

DLC-beschichtete Umformwerkzeuge

Thematik

Aufbauend auf ersten Erfahrungen aus dem Kupferrohrzug, ist in der CeWOTec im Rahmen eines FuE-Vorhabens der Einsatz beschichteter Werkzeuge bei weiteren Werkstoffen und in anderen Umformprozessen der Verfahrensgruppe Zugdruckumformen nach DIN 8485 untersucht und getestet worden. Die Anwendungsuntersuchungen umfassten die Eigenschaftsoptimierung einer Kohlenstoffbeschichtung für konkrete Umformvorgänge, die Erprobung beschichteter Werkzeuge im Feld und im Prüflabor sowie die Simulation ausgewählter Umformprozesse mittels FEM-Modellbildung und Berechnung.

Resultate

Die Erprobung beschichteter Werkzeuge in der laufenden Produktion erfüllte die Erwartungen einer deutlichen Standzeiterhöhung. Sehr positiv wurde beim Näpfchenzug außerdem die leichte Abstreifbarkeit der fertigen Formteile vom Werkzeug bewertet, was besonders bei kleinen Näpfchen von Vorteil ist.

Der Einsatz von DLC-beschichteten Werkzeugen ermöglicht eine Minimalmengenschmierung. Dies ist mit entsprechenden Prüfstandsversuchsreihen nachgewiesen worden. Die Versuchsergebnisse zur Trockenumformung sind ebenfalls erfolgversprechend. Hier sind allerdings noch Erprobungen zur Standzeit notwendig.

Mittels numerischen Simulationsrechnungen kann der Einfluss unterschiedlicher Parameter, wie Werkstoffe, Belastungen, Reibverhalten auf die mechanischen Eigenschaften und das Verformungsverhalten beim Umformvorgang analysiert werden. Dies erlaubt sowohl qualitative als auch quantitative Vergleiche verschiedener Varianten untereinander und die Ableitung entsprechender Schlussfolgerungen für die Werkzeugauslegung und den Bearbeitungsvorgang. FEM-Simulationsrechnungen für die Umformverfahren Rohrziehen mit fliegendem Dorn und Tiefziehen zeigen den entscheidenden Einfluss des Reibverhaltens zwischen den Umformwerkzeugen und den umzuformenden Werkstoffen. Dabei ergibt sich beim Einsatz von DLC-Schichten bei der Umformung von Stahl, Aluminium, Kupfer und Messing eine deutliche Reduzierung der Umformkräfte und der plastischen Dehnungen.

Bei Tiefziehprozessen zur Näpfchen- und Becherfertigung (z.B. Batteriegehäuse) wurden beschichtete Werkzeuge zur Umformung von Edelstahl, von vernickeltem und kobaltiertem Kaltband (Hilumin®), Aluminium AlMg2.5 und Aluminium AlMg4.5Mn0.4 eingesetzt.

In der Zugumformung sind die Verarbeitung der Kupfer- und Messinglegierungen E-Cu (Werkstoff-Nr. 2.0060), SE-Cu (Werkstoff-Nr. 2.0070) und CuSn39P3 (Werkstoff-Nr. 2.0401) untersucht worden.

Als Werkzeugwerkstoffe kamen hauptsächlich das Hartmetall HG 20 und der Werkzeugstahl 100MnCrW4 (1.2510) zum Einsatz.

Die abgeschiedenen DLC-Schichten sind amorph und weisen einen mittleren Wasserstoffgehalt von 22,5 Atom-% auf. Der besondere Vorteil von DLC-Schichten ist deren dichte und glatte Oberfläche, wie die REM-Aufnahmen Bild 1 und 2 zeigen:



Bild 1 Bruchfläche einer DLC-beschichteten Hartmetallprobe, V = 3000:1

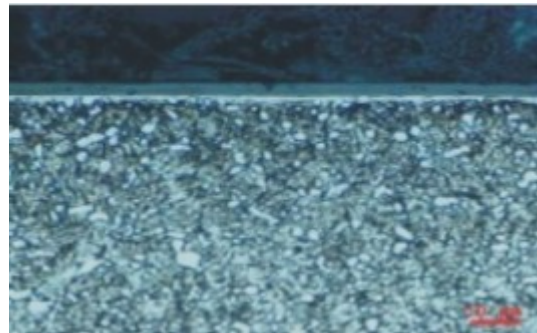


Bild 2 Querschliff einer 3,5 µm dicken DLC-Schicht auf HSS, V = 1000:1

Mit dem Wissen über das Materialverhalten und über die Prozessbedingungen beim Umformen von metallischen Werkstoffen ist es möglich, Umformprozesse mit der FEM-Simulation rechnerisch nachzubilden. Nach der Bestätigung der FEM-Resultate im Referenzexperiment kann der Umformprozess mit der Veränderung der Werkzeuggeometrie, der Werkzeugoberfläche sowie der Prozessführung schnell und kostengünstig optimiert werden.

Bei der Berechnung wird auf vorhandene Daten von plastischen Umformprozessen und auf bei den untersuchten Ziehprozessen experimentell ermittelte Werte zurückgegriffen. Auf diesen Ergebnissen aufbauend, bietet die Simulation darüber hinaus die Möglichkeit, fiktive Geometrien, Umformbedingungen und Reibungsverhältnisse im Sinne einer Optimierung qualitativ und quantitativ zu untersuchen und damit technische Veränderungen vorzubereiten.

Die DLC-Beschichtung der Werkzeuge reduziert die Reibung zwischen Werkstoff und Werkzeug und hat damit einen positiven Einfluss auf den gesamten Umformprozess. Neben anderen erwünschten Effekten sind insbesondere die geringere Werkzeug- und Materialbelastung, ein reduzierter Kraft- und Energiebedarf und die Möglichkeit der Kühl-Schmiermittelreduzierung zu nennen.

Bei den untersuchten Kupfer- und Messing-Rohrziehprozessen ist die Absenkung der notwendigen Zugkräfte am Rohr und die Verringerung der Kontaktreibungskräfte signifikant. Die Bilder 3 und 4 zeigen exemplarisch die Verteilung der Vergleichsspannungen bei einem Messing-Rohrziehprozess mit unbeschichteten und mit beschichteten Werkzeug. Die maximale von-Mises-Vergleichsspannung beim beschichteten Werkzeug ist um ca.7 % niedriger. Die im Rohr verbleibende Verzerrung bei Einsatz DLC-beschichteter Ziehwerkzeuge nimmt um 47 % ab:

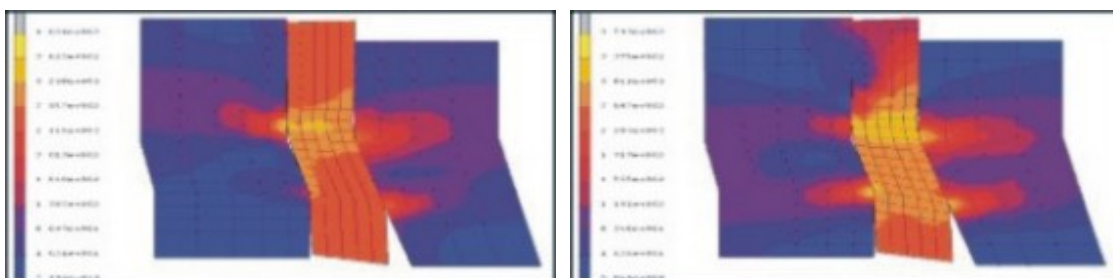


Bild 3 von Mises-Vergleichsspannung,
Werkzeug unbeschichtet

Bild 4 von Mises-Vergleichsspannung,
Werkzeug beschichtet

Der Umformprozess Tiefziehen nach DIN 8584, bei dem ein ebenes Blech zu einem Hohlkörper umgeformt wird, zählt zu den bedeutendsten Verfahren der Massenfertigung. Das Tiefziehwerkzeug besteht aus dem Stempel, einer Matrize und einem Niederhalter.

Kennzeichnend für den Ziehprozess ist die mittelbare Kräfteinleitung über den Stempel. Von dort aus erfolgt die Kräfteverteilung über den Boden und die Zarge des Werkstückes.

Der Arbeitsbereich beim Tiefziehprozess wird durch die Versagensfälle Bodenreißer und Faltenbildung im Flansch begrenzt. Signifikant ist die Reduzierung der plastischen Dehnung des Umformwerkstoffes bei Verwendung beschichteter Werkzeuge.

Wertvolle Erkenntnisse lieferte die Erprobung DLC-beschichteter Stempel in der Stahl- und Aluminiumbecherfertigung unter Produktionsbedingungen. Bei einer Taktzeit von 240 Hüben pro Stunde sind mit 1 bis 1,5 µm dicken Schichten zwischen 1,3 und 9 Millionen Stahlbecher hergestellt worden.

Bestandteil der Arbeiten waren auch Versuche zur Schmiermittelreduzierung:

Der Vergleich von Tiefziehversuchen mit und ohne Schmierung mit dem beschichteten Werkzeug zeigt die bei der Trockenbearbeitung erwartete Einschränkung des Arbeitsbereiches (Bild 7). Der verbleibende Arbeitsbereich ist jedoch immer noch größer als bei Verwendung des unbeschichteten Werkzeuges mit Schmierung. Was schon mit den Simulationsrechnungen nachgewiesen worden ist, wird durch die direkte Messung der Stempelkräfte bestätigt. Die Werkzeugbeschichtung mit reibungsarmen DLC-Schichten ermöglicht eine deutliche Absenkung des Energiebedarfs für den Ziehprozess.

Die Messungen ergaben eindeutig niedrigere Stempelkräfte beim Tiefziehen mit beschichteten Werkzeugen. Die Differenz nimmt mit wachsender Blechhaltekraft zu und beträgt bei $F_N = 19 \text{ kN}$ 7% (Bild 5) und bei $F_N = 37 \text{ kN}$ 11% (Bild 6).

Beim Absenken der Blechhaltekraft auf ein Minimum kann die Stempelkraft weiter reduziert werden. So benötigt das beschichtete Werkzeug in der Trockenbearbeitung bei einer Blechhaltekraft von 19 kN etwa so viel Energie wie das unbeschichtete Werkzeug mit einer Schmiermittelmenge von 1 g/m².

In Bild 8 sind die Ergebnisse von Trockenversuchen mit drei verschiedenen Blechhaltekräften dokumentiert. Bei 13 kN Blechhaltekraft ist nur noch eine maximale Stempelkraft von 27 kN erforderlich. Sie liegt damit weit unter den Stempelkräften, die mit unbeschichtetem Werkzeug und Schmierung benötigt werden.

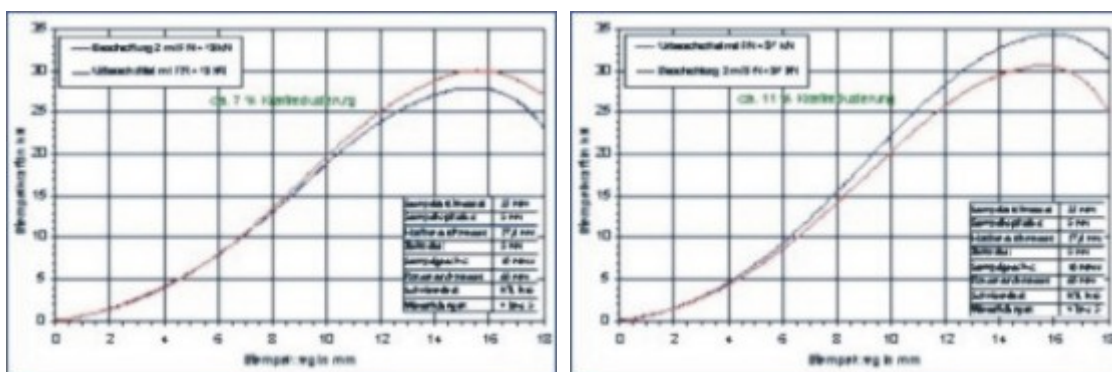


Bild 5 Differenz der benötigten Stempelkraft, be- und unbeschichtetes Werkzeug bei FN = 19 kN

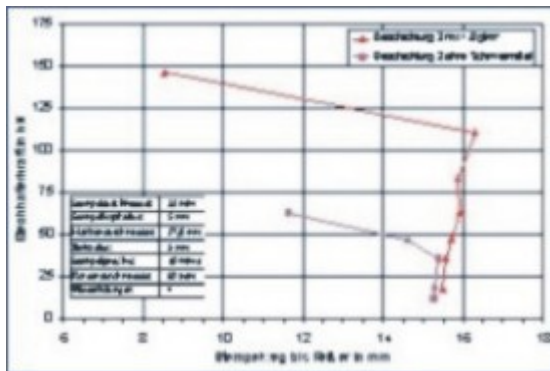


Bild 7 Arbeitsbereich eines DLC-beschichteten Werkzeuges mit und ohne Schmierung

Bild 6 Differenz der benötigten Stempelkraft, be- und unbeschichtetes Werkzeug bei FN = 37 kN

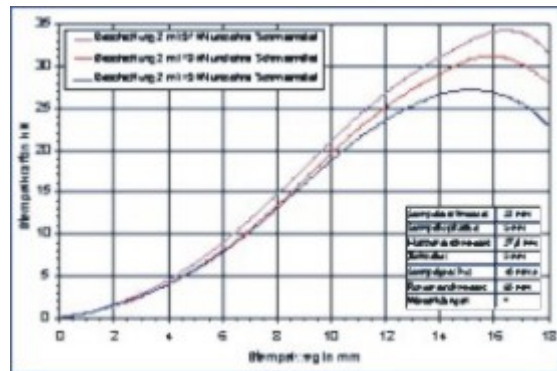


Bild 8 Maximale Stempelkräfte bei unterschiedlichen Blechhaltekräften, beschichtetes Werkzeug ohne Schmierung

Quelle

1. DLC-beschichtete Werkzeuge für die Umformung von Magnesium-, Aluminium-, Kupfer- und Stahlwerkstoffen; technische Realisierung, experimentelle Untersuchungen und Simulation
2. Schlussbericht zum AiF-Forschungsvorhaben 12952 BR, CeWOTec gGmbH, April 2004

Danksagung

Dieses FuE-Vorhaben wurde aus Haushaltsmitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen e.V. (AiF) Köln unter dem Kennzeichen 12952 BR gefördert und von der Forschungsvereinigung Werkzeuge und Werkstoffe e.V. Remscheid betreut. Dafür danken wir.

Ansprechpartner: Dipl.-Ing. J. Scheinplugg

[drucken](#) || [pdf](#) || [zurück](#) || [Cewotec gGmbH](#)