

## SQUISH

ENTWICKLUNG INNOVATIVER WERKZEUG- UND PROZESS-  
TECHNOLOGIEN FÜR DAS MASCHINENINTEGRIERTE  
OBERFLÄCHENFINISH KOMPLEXER 3D-BAUTEILE



### Kontakt

#### Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT

Steinbachstraße 14, 52074 Aachen  
Philipp Ganser  
Telefon +49 241 8904-425  
philipp.ganser@ipt.fraunhofer.de



#### Heinz Schwarz GmbH & Co. KG

Lerchenweg 43, 32361 Preußisch Oldendorf  
Lars Alschner  
Telefon +49 5742 808-151  
lars.alschner@schwarz-werkzeugbau.de



#### Klauke & Meigies Formenbau GmbH

Gielster Stück 6, 58513 Lüdenscheid  
Robert Meigies  
Telefon +49 2351 81796  
robert.meigies@km-formenbau.de



#### Mössner GmbH

Kelterstr. 82, 75179 Pforzheim  
Peter Feuchter  
Telefon +49 7231 41910-0  
peter.feuchter@moessner-gmbh.com



#### ZECHA Hartmetall-Werkzeugfabrikation GmbH

Benzstraße 2, 75203 Königsbach-Stein  
Stefan Zecha  
Telefon +49 7232 3022-10  
stefan.zecha@zecha.de

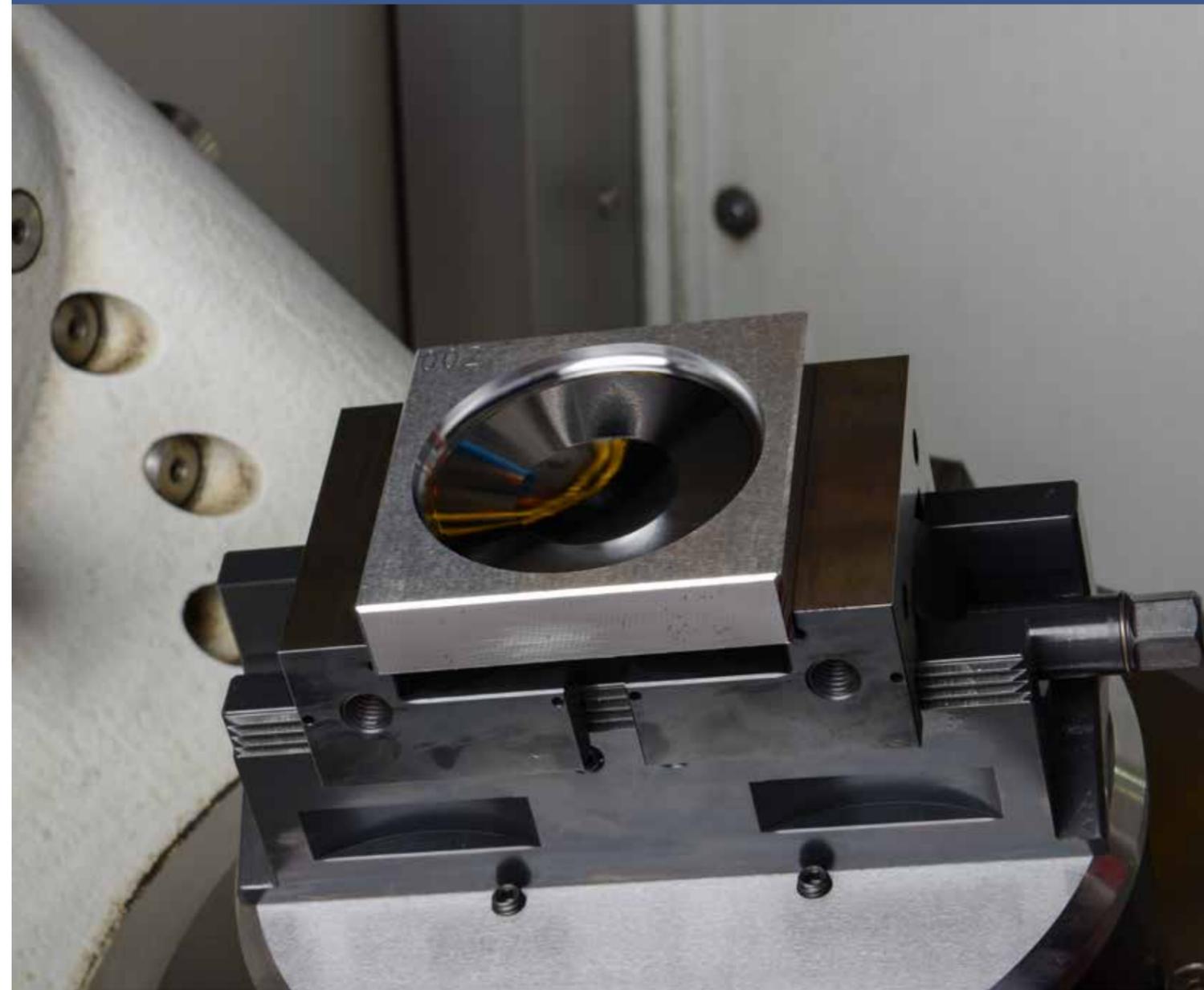


GEFÖRDERT VOM  
Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



BETREUT VOM  
PTKA  
Projektträger Karlsruhe  
Karlsruher Institut für Technologie

Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) in der Fördermaßnahme »KMU-innovativ: Produktionsforschung« (Förderkennzeichen 02P16K614) gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.



Kunden des Werkzeug- und Formenbaus fordern für den Kunststoffspritzguss exzellente, meist polierte Werkzeugoberflächen in kürzester Fertigungszeit, um rasch und zuverlässig höchste Bauteilqualitäten zu erhalten. Besondere Herausforderungen an die Werkzeugfertigung stellen nach wie vor Oberflächenrauheiten mit Rz-Werten  $< 0,5 \mu\text{m}$  dar. Diese können nicht ausschließlich durch Fräs- oder Erodierprozesse erzeugt werden, sondern erfordern eine zusätzliche Nachbearbeitung. Zurzeit sind zur Oberflächennachbearbeitung hauptsächlich manuelle Polierverfahren oder das maschinelle Oberflächenhämmern im Einsatz. Die beiden Verfahren sind jedoch zeit- und kostenintensiv: Das manuelle Polieren ist mit langen Bearbeitungszeiten verbunden, das Oberflächenhämmern erfordert zusätzliche Maschinenaggregate.

#### **Zwei innovative Werkzeugkonzepte für eine verringerte Oberflächenrauheit nach der Fräsbearbeitung**

Im Projekt »SQUISH« entwickelte das Fraunhofer IPT gemeinsam mit Industriepartnern zwei neue Werkzeugkonzepte als Alternative zur herkömmlichen Nachbearbeitung gefräster Bauteiloberflächen. Zum einen wurde ein Diamantdrückwerkzeug, zum anderen ein Hartmetall-Kugelkopfwerkzeug mit stark verrundeter Schneidkante entwickelt und erprobt. Ziel beider Werkzeugkonzepte ist, durch einen zusätzlichen Bearbeitungsschritt die Oberflächenrauheit nach der Fräsbearbeitung derart zu reduzieren, dass sich die Dauer der nachgelagerten Polierbearbeitung deutlich verkürzt. Zudem werden durch den Druckprozess Druckeigenspannungen in die Oberflächenrandzone des Bauteils eingebracht, sodass sich die Verschleißfestigkeit der Werkzeugform im Einsatz erhöht.

Durch den Kontakt der Werkzeuge mit der Bauteiloberfläche werden die Rauheitsspitzen, die während Fräsbearbeitung entstehen, eingeebnet. Bei dem Diamantdrückwerkzeug drückt eine Diamantkugel auf die Bauteiloberfläche. Ähnliche Werkzeugsysteme sind bereits für rotationssymmetrische

Bearbeitungen im Einsatz. Bei dem Hartmetall-Kugelkopfwerkzeug wirkt die große Verrundung der Schneidkante wie ein Drücksteg. Durch den großen Schneidkantenradius erzeugt der Kontakt zwischen Werkzeug und Werkstück keine Spanabnahme. Stattdessen drückt die abgerundete Schneidkante auf die Werkstückoberfläche und ebnet die Rauheitsspitzen ein.

Beide Werkzeugkonzepte können automatisiert auf konventionellen 3- oder 5-Achs-Bearbeitungszentren ohne zusätzliche Maschinenaggregate eingesetzt werden. Die Werkzeugbahnen entsprechen weitestgehend denen der Fräsbearbeitung. Daher ist keine gesonderte Programmierung erforderlich und es entstehen nur geringe zusätzliche Aufwände bei der Arbeitsvorbereitung.

#### **Optimierte Prozessparameter für eine wirtschaftliche Nachbearbeitung**

Untersuchungen am Fraunhofer IPT mit dem Warmarbeitsstahl 1.2343 und dem Gusswerkstoff EN-JS-2070 zeigten, dass sich die Oberflächenrauheit mit den beiden Werkzeugen sowohl in Vorschubrichtung als auch quer zur Vorschubrichtung im Vergleich zur Fräsbearbeitung um mehr als 50 Prozent reduzieren lässt.

Die Oberflächenrauheit quer zur Vorschubrichtung ergibt sich, wie bei der Fräsbearbeitung, auch mit den neuen Werkzeugkonzepten durch den gewählten Bahnabstand. Verringert sich dieser, lässt sich auch die Oberflächenrauheit deutlich reduzieren. Darüber hinaus muss auch der Werkzeugdurchmesser der vorhergehenden Fräsbearbeitung berücksichtigt werden.

Die Aufgabe des Fraunhofer IPT war es, die optimalen Prozessparameter für den Einsatz der innovativen Werkzeugkonzepte zu identifizieren. Neben den geometrischen Prozessparametern wie radialer und axialer Zustellung lag der Fokus auf möglichen Vorschub- und Schnittgeschwindigkeiten. Es galt





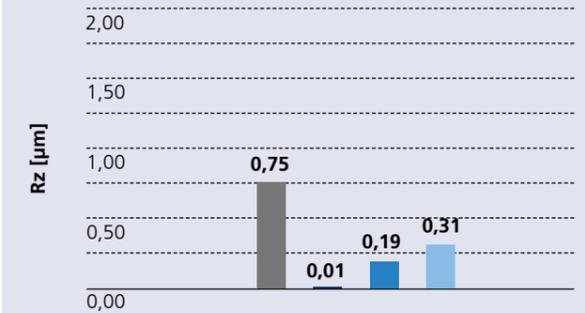
also, maximale Bahnabstände zu ermitteln, um sowohl die Bearbeitungszeit bei der vorgelagerten Fräsbearbeitung zu senken als auch die Dauer der Oberflächenachbearbeitung zu verkürzen. Werden beide Prozessstellgrößen richtig ausgewählt, lassen sich die Oberflächenrauheit deutlich verbessern und die Druckeigenspannungen je nach Erfordernis der späteren Anwendung in der Randzone erhöhen. Basierend auf den Untersuchungen konnte das Fraunhofer IPT den Endanwendern im Forschungsvorhaben ein optimales Prozessparameterfenster für das jeweilige Werkzeugkonzept vorgeben.

Abschließend wurden insbesondere bei dem Hartmetallwerkzeug verschiedene Beschichtungen erprobt, um mögliche Standzeiterhöhungen zu erzielen. Bei dem Diamantwerkzeug wurden verschiedene Diamantsubstrate getestet, um mögliche Einflüsse festzustellen. Jedoch konnten hier aufgrund der extrem hohen Standzeiten keine signifikanten Unterschiede beobachtet werden.

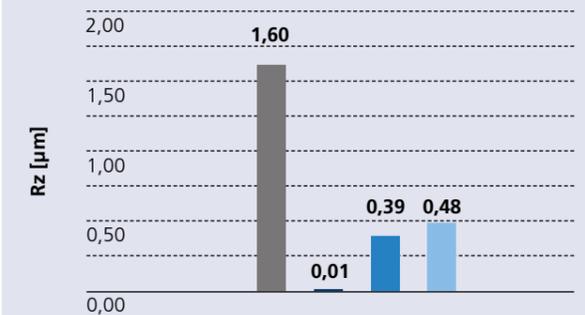
#### Kürzere Fräsbearbeitung und geringerer Polieraufwand

Zwar zeigen sich im Vergleich zu einer polierten Oberfläche aufgrund der Welligkeit nach der Bearbeitung noch Unterschiede bei der Rauheit, jedoch wird durch die beiden neuen Werkzeugkonzepte der bisher übliche Polieraufwand deutlich reduziert. Künftige Prozessketten im Werkzeug- und Formenbau können im Anschluss an die Schlichtfräsbearbeitung auf dem gleichen Bearbeitungszentrum eines der beiden neuen Werkzeugkonzepte nutzen. Dafür müssen lediglich der Bahnabstand sowie die axiale Zustellung in der bestehenden CAM-Bahnplanung angepasst werden. Der zusätzliche Aufwand dafür ist sehr gering – vor allem im Vergleich zu den Einsparungen, die durch kürzere Polier- und Rüstzeiten sowie geringere Investitionskosten im Vorfeld entstehen.

#### Vorschubrichtung



#### Quer zur Vorschubrichtung



- Fräswerkzeug
- Polierwerkzeug
- Diamantdruckwerkzeug
- Hartmetallwerkzeug

Werkstoff: 1.2343 (54 HRC)

Bahnabstand Ausgangsoberfläche:  $a_e = 0,2 \text{ mm}$

Werkzeugdurchmesser:  $D = 4 \text{ mm}$



### Das Diamantwerkzeug

Das Ziel der Versuchsreihe war, die Drehdiamantdrucksysteme zur Bearbeitung in der Fräsmaschine derart weiterzuentwickeln, dass sich gefräste Oberflächen – gesamtflächig oder partiell – in einer Aufspannung auf der Maschine nachbearbeiten lassen. Dazu wurden zunächst die für den Rotations-einsatz notwendigen Rundlaufeigenschaften optimiert – basierend auf bestehenden Diamantgeometrien und Aufnahmesystemen der Werkzeuge. Als Basisgeometrie kamen geschliffene Diamanten mit einem Radius von zwei Millimetern zum Einsatz. Der bisherige Diamant-Bearbeitungswinkel wurde vergrößert, um dreidimensionale Konturen glätten zu können. Der Anpressdruck lässt sich über Federelemente innerhalb einer Aufnahmepinole regeln. Neben der Oberflächenglättung können auch Druckeigen-spannungen in der Werkstückrandzone eingebracht werden. Es wurde nachgewiesen, dass das »SQUISH«-Werkzeug bei NE-Werkstoffen und gängigen Stahllegierungen im Werk-zeug- und Formenbau eingesetzt werden kann.

### Mössner GmbH

Die Mössner GmbH entwickelt seit 1964 Diamantwerkzeuge für verschiedenste Branchen. Das Unternehmen bietet Produktionslinien in den Bereichen Dreh- und Fräsdiamantwerkzeuge, Diamantdrucksysteme sowie Diamantabrichtwerkzeuge für Schleifscheiben. Darüber hinaus ist Mössner auf die Herstellung von Härteprüfer und Messtastdiamanten spezialisiert. Der Schwerpunkt des Unternehmens liegt auf Lösungen im Bereich Hochleistungswerkzeuge.

### Das Hartmetallwerkzeug

Im Zuge des Forschungsvorhabens wurde ein zweischneidiges Hartmetallwerkzeug mit speziell geometrisch gestaltetem Schneidkantenradius hergestellt. Zusätzlich wurde während der Arbeiten ein vierschneidiges Werkzeug entwickelt, das die Wirtschaftlichkeit des Werkzeugkonzeptes steigert. Darüber hinaus sind weitere Gestaltungsformen mit größeren Drück-flächen und weiterführende Nachbehandlungen in Planung. Im Laufe des Projekts entstand ein sehr enger, konstruktiver Austausch mit den teilnehmenden Endanwendern, etwa Herstellern von Schneidstoffen. Darüber hinaus führte das Projektteam zahlreiche intensive Gespräche mit verschiedenen Lieferanten. Auf diese Weise konnte das Team noch mehr über die Bedarfe der Industrie erfahren. Geplant ist zu prüfen, ob das »SQUISH«-Werkzeug auch mit anderen Schneidstof-fen angewendet werden kann, etwa Keramik oder CBN.

### ZECHA Hartmetall-Werkzeugfabrikation GmbH

Die ZECHA Hartmetall-Werkzeugfabrikation GmbH stellt seit über 50 Jahren Hartmetallfräswerkzeuge für die internationa-le Kundschaft her. Der Schwerpunkt liegt in der Herstellung von Vollhartmetall-Fräswerkzeugen mit sehr hohen Genauigkeiten bei Durchmesser, Rundlauf und Radien. Für die Zerspanung von filigranen 3D-Konturen im µm-Bereich aus gehärteten Hochleistungsstählen bis 65 HRC fertigt Zecha hochpräzise Fräswerkzeuge, die für extreme Schnittgeschwin-digkeiten und Verschleißbeständigkeit ausgelegt sind.

### Anwendung der Werkzeugkonzepte bei Blechumformwerkzeugen

In verschiedenen Versuchen wurden neu gefertigte **Blechum-formwerkzeuge** mit »SQUISH«-Werkzeugen mit einem Durch-messer von vier Millimetern bearbeitet. Die neuen Werkzeuge liefen stabil und prozesssicher auf den Maschinen des Projektpartners. Die Oberflächenqualität war hervorragend, und für den Einsatz der Werkzeugkonzepte mussten keine zusätzlichen Werkzeughalter angeschafft werden, da konven-tionelle Werkzeughalter verwendet werden konnten. Auch die CAM-Programmierung der beiden Werkzeugkonzepte ließ sich problemlos in die bestehenden Prozesse integrieren: Während der Versuche lief sie einfach über die vom Partner angeschaffte CAM-Software. Die Anwendungsuntersuchun-gen der beiden Werkzeugkonzepte und des zusätzlichen Prozessschritts konnten eine deutliche Verbesserung der Oberflächenqualitäten der Werkstücke belegen. Es empfiehlt sich bei großen Bauteilen jedoch zumindest eine partielle manuelle Nachbearbeitung, da eine komplette Bearbeitung großer Flächen durch die »SQUISH«-Werkzeugen mit sehr langen Laufzeiten verbunden ist. Im Schnitt konnte jedoch nachgewiesen werden, dass sich die manuellen Abzieharbei-ten durch die Verwendung der »SQUISH«-Werkzeuge um bis zu 70 Prozent reduzieren lassen.

### Heinz Schwarz GmbH & Co. KG

Heinz Schwarz GmbH & Co. KG entwickelt seit über 50 Jah-ren Schneid-, Folgeverbund-, Stufen- und Transferwerkzeuge für Industrien wie Automotive, Nutzfahrzeuge und weiße Ware. Sie berät die Kunden von der Auslegung und Fertigung von Formwerkzeugen bis hin zur finalen Implementierung in die jeweilige Fertigung.

### Anwendung der Werkzeugkonzepte bei Kunststoffspritzgussformen

Die Versuche zeigten, dass sich die »SQUISH«-Werkzeugkon-zepte einfach installieren lassen, da sie aufgrund der Kugel-geometrie analog zu bestehenden Kugelkopffräswerkzeugen eingesetzt werden können. Mit beiden Werkzeugkonzepten ließen sich bei einer Kunststoffspritzgussform keine polierten Oberflächen erzeugen. Da aber eine sehr geringe Rauheit erzielt wird, kann man sie überall dort einsetzen, wo hohe Anforderungen an die Oberflächenqualität gestellt werden, eine Hochglanzpolitur aber nicht notwendig ist. Dies können sowohl Teile des Kunststoffformteils als auch des Werkzeugs sein, in denen eine besonders geringe Rauheit verlangt wird. Da es sich um eine Oberflächennachbearbeitung handelt, welche nach der Fräsbearbeitung eingesetzt wird, müssen bei der Fräsbearbeitung keine Oberflächen mit einer hohen Oberflächenqualität erzielt werden, was insgesamt die Gesamtbearbeitungszeit eines Bauteils reduziert. Sind Hochglanzoberflächen im Werkzeug gefordert, kann eine händische Polierbearbeitung nach heutigem Stand nicht ersetzt werden, jedoch kann die Zeit der Polierbearbeitung auch bei Kunststoffbauteilen deutlich verkürzt werden.

### Klauke & Meigies Formenbau GmbH

Klauke & Meigies Formenbau GmbH ist seit 25 Jahren ein mittelständischer Werkzeugbauer. Das Unternehmen fertigt Werkzeuge unterschiedlichster Größe für schwer entformbare Formteile, Formteile mit Inserts, Medizintechnik, Mehrkompo-nententechnik, Kontaktsysteme und andere technische Artikel sowie optische Formteile mit Hochglanzoberflächen.