



Energieeffiziente Feinbearbeitung im Maschinenbau

Fahrzeughersteller erprobt Minimalmengenschmierung bei der Feinbearbeitung von Motorbauteilen



Bei der Herstellung von Maschinenbauteilen ist das Schleifen ein Fertigungsschritt mit vergleichsweise geringer Energieeffizienz. Bis zu 90 % der eingesetzten Energie werden als Reibungswärme frei. Zur Kühlung überfluten große Mengen von Schmier- und Kühlmittel die Werkstücke und Werkzeuge. Die Kühlmittelversorgung und die Aufbereitung erfordern einen enormen Aufwand, auch an Energie. Forscher aus Industrie und Wissenschaft haben gemeinsam neue Verfahren entwickelt, die mit minimaler Schmierung signifikante Einsparpotenziale erreichen.

Drehen, Fräsen und Bohren lassen aus einem Rohling ein Maschinenbauteil entstehen. Diese Fertigungsverfahren kommen heute bereits vielfach mit Minimalmengenschmierung zum Serieneinsatz. Eine anschließende Feinbearbeitung des Werkstücks beseitigt letzte Maßabweichungen und Rauigkeiten. Oft ist dabei ein Schleifprozess unverzichtbar, bei dem eine Minimalmengenschmierung im industriellen Maßstab bisher noch nicht eingesetzt werden kann. Stand der Technik ist vielmehr die Überflutungskühlung und -schmierung. Der Aufwand für das Zuführen, Aufbereiten und Kühlen der Kühlschmierstoffe ist erheblich. Der Energieeinsatz hierfür übersteigt den des eigentlichen Schleifprozesses deutlich und kann bis zu 80 % des Gesamtbedarfs bei diesem Arbeitsgang ausmachen.

Am Beispiel einer Nockenwellenfertigung der Volkswagen AG am Standort Salzgitter erprobten die Forscher und Entwickler erstmals einen Produktionsschleifprozess für die Serienfertigung mit Minimalmengenschmierung. Bisher werden hierfür zwischen 5.000 und 7.000 Liter Kühlmittel im Umlauf pro Stunde benötigt. Unrunde Konturen der Werkstücke, große Kontaktlängen im konkaven Flankenbereich, die hohe Härte der induktionsgehärteten Chromstähle und die geforderte Präzision der Bauteile machen den Prozess schon in der Nassbearbeitung recht

Dieses Forschungsprojekt wird gefördert vom:

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi)

anspruchsvoll. Gelingt das Nockenformschleifen mit Minimalmengenschmierung aber, so die Überlegung der Projektpartner, dann sollten sich die Erfolge gut auf andere Bauteile und Bearbeitungsprozesse übertragen lassen. Als realistisches Potenzial wurde zu Projektbeginn eine Halbierung des Energieeinsatzes in diesem Prozessschritt erwartet.

Das Problem der Reibungswärme

Wie ein Messer beim Apfelschälen, schneidet bei Bohr- oder Fräsprozessen eine präzise und scharfe Schneide den Span aus dem Werkstück. Schleifkörner hingegen dringen mit geometrisch unbestimmter Schneide furchend in das Material ein. Sie verursachen neben der Spanbildung elastische und plastische Verformungen, Stauchungen und Verdichtungen. Deshalb übersteigt die beim Schleifen freigesetzte Reibungswärme die von Bohrarbeiten um zwei Zehnerpotenzen, bezogen auf den Materialabtrag. Rechnerisch reicht sie aus, ein Vielfaches des abgetragenen Metalls zum Schmelzen zu bringen. Diese Wärme muss sicher abgeführt werden, denn „Schleißbrand“, eine Veränderung der metallurgischen Struktur durch Überhitzung, sowie in das Werkstück thermisch eingebrachte Zugeigenspannungen könnten das Werkstück unbrauchbar machen. Auch das Schleifwerkzeug kann Schaden leiden.

Von der Überflutung zur Minimalmenge

Das Kühlmittel einer gut ausgelegten Überflutungskühlung führt mehr als die Hälfte der Wärme ab. Ein weiteres Viertel nehmen die Späne mit. Da auch die Schleifscheibe und die Umgebung Wärme aufnehmen, verbleiben weniger als 15 %, die das Werkstück belasten. Zusätzlich sorgt das Kühlmittel für die Spanabfuhr, den Korrosionsschutz und für die Temperierung und Reinigung der Maschine.

Bei Minimalmengenschmierung kann das Schmiermittel all diese Funktionen nicht mehr übernehmen, da der Maschine nur wenige Milliliter pro Stunde zugeführt werden. Die Forscher standen also vor der Aufgabe, Schleifmaschine, Schleifkörper und die Schmierstoffzufuhr so weit zu optimieren, dass nur so viel Reibungswärme entsteht, wie schadlos über das Werkzeug und über die Späne abgeführt werden kann. Ferner galt es, Funkenflug in der Maschine zu verhindern und sicherzustellen, dass die Späne vollständig abgesaugt werden.

Schleifscheibe – der Belag entscheidet

Für die Schleifscheibe ergaben sich damit eine Reihe von teilweise widersprüchlichen Optimierungszielen: Sie sollte sich als standfest bei Wärmebelastung erweisen, Wärme gut abführen und insbesondere möglichst wenig Reibungswärme erzeugen.

Als Schleifmittel diente den Forschern Bornitrid (CBN), das keramisch im Schleifbelag gebunden ist. Zusammengesetzt aus einzelnen Segmenten, klebt der Schleifbelag auf dem stählernen Grundkörper. Bei den ersten Versuchsmustern kam es in der Klebefuge zwischen Belag und Grundkörper zu einem Wärmestau, sodass sich Segmente ablösten. Dieses Problem konnten die Forscher lösen, indem sie den Belag als monolithischen Ring ausführten, das Wärmeaufnahmevermögen des Schleifbelags durch eine keramische Zwischenschicht erhöhten und einen Kleber mit höherer Wärmeleitfähigkeit einsetzten.

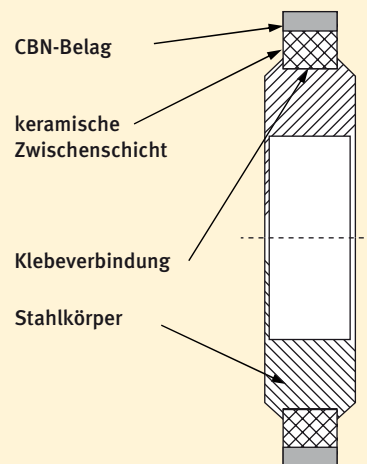
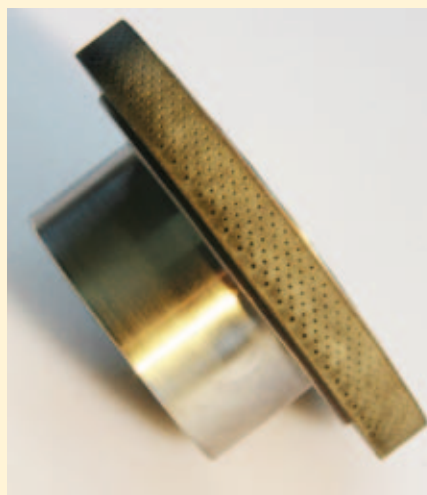


Abb. 1 Schleifscheibe mit mikrostrukturiertem Belag.
Quelle: Fraunhofer IWU

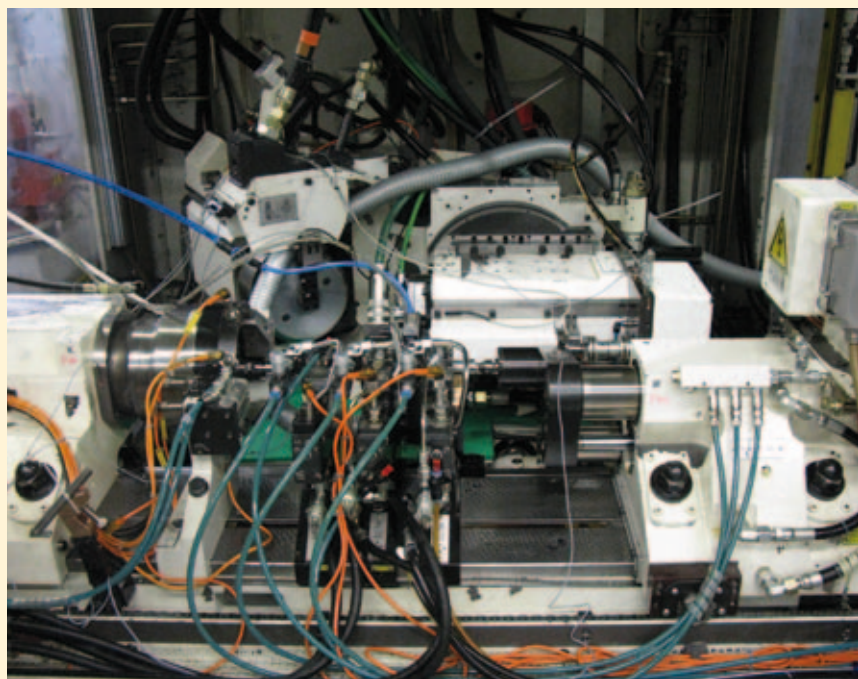


Abb. 2 Versuchsaufbau: Schleifen mit Minimalmengenschmierung.
Quelle: Volkswagen AG

Die Oberflächenstruktur des Belags hat einen starken Einfluß darauf, in welchem Maße sich die Reibungswärme minimieren läßt und wie gut sie abgeführt wird. Poren im Belag befördern zum einen das Kühlschmiermittel und sorgen zum anderen für den Abtransport der heißen Späne. Schnell wurde den Forschern klar, dass sie die notwendige Porosität des Schleifkörpers nur erreichen können, indem sie gezielt Mikrostrukturen erzeugen. Die besten Erfolge erzielten sie mit einer gelaserten Lochstruktur, die eine hohe Porosität bewirkt, den Schleifbelag aber lediglich um 5 % reduziert. Für die Versuche war bewusst ein schneidfreudiger Schleifbelag gewählt worden. Zusätzlich reduzierte die gelaserte Mikrostruktur die Wärmeeinwirkung soweit, dass der Nockenschliff auch im Serientakt ohne thermische Schädigungen möglich sein dürfte.

Geschmiert und gekapselt

Da nur geringe Mengen Schmierstoffe verwendet werden, ist die gezielte und dosierte Zufuhr des Schmierstoffes in den Schleifspalt zwischen



Abb. 3 Dreizylinderwelle roh, Dreizylinderwelle geschliffen und Vierzylinderwelle geschliffen.
Quelle: Volkswagen AG

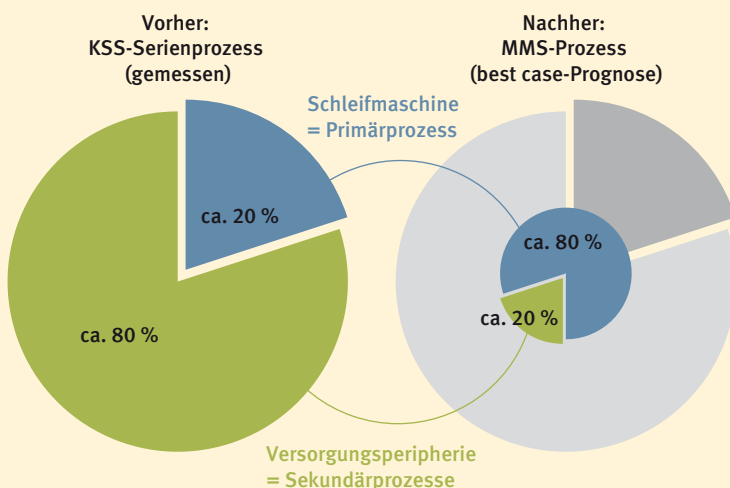


Abb. 4 Energieeinsparung in der best-case Prognose.
Quelle: Volkswagen AG

Schleifscheibe und Werkstück besonders wichtig. Die Wissenschaftler optimierten hierfür ein Zweikanal-Düsensystem, bei dem Druckluft und Schmierstoff getrennt voneinander zugeführt und erst im Düsenkopf gemischt werden. Dadurch war es möglich, beide Volumenströme optimal aufeinander abzustimmen. Eine Haube diente zur Optimierung der Strömungsverhältnisse und verhinderte Gefahren für Mensch und Maschine durch Funkenflug. Eine integrierte Absaugung entfernt die heißen Späne schnell und effektiv aus dem Arbeitsraum.

Testfall: Nockenwellenschleifen

Nach ausgiebigen Tests an Werkstück-Dummys wurde eine serienmäßige Nockenschleifmaschine für Schleifversuche an einer realen Nockenwelle umgerüstet. Neben der Kapselung am Schleifspindelstock, dem Düsenkopf für die Schmierstoffzufuhr und der Absaugereinheit installierten die Wissenschaftler eine umfangreiche Messtechnik. Diese lieferte Prozessdaten, wie Radial- und Tangentialkraft, Temperaturen an Schleifscheibe und Nockenwelle

sowie Wirkleistung der Schleifspindel. Durch Einsatz einer Hochgeschwindigkeitskamera konnten die Strömungsverhältnisse im Inneren der Kapselung im Bereich des Düsenkopfes, des Schleifspaltes sowie der Absaugung beobachtet werden.

Nach dem Schleifvorgang überprüften die Forscher die Qualität der geschliffenen Nocken sowie – über ein zerstörungsfreies magnetisches Messverfahren (Barkhausen-Rauschen) – das Werkstück auf mögliche thermische Schädigungen.

Die Langzeittauglichkeit der beteiligten Prozessbausteine und der Einstellgrößen müssen aber in Standzeitversuchen noch nachgewiesen werden.

Energieeinsparungen und mehr

Allein in der betrachteten Fertigung für Dieselnockenwellen bei Volkswagen in Salzgitter werden ca. 2 Millionen Nockenwellen pro Jahr produziert. Pro Nockenwelle benötigt man für die Ver- und Entsorgung von Kühlschmiermitteln durchschnittlich ca. 2,4 kWh elektrische Energie. Bei einer abgeschätzten Energieeinsparung von 50 % werden somit jährlich ca. 2.400.000 kWh weniger benötigt, das entspricht einer Summe von fast 300.000 Euro. Diese Schätzungen sind durchaus konservativ. In einer „best case“-Prognose können die Energieaufwendungen gegenüber der Überflutungsschmierung auf bis zu 20 % sinken.

In einer Kostenanalyse sind die Einsparungspotenziale der Energiekosten sowie bei Investitionen und Unterhaltung für den Kühlschmierstoff (Beschaffung, Pflege und Entsorgung) erheblich. Dem stehen geringe Mehrkosten (Druckluft und MMS-Öl) der neuen Technologie gegenüber. Die Betriebsmehrkosten der Minimalschmierung für Energie und Kühlschmierstoff fallen mit unter 4 Cent je Nockenwelle nicht ins Gewicht.

Serienfertigung als Ziel

Bis 2018 will Volkswagen zentrale Umweltkennzahlen der Produktion um 25 % gegenüber dem Jahr 2010 verbessern. Zu diesen Kennzahlen gehören u. a. der Energie- und Wasserverbrauch, die Abfallmenge oder die CO₂-Emissionen. Die Umstellung spanender Fertigungsprozesse auf die Trockenbearbeitung oder die Nutzung der Minimalmengenschmierungs-Technik am Standort Salzgitter bilden dabei wichtige Bausteine.

Für viele Bearbeitungsverfahren in der Antriebsstrang-Fertigung konnte dieser Schritt bereits im Großserienmaßstab vollzogen werden. In neuen Fertigungslinien der spanenden Fertigung bei Volkswagen in Salzgitter werden lediglich noch beim Schleifen und Honen Kühlschmierstoffe in größerem Umfang eingesetzt. Die Ergebnisse aus den Untersuchungen zum Nockenformschleifen mit Minimalmengenschmierung bieten jetzt die Chance, einen weiteren weißen Fleck auf der Prozesslandkarte zu füllen.

In Abstimmung mit dem Werkzeugmaschinenhersteller Junker erwägt Volkswagen eine Pilotfertigung unter Serienbedingungen. Dabei werden die Restrisiken für einen Serieneinsatz, z. B. das Langzeitverhalten des Spänetransports aus der Eingriffszone, bewertet und entsprechend angepasste Maschinenkonzepte geprüft. Mit einem solchen Pilotprozess können weitere Erfahrungen unter Serienbedingungen gesammelt werden, bevor entschieden wird, ob die neue Produktionstechnik im Serienmaßstab auf weitere Produkte oder Standorte übertragen werden kann.



Energiekosten im Fokus der Industrie

In Deutschland benötigt die Industrie ca. 25 % des gesamten Endenergieverbrauches. Die in den letzten Jahren stark gestiegenen Energiepreise haben zu einer deutlich wahrnehmbaren Kopplung der Produktionskosten und der CO₂-Emissionen geführt. Bei Volkswagen Salzgitter überstiegen beispielsweise im Jahr 2006 die Aufwendungen für die elektrische Energie bei Zerspanungsprozessen erstmals die Aufwendungen für die Werkzeuge. Dieser Trend setzt sich bis heute fort. Der Fokus der Kostenreduzierung hat sich daher von den Werkzeugkosten zu den Energiekosten verschoben. Das wird in Zukunft einen wesentlichen Einfluss auf die Produkt- und Planungsprämissen der Unternehmen haben.

Das Forschungsprojekt hat gezeigt, dass die Minimalmengenschmierung auch bei Schleifprozessen im industriellen Serientakt möglich ist. Neben dem Nockenformschleifen von Einzelnocken werden vor allem beim Rundschleifen von Getriebewellen weitere Anwendungspotenziale für den Einsatz einer MMS vermutet, vor einer Umsetzung sind jedoch eine individuelle Prüfung und vorherige Versuche erforderlich. In der Aggregateherstellung werden Schleifprozesse auch in der Kurbelwellen-Fertigung eingesetzt. Unter Berücksichtigung der dort vorherrschenden spezifischen Bedingungen ist ein vergleichbar hohes jährliches Einsparpotenzial bezüglich des Energieverbrauchs zu erwarten. Rechnet man dann noch die Kosten für die Prozessmittel Öl bzw. Emulsion hinzu, die heute jährlich anfallen, wird das beträchtliche Einsparpotenzial des Schleifens mit Minimalmengenschmierung allein in dieser Branche deutlich. Um dieses Potenzial zu erschließen, müssen die Ergebnisse auf andere Schleifoperationen übertragen werden. Vorher müssen die in Frage kommenden Schleifprozesse jeweils gründlich auf Ihre Eignung hin individuell analysiert werden. Folgende Faktoren sind dabei als positiv einzuschätzen:

- Hochleistungsschleifprozess mit hohem Zeitspanvolumen,
- keine Nutzung des Kühlschmierstoffes für sekundäre Funktionen neben der Kühlung und Schmierung (z. B. Spitzenloses Schleifen),
- geringe Aufmaße ($\lt 1,0$ mm Durchmesserbezogen),
- Einsatz von keramisch gebundenem CBN als Schleifmittel.

Vor der Übertragung der Ergebnisse auf andere Schleifoperationen sind jedoch eine individuelle Prüfung und vorherige Versuche erforderlich.

Projektorganisation

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi)
11019 Berlin

Projekträger Jülich
Forschungszentrum Jülich GmbH
Steffen Linsmayer
52425 Jülich

Förderkennzeichen
0327839A-D

Impressum

ISSN
0937 - 8367

Herausgeber
FIZ Karlsruhe GmbH · Leibniz-Institut für Informationsinfrastruktur
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

Autor
Dr. Franz Meyer

Titelbild
Volkswagen AG

Urheberrecht
Eine Verwendung von Text und Abbildungen aus dieser Publikation ist nur mit Zustimmung der BINE-Redaktion gestattet. Sprechen Sie uns an.

Projektbeteiligte

- » **Projektkoordination:** Volkswagen AG Salzgitter, Dr. Ulf Harbs, ulf.harbs@volkswagen.de
- » **Schleifwerkzeuge:** Diamant-Gesellschaft TESCH GmbH, Ludwigsburg
- » **Minimalschmierung:** Bielomatik Leuze GmbH, Neuffen
- » **Maschinenkonzept:** Erwin Junker Maschinenfabrik GmbH, Nordrach
- » **Wissenschaftliche Begleitung:** Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU, Chemnitz

Literatur

- » Volkswagen AG, Salzgitter; biolomatik Leuze GmbH u. Co. KG, Neuffen; Diamant Gesellschaft Tesch GmbH, Ludwigsburg; Erwin Junker Maschinenfabrik GmbH, Nordrach (Hrsg.): Energieeffiziente Feinbearbeitung mit geometrisch unbestimmter Schneide und Minimalmengenschmierung. Abschlussbericht. FKZ 0327839A-D. Dez. 2012. 71 S.

Mehr vom BINE Informationsdienst

- » Dieses Projektinfo gibt es auch online und in englischer Sprache unter www.bine.info im Bereich Publikationen/Projektinfos. In der Rubrik „Service“ finden Sie ergänzende Informationen wie weitere Projektadressen und Links.
- » BINE Informationsdienst berichtet aus Projekten der Energieforschung in seinen Broschürenreihen und dem Newsletter. Diese erhalten Sie im kostenlosen Abonnement unter www.bine.info/abo

Kontakt · Info

Fragen zu diesem Projektinfo?
Wir helfen Ihnen weiter:

0228 92379-44

BINE Informationsdienst
Energieforschung für die Praxis
Ein Service von FIZ Karlsruhe

Kaiserstraße 185-197
53113 Bonn
Tel. 0228 92379-0
Fax 0228 92379-29
kontakt@bine.info
www.bine.info

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages