















- a) Variabilität des Werkzeugdesigns und somit der lokal auftretenden Lastkollektive,
- b) Zugänglichkeit der aktiven Werkzeugbereiche zur Oberflächenbearbeitung und Funktionalisierung,
- c) Zugänglichkeit der getesteten Oberflächen zur Verschleißcharakterisierung und
- d) Geringe Werkzeugkosten durch mehrfache Verwendung einzelner Segmente

berücksichtigt.

Das Werkzeugkonzept wurde anschließend für verschiedene Werkzeuggeometrien getestet und für zugehörige geschmierte und trockene Fließpressprozesse wurden Kraftkurven und Verschleißbilder ermittelt. Die benötigten Umformkräfte sind im trockenen Zustand aufgrund der höheren Reibungskräfte erheblich größer. Die Werkstückoberflächen sind bei ungeschmierten Prozessen durch Riefen als schlechter zu bewerten und es sind größere Kaltverschweißungen, insbesondere in der Lauffläche der Matrizen festzustellen.

Um die Bearbeitbarkeit hinsichtlich Laserpolier- und Funktionalisierungsprozesse nachzuweisen wurden anschließend Probeteile gefertigt und in den verschiedenen Prozessen bearbeitet.

Dazu zählten zunächst grundlegende Untersuchungen zur Übertragung des Laserpolierverfahrens von 2D- auf 3D-Oberflächen für den Werkstoff 1.2379. Hierbei wurde auf Basis eines Prozessparametersatzes für die Bearbeitung von ebenen Probengeometrien die Laserleistungsanpassung in Abhängigkeit vom Einfallswinkel der Laserstrahlung auf das Werkstück bestimmt und die Bearbeitbarkeit der vorgestellten geschlitzten 3D-Fließpressmatrizen mittels Makrolaserpolierverfahren erfolgreich demonstriert. Die erzielte Rauheit sowie spektrale Rauheitsverteilung auf der Schulter der Fließpressmatrize entspricht hierbei im Rahmen der Messgenauigkeit der Rauheit, die in bisherigen Untersuchungen auf ebenen Werkstückoberflächen erzielt wurde. Im nächsten Schritt wurde überprüft, ob eine neue entwickelte SAM-Abscheidung auf den Oberflächen der Matrizensegmente erfolgen kann. Ein grundsätzlicher Beleg für eine erfolgreiche Funktionalisierung wurde mittels Benetzbarkeitstests erbracht.

In zukünftigen Arbeiten sollen die Bearbeitungsstrategien zur Modifikation der Oberflächen (Laserbearbeitung, Funktionalisierung) erweitert werden, um auch die Flächen in ungeschlitzten Matrizen erreichen zu können. Dazu zählt beispielsweise die Anpassung des Laserpolierverfahrens.

Schließlich werden die demonstrierten Bearbeitungskonzepte hinsichtlich ihres adhäsiven Verschleißverhaltens beim Vollvorwärtsfließpressen von Aluminium charakterisiert.

## Danksagung

Die Autoren danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die finanzielle Unterstützung im Rahmen des Schwerpunktprogramms SPP 1676: „Trockenumformen – Nachhaltige Produktion durch Trockenbearbeitung in der Umformtechnik“.

## Literaturverzeichnis

- [1] F. Vollertsen, F. Schmidt: Dry Metal Forming: Definition, Chances and Challenges. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology* 1/1 (2014) 59-62.
- [2] M. Teller, M. Bambach, G. Hirt: A compression-torsion-wear-test achieving contact pressures of up to eight times the initial flow stress of soft aluminium. *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 64 (2015) 289–292.
- [3] K. Lange, M. Kammerer, K. Pöhlant, J. Schöck: Fließpressen. *Wirtschaftliche Fertigung metallischer Präzisionswerkstücke*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, Berlin (2008).
- [4] I. Ross, A. Temmler, E. Willenborg, R. Poprawe, M. Teller: Investigation of the influence of laser surface modifications on the adhesive wear behavior in dry cold extrusion of aluminum. *Lasers in Manufacturing Conference 2015, München* (2015).
- [5] E. Willenborg, K. Wissenbach, R. Poprawe: Polishing by laser radiation, in: R. Poprawe (Hg.): *Proceedings of the 2nd International WLT-Conference on Lasers in Manufacturing*, AT-Verlag, München (2003) 451–456.
- [6] T. Kiedrowski: Oberflächenstrukturbildung beim Laserstrahlpolieren von Stahlwerkstoffen. *Dissertation, RWTH Aachen, Aachen* (2009).
- [7] R. Ostholt: Laserpolieren metallischer Freiformflächen. *Dissertation, RWTH Aachen, Aachen* (2012).
- [8] E. Willenborg: Polieren von Werkzeugstählen mit Laserstrahlung. *Dissertation, RWTH Aachen, Aachen* (2006).
- [9] A. Temmler, E. Willenborg, K. Wissenbach: Laser Polishing, *Proc. SPIE 8243, Laser Applications in Microelectronic and Optoelectronic Manufacturing (LAMOM) XVII, 82430W* (February 9, 2012); doi:10.1117/12.906001.
- [10] A. Temmler: Selektives Laserpolieren von Design- und Funktionsoberflächen. *Dissertation, RWTH Aachen, Aachen* (2013).
- [11] I. Ross, A. Temmler, R. Poprawe, M. Teller, G. Hirt, S. Prünke: Untersuchung zur Oberflächenmodifikation mittels Laserpolieren für das schmiermittelfreie Kaltfließpressen von Aluminium. *Dry Metal Forming Open Access Journal* 1 (2015) 143–51.
- [12] E. Willenborg: Abschlussbericht zum Projekt POLAR "Polishing with Laser Radiation", *Fraunhofer ILT* (2007).
- [13] J. Flemmer, I. Ross, E. Willenborg, H. Fröba: Machine Tool and CAM-NC Data Chain for Laser Polishing Complex Shaped Parts, *Advanced Engineering Materials* 17, 3 (2015) 260-267, DOI: 10.1002/adem.201400476.
- [14] A. Temmler, I. Roß, M. Cortina, R. Poprawe: Oberflächenfunktionalisierung des Werkstoffs 1.2379+ mittels Randschichtumschmelzen mit Laserstrahlung zur Entwicklung von angepassten Oberflächentopographien für das schmiermittelfreie Kaltfließpressen von Aluminium, *Dry Met. Forming OAJ FMT* 3 (2017) 62-72.
- [15] S. Prünke, D. Music, M. Teller, G. Hirt, P.H. Mutin, G. Ramanaiah, J.M. Schneider, "Decreasing friction during Al cold forming using a nanomolecular layer", *Journal of Vacuum Science and Technology A* 35 (2017) 020605.
- [16] J.D. Smith, R. Dhiman, S. Anand, E. Reza-Garduno, R.E. Cohen, G.H. McKinley, K.K. Varanasi, "Droplet mobility on lubricant-impregnated surfaces", *Soft Matter* 9 (2013) 1772–1780.
- [17] T. Kajiya, F. Schellenberger, P. Papadopoulos, D. Vollmer, H.-J. Butt, "3D Imaging of Water-Drop Condensation on Hydrophobic and Hydrophilic Lubricant-Impregnated Surfaces", *Scientific reports* 6 (2016) 23687.