteilen hemmt. Hierzu wurde im Promillebereich eine Kombination aus wassermischbarem Phosphorsäureester und Benzotriazol eingesetzt, um Fleckenbildung durch Oxidation von Legierungskomponenten wie Mangan zu unterbinden. Somit wurde eine Basis für ein Fluid im Bereich der MMS geschaffen, welches sehr gute Ergebnisse bei der spanenden Bearbeitung von Aluminium liefern konnte.

Für sämtliche Tests im Zuge des Entwicklungsprojekts wurde eine in der Praxis gebräuchliche siliziumreiche Aluminiumlegierung (ALMgSi1) verwendet. Die Tests umfassten Fräsen, Bohren und Gewindeschneiden. Es wurden Hartmetallwerkzeuge bzw. beschichtete HSS Bohrer eingesetzt. Die Schnittdaten orientierten sich nach üblichen Maßstäben. In allen Durchgängen wurde besonderes Augenmerk auf die Temperaturentwicklung sowie die Trennung zwischen Aluminium und Werkzeug gelegt. Nach den Bearbeitungsdurchgängen wurden die Oberflächen sowie die Beschaffenheit der Späne zunächst augenscheinlich überprüft. Als Referenz dienten Bearbeitungsflächen ohne Schmierung und solche mit Fettalkohol. Bemerkenswert war, dass die Bearbeitung ohne Schmierung nach kurzer Zeit (wenige Sekunden) zur Beschädigung des Werkzeugs führte. Besonders überraschend war die sehr gute Performance beim Gewindeschneiden. Die Proben mit 3,5 %

und 4 % Synative® AC LF 420 mit variierenden Lösevermittlerzusätzen unterschieden sich bei den Tests in ihrer Qualität nur geringfügig. Es konnte gezeigt werden, dass Crodaphos 04A-LQ-(MH) und Priolube™ 2091-SS-(GD) auch in höherer Dosierung (2,5 %) die Performance nicht negativ beeinflusst. Die Kühlung war sehr effektiv, das Werkzeug hatte unmittelbar nach der Bearbeitung meist Temperaturen um 40 °C. Ein weiteres Ergebnis war, dass Zusätze von schwefelhaltigen Verbindungen (EP Additive) zwar die Oberflächenqualität weiter verbessert, die Temperatur während der Bearbeitung jedoch deutlich ansteigt.

5 Bewertung der Vorhabenergebnisse und weiterer Forschungsbedarf

Die Zielstellung des Entwicklungsvorhabens war es, erstmals ein hochinnovatives High-Tech-Fluid auf Wasserbasis in der MMS-Technik der Aluminiumbearbeitung zu entwickeln, welches eine umweltschonende und den höchsten Ansprüchen genügende Alternative zu den fettalkoholbasierten KSS darstellt. Das Fluid sollte keine ökotoxikologischen Eigenschaften aufweisen und folglich in der REACH-Verordnung als nicht kennzeichnungspflichtig eingestuft werden und dennoch annähernd vergleichbare Leistungsparameter wie die konventionellen Fettalkohole liefern, sodass durch die Substitution ein wesentlicher ökologischer Mehrwert geschaffen und das gesundheitliche Gefahrenpotenzial für das Maschinenpersonal bedeutend reduzieren werden kann. Es hat sich während der Entwicklung gezeigt, dass der Einsatz von Wachsen in Bezug auf Aluminium und das Anwendungsgebiet, aufgrund der Kennzeichnungspflicht einzelner Bestandteile, nicht den gewünschten Erfolg erbringen konnten. Unter der Gruppe ethoxilierten/propoxylierten Fettalkoholen konnte jedoch ein nicht kennzeichnungspflichtiges Reagenz ermittelt werden, auf dessen Basis erstmals ein auf Aluminium abgestimmtes, wasserbasierendes System entwickelt werden konnte, welches sehr gute Bearbeitungsergebnisse liefert. Im Vergleich zum Stand der Technik wurde durch die Entwicklung des innovativen High-Tech Fluid ein neuer Benchmark geschaffen und zudem ein weiterer, bedeutender Fortschritt in der MMS-Technik erzielt.

Zusammenfassend lässt sich demnach festhalten, dass die ökologischen und technologischen Zielstellungen des Vorhabens vollumfänglich erfüllt wurden und eine gleichwertige Alternative zu den fettalkoholbasierten KSS entwickelt wurde. Nach den jetzigen Erfahrungen dieses wasserbasierenden Systems sind jedoch noch weitere Optimierungen notwendig, insbesondere in Bezug auf die Umsetzung für einen produktionstechnischen Maßstab bedarf es noch weiterer Entwicklungsarbeit. Aktuell werden weiterführende Tests auf den Bestandsanlagen der HPM Technologie GmbH durchgeführt. Geplante Anwendungen bei Bestandskunden waren aufgrund der Pandemie-Situation aktuell noch nicht möglich, sollen jedoch möglichst zeitnah umgesetzt werden.

6 Darstellung der wirtschaftlichen Verwertbarkeit

Mit dem entwickelten hochinnovativen High-Tech-Fluid für die spanende Aluminiumbearbeitung konnte grundsätzlich ein entscheidender Betrag zur Etablierung der MMS-Technik in der Praxis geleistet werden (Mengenreduzierung an Kühlschmierstoffen) und zudem eine umweltschonende Substitutionsmöglichkeit zu umweltbedenklichen Fettalkoholen geschaffen werden. Auf Basis der noch zu erbringenden Optimierungen, die sich aufgrund der COVID-19-Pandemie zeitlich verzögern, soll die Markterschließung zeitnah durch unterschiedliche Kanäle erfolgen. Neben der Ansprache von Bestandskunden soll das innovative Produkt detailliert auf der firmeneigenen Homepage beworben werden und zudem auf diversen zukünftigen Veranstaltungen (z. B. Fachmesse wie AMB, mav Informationsforum) vorgestellt werden. Darüber hinaus ist die HMP Technologie GmbH darauf bedacht, direkt potenzielle Kunden anzusprechen als auch den Multiplikatoreneffekt zu nutzen, um langfristig die Marktakzeptanz des innovativen Fluids sicherzustellen. Aktuell haben bereits Unternehmen aus der Automobil- und Maschinenbaubranche großes Interesse an dem neuartigen Fluid gezeigt, sodass die HPM Technologie GmbH mit einer schnellen Etablierung und Verbreitung des entwickelten High-Tech Fluid im Markt rechnet und somit die daraus resultierende ökologischen Entlastungen für Mensch und Umwelt sukzessiv gesteigert werden kann.

7 Fazit

Die Zielstellung, für die spanende Aluminiumbearbeitung mit Minimalmengenschmierung ein erstmals wasserbasiertes High-Tech Fluid zu entwickeln, wurde vollumfänglich erreicht. Diverse Versuchsreihen haben die gute Performance des innovativen Fluids bestätigt, sodass dieses mit Blick auf die Performance als gleichwertige Alternative zu den aktuell weit verbreiteten umweltbedenklichen Fettalkoholen angesehen werden kann, unter ökologischen Gesichtspunkten jedoch maßgebliche Vorteile gegenüber dem aktuellen Stand der Technik bietet. Durch die erhebliche Entwicklungsleistung ist es gelungen, den herkömmlich eingesetzten, vollständig fettalkoholbasierten KSS auf unter 1 % Fettalkoholanteil zu reduzieren und trotz der Verflüchtigung der Basisflüssigkeit Wasser (min. 80 %) eine ausreichende Schmierwirkung bei der Bearbeitung zu gewährleisten. Somit konnte erstmals die Kombination von Umweltverträglichkeit und die Realisierung hoher Leistungsparameter während der Bearbeitung (obwohl grundsätzlich die Bearbeitung von Aluminium prozesstechnisch eine große Herausforderung darstellt) in einem High-Tech-Fluid umgesetzt werden. Mit der erfolgreichen Realisierung ist somit eine wegweisende Innovation in Bezug auf Basisflüssigkeit und Wirkmechanismen der Additive mit dem Werkstoff Aluminium von der HPM Tech-

nologie GmbH geschaffen worden. Aufgrund des Innovationsgrads und der ökologischen Vorteilhaftigkeit des Vorhabens ist die zukünftige Verwertung der Entwicklungsergebnisse in ein kommerziell vertriebenes Produkt für die HPM Technologie GmbH von entscheidender Bedeutung.