

Tiefe Bohrungen in technische Kunststoffe

Prozessgestaltung für das Einlippentiefbohren von thermoplastischen Hochleistungspolymeren

Das Einlippentiefbohren (ELB) von thermoplastischen Kunststoffen ist Gegenstand aktueller Untersuchungen am Institut für Spanende Fertigung der TU Dortmund. Den niedrigen Schmelz- und Zersetzungstemperaturen dieser Werkstoffe lässt sich beim Tiefbohren mit einer Überflutungsschmierung begegnen. Die Wahl des Kunststoffes und der Schnittdaten ist dabei mit Blick auf die resultierenden mechanischen Werkzeugbelastungen, die Spanbildung und die Bohrungsqualität entscheidend.



Bilder: ISF, Murrfeldt (Mitte)

Kunststoffe gewinnen in unterschiedlichen Industriezweigen wie z. B. der Automobil- und Luftfahrtindustrie sowie dem Förderwesen aufgrund ihrer für viele Anwendungen vorteilhaften Materialeigenschaften zunehmend an Bedeutung. Neben einem niedrigen spezifischen Gewicht besitzen Kunststoffe sehr geringe Schmelztemperaturen und können somit wesentlich energieeffizienter weiterverarbeitet werden als beispielsweise Stahlwerkstoffe. Die Materialeigenschaften der Kunststoffe lassen sich dabei im Herstellprozess durch Zugabe entsprechender Additive und Füllstoffe gezielt beeinflussen.

Im Gegensatz zu Duroplasten besitzen thermoplastische Kunststoffe aufgrund ihrer linearen und verzweigten Makromolekülverbindungen und der Tatsache, dass ihre Zersetzungstemperatur oberhalb der Schmelztemperatur liegt, die Vorteile der Reversibilität und Wieder-

verwertbarkeit. Die Herstellung vieler Produkte aus Thermoplasten, wie z. B. mechanische Elemente oder Spannmittel, erfolgt durch umformtechnische Verfahren [1, 2]. Liegen jedoch erhöhte Anforderungen an die Oberflächenbeschaffenheit sowie die Maß- und Formtoleranzen vor, ist aufgrund des inhomogenen Schwindungsverhaltens eine spanende Bearbeitung oft die bessere Wahl. Zudem sind spanende Fertigungsverfahren bei der Produktion von Bauteilen in geringen Stückzahlen flexibler und wirtschaftlicher in der Anwendung.

Klassische Anwendungen: Förder- und Transportschnecken

In der Vergangenheit wurde die Zerspaltung von thermoplastischen Kunststoffen wissenschaftlich kaum betrachtet, sie bietet daher großes Optimierungspotenzial, insbesondere mit Blick auf Bohr- und

Fräsprozesse. Am Institut für Spanende Fertigung (ISF) der Technischen Universität Dortmund wird aktuell das Tiefbohren thermoplastischer Kunststoffe im Rahmen eines von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Projekts analysiert.

Klassische industrielle Anwendungsbeispiele für das Tiefbohren thermoplastischer Kunststoffe liefern Förder-, Dosier- und Transportschnecken für den Gütertransport im Lagerwesen. Die Kunststoffschnecken werden über eine zentrische Bohrung gelagert und bieten im Vergleich zu Metallkonstruktionen eindeutige Vorteile. Dazu zählen u. a. der leisere Betrieb, das erheblich geringere Gewicht, die längere Lebensdauer sowie das ausgezeichnete Gleitverhalten bei hohen Oberflächenqualitäten, das die Fördergüter schonert [3].

In den experimentellen Untersuchungen dieses Projekts kommen mehrere teil-

kristalline Thermoplaste – ultrahochmolekulares Niederdruck-Polyethylen (PE-UHMW), Polyacetal-Copolymerisat (POM-C) und Polyetheretherketone (PEEK) – sowie das amorphe Polyethylenterephthalat (PET) zum Einsatz (Tabelle 1). Die Tiefbohrbearbeitung stellt aufgrund der geringen Schmelztemperaturen, der Neigung zur Wasseraufnahme sowie der teils sehr hohen Bruchdehnung der Kunststoffe besondere Anforderungen.

Der Einfluss von Bohrvorschub und Schnittgeschwindigkeit

Die Untersuchungen zum Einlippentiefbohren werden exemplarisch mit einem Werkzeugdurchmesser von $d = 12,0 \text{ mm}$ und einem Länge/Durchmesser-Verhältnis von $l/D = 30$ durchgeführt. Dabei kommt ein Tiefbohr-Fräszentrum des Typs TLF1004 (Hersteller: Ixion GmbH + Co. KG, Hamburg) zum Einsatz. Der Prozess wird unter Verwendung einer Anbohrbuchse mit rotierendem Werkzeug und stehendem Werkstück geführt. Das Versuchswerkzeug mit aufgelötetem Bohrkopf weist einen Standardanschiff ($K_{15} = 110^\circ; K_{A5} = 60^\circ$) und eine Gesamtlänge von $l_{WZG} = 700 \text{ mm}$ auf.

Um einer durch die hohe Werkzeuglänge bedingten Durchbiegung des Einlippensbohrers entgegenzuwirken, wird das Werkzeug mit einer Lünette abgestützt. Das thermische Belastungskollektiv auf das Werkstück wird beidseitig an jeweils drei axialen Positionen der Versuchsprobe in einem Abstand von $s = 0,2 \text{ mm}$ zur Bohrungswand mithilfe von Thermoelementen erfasst (Bild 1). Um das thermische Belastungskollektiv auf das Werkstück gering zu halten und einen sicheren Spanabtransport zu gewährleisten, wird kontinuierlich Tiefbohröl mit einer Viskosität von $\nu = 10 \text{ mm}^2/\text{s}$ und einem Druck von $p_{KSS} = 60 \text{ bar}$ zugeführt.

Die Versuche beinhalten im ersten Schritt eine Analyse der Schnittdaten mit Blick darauf, wie Schnittgeschwindigkeit ($v_c = 20 \dots 100 \text{ m/min}$) und Vorschub ($f = 0,01 \dots 0,1 \text{ mm}$) das thermische Belastungskollektiv, die Spanbildung und die Bohrungsqualität beeinflussen. Eine Grafik zeigt die im Prozess gemessenen Maximaltemperaturen an der Bohrungswand für die unterschiedlichen thermoplastischen Kunststoffe POM-C, PET, PE-UHMW und PEEK in Abhängigkeit der eingestellten Schnittdaten (Bild 2).

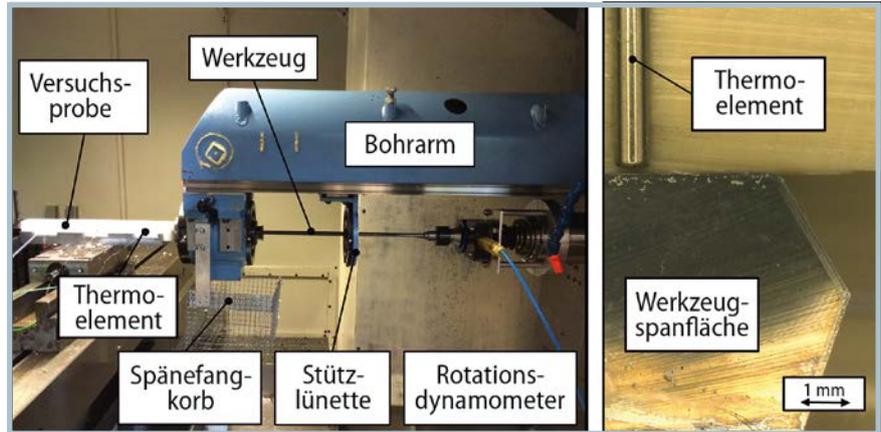


Bild 1. Die Versuche wurden auf einem Tiefbohr-Bearbeitungszentrum durchgeführt. Zur Aufnahme des thermischen Belastungskollektivs werden werkstückseitig Thermoelemente angebracht (Bilder: ISF)

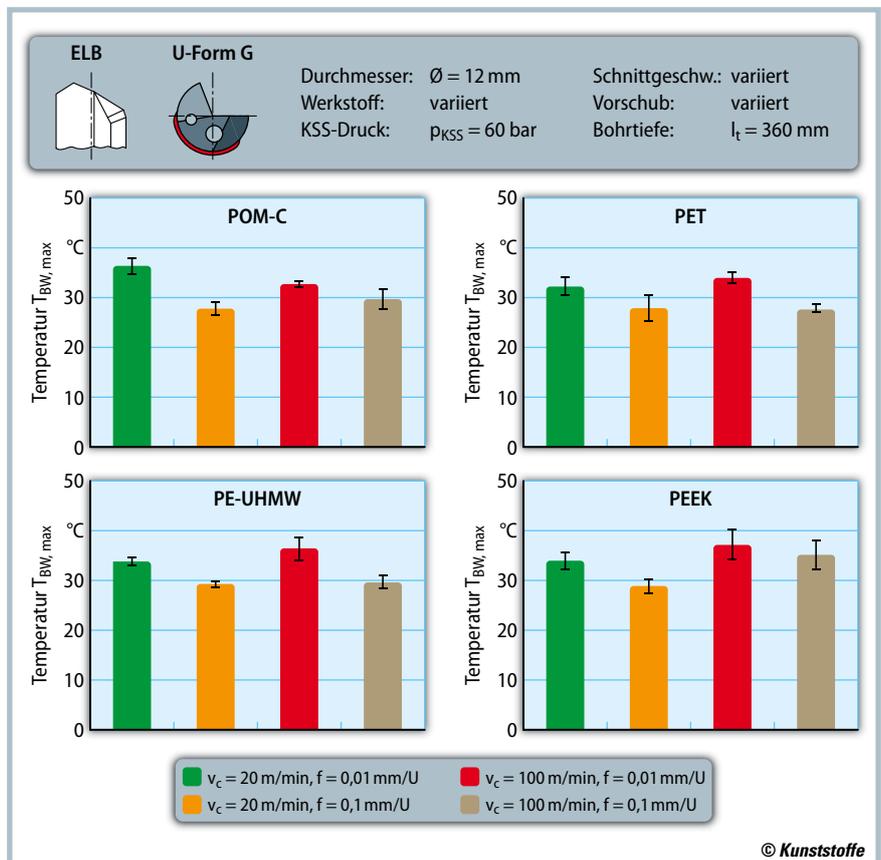


Bild 2. Dem thermischen Belastungskollektiv kommt beim Tiefbohren (ELB) thermoplastischer Kunststoffe durch die geringen Schmelztemperaturen eine große Bedeutung zu. Durch den Einsatz einer Überflutungsschmierung unter hohem KSS-Druck und -Volumenstrom lässt sich dieses sehr gering halten

Die maximalen Werkstücktemperaturen liegen unabhängig vom Kristallinitätsgrad und von den eingestellten Schnittdaten unter $T_{BW,max} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ und somit deutlich unterhalb der kritischen Schmelztemperaturen. Ein deutlicher Unterschied in den gemessenen Maximaltemperaturen lässt sich zwischen den

Thermoplasten nicht feststellen. Im Hinblick auf den Einfluss der Schnittdaten auf das thermische Belastungskollektiv zeigt sich bei den vier unterschiedlichen Thermoplasten die gleiche Tendenz: Ein höherer Bohrvorschub von $f = 0,1 \text{ mm}$ geht aufgrund der geringeren lokalen Kontaktzeiten mit einer niedrigeren Tempera- ➤

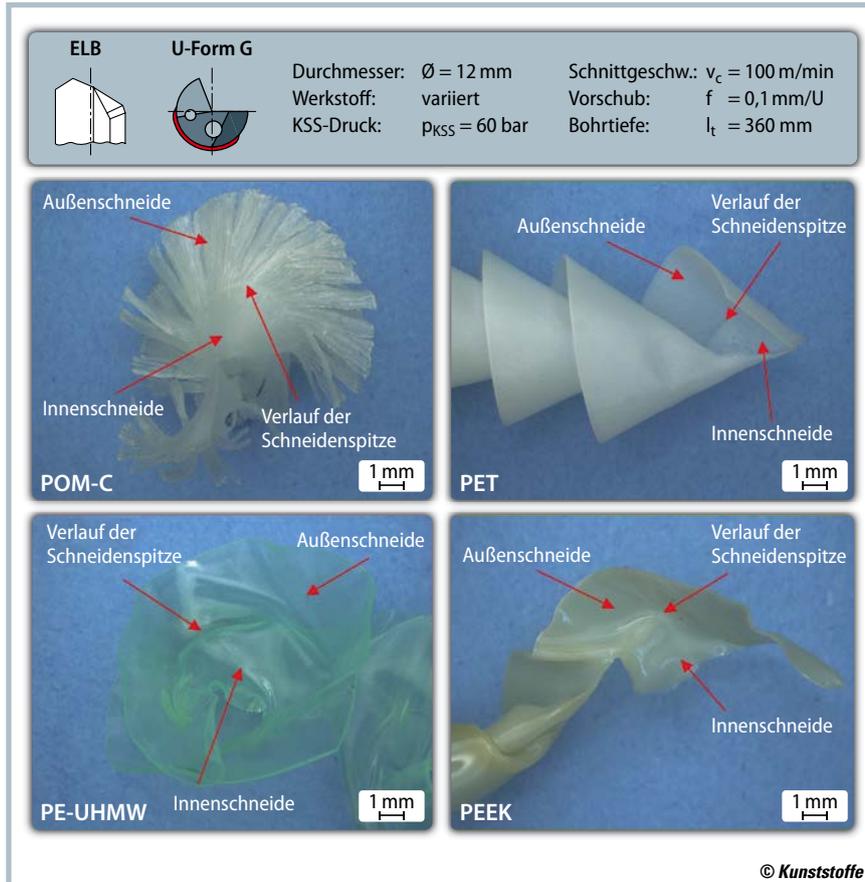


Bild 3. Die unterschiedlichen Materialeigenschaften beeinflussen die Spanformung beim Einlippentiefbohren (ELB) thermoplastischer Kunststoffe deutlich

Die Autoren

Prof. Dr.-Ing. Dirk Biermann ist Leiter des Instituts für Spanende Fertigung (ISF) der TU Dortmund; biermann@isf.de

Dipl. Ing. Marko Kirschner ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Zerspanungstechnologie des ISF der TU Dortmund; kirschner@isf.de

Dank

Die Autoren danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die Förderung des Projekts „Grundlagenuntersuchungen zur Optimierung der Bohrungsgüte beim Einlippentiefbohren von thermoplastischen Polymeren durch Anpassung der Werkzeuggestalt“ (Kennzeichen BI 498/53).

Service

Literatur & Digitalversion

Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/1229746

tur einher. Zudem zieht eine Erhöhung der Schnittgeschwindigkeit einen Anstieg der gemessenen Maximaltemperaturen an der Bohrungswand nach sich.

Ergänzend werden in den Untersuchungen Spanproben entnommen und detailliert betrachtet. Eine Analyse der mit den Parametern $v_c = 100$ m/min und $f = 0,1$ mm erzeugten Spanformen beim Einlippentiefbohren von POM-C, PET, PE-UHMW und PEEK lässt einen einheitlichen Einfluss der Schnittdaten für alle tiefge-

bohrten Thermoplaste erkennen (**Bild 3**). Eine Erhöhung der Schnittgeschwindigkeit und/oder des Vorschubs begünstigt die Entstehung kürzerer Späne, wobei bei gesteigertem Vorschub auch die Spandicke zunimmt.

Keine Spanteilung im Bereich der Schneidenspitze

Die Ausbildung der Spanformen steht im Zusammenhang mit der Bruchdehnung der zerspannten thermoplastischen Kunststoffe. Die extrem hohe Bruchdehnung des PE-UHMW führt zu einer unregelmäßig ausgeformten, folienartigen Spanformung. Hingegen kommt es beim Tiefbohren von PET, das die geringste Bruchdehnung aufweist, zu einer Spiralspanformung.

Bei genauerer Betrachtung der Spanformen ist zu erkennen, dass die Späne entgegen konventioneller Theorien zur Stahlbearbeitung über die gesamte Schneidenlänge entstanden sind [4, 5]. Das Profil der Schneide einschließlich des Verlaufs der Schneidenspitze auf der Spanoberseite lässt sich insbesondere beim Tiefbohren von PET gut erkennen. Die Spanbreite im Bereich der Innen- und der Außenschniede beträgt in etwa ein Viertel des verwendeten Werkzeugdurchmessers. Beim Einlippentiefbohren von thermoplastischen Kunststoffen kommt es bei Verwendung eines Standardanschliffs unter Überflutungsschmierung und den gewählten Schnittdaten zu keiner Spanteilung im Bereich der Schneidenspitze.

Weitere Untersuchungen befassen sich mit dem Einfluss der Thermoplaste auf die Bohrungsqualität. Hierzu werden die Maß- und Formtoleranzen sowie die taktil gemessenen Oberflächengüten in Abhän-

Material		PE-UHMW	POM-C	PEEK	PET
Dichte ρ	[kg/dm ³]	≤0,93	1,41	1,31	1,39
Bruchdehnung A	[%]	380	60	17	15
E-Modul E	[MPa]	700	2800	4300	3500
Kugeldruckhärte	[N/mm ²]	38	140	190	170
Gleitreibungszahl μ		0,1...0,2	0,3	0,2	0,3
Schmelztemperatur T_S	[°C]	130...135	165	340	245
Glasübergangstemperatur T_G	[°C]	-120	-50	143	70
Wärmeleitfähigkeit λ	[W/(K·m)]	0,4	0,31	0,25	0,29

Tabelle 1. Die in den Versuchen eingesetzten thermoplastischen Kunststoffe unterscheiden sich in ihren mechanischen und thermischen Eigenschaften

gigkeit der unterschiedlichen Kunststoffe für eine Schnittgeschwindigkeit $v_c = 100$ m/min und einen Vorschub $f = 0,1$ mm ermittelt (Bild 4).

Im Allgemeinen bedingen Kunststoffe bei der spanenden Bearbeitung größere Maß- und Formtoleranzen als metallische Werkstoffe [6]. Diese Erwartung bestätigt sich, wenn man die Richtwerte für erreichbare Bohrungstoleranzen beim Einlippentiefbohren gemäß Richtlinie VDI 3208 mit den im Rahmen dieser Untersuchungen gemessenen Abweichungen vergleicht [7]. Mit Blick auf die erzielten Durchmesser- und Rundheitsgenauigkeiten sowie die Oberflächengüten erreicht der teilkristalline Thermoplast PE-UHMW die schlechtesten Kennwerte. Dies ist auf die hohe Bruchdehnung und Duktilität zurückzuführen, die sich in einem schlechten Spanbruch ausdrücken.

Zudem schränkt die geringe Festigkeit und Härte des PE-UHMW die Abstützung des Einlippensbohrers über die Wirkelemente am Werkzeugumfang ein. Die aus den anliegenden Schnitt- und Passivkräften im inneren Kraftfluss resultierenden Normalkräfte werden dabei über die Führungsleisten auf die Bohrungswand übertragen und begünstigen eine Stabilisierung des Bohrkopfs sowie eine Einglätung von Rauheitsspitzen und Oberflächendefekten. Das eingeschränkte Stabilitätsverhalten beim Tiefbohren von PE-UHMW erklärt die geringere Bohrungsqualität.

Fazit

Die thermischen Werkstückbelastungen beim Einlippentiefbohren technischer Hochleistungskunststoffe können deutlich unterhalb der kritischen Zersetzung- und Schmelztemperaturen gehalten werden. Der Einsatz einer Überflutungsschmierung unter Zufuhr von Tiefbohröl

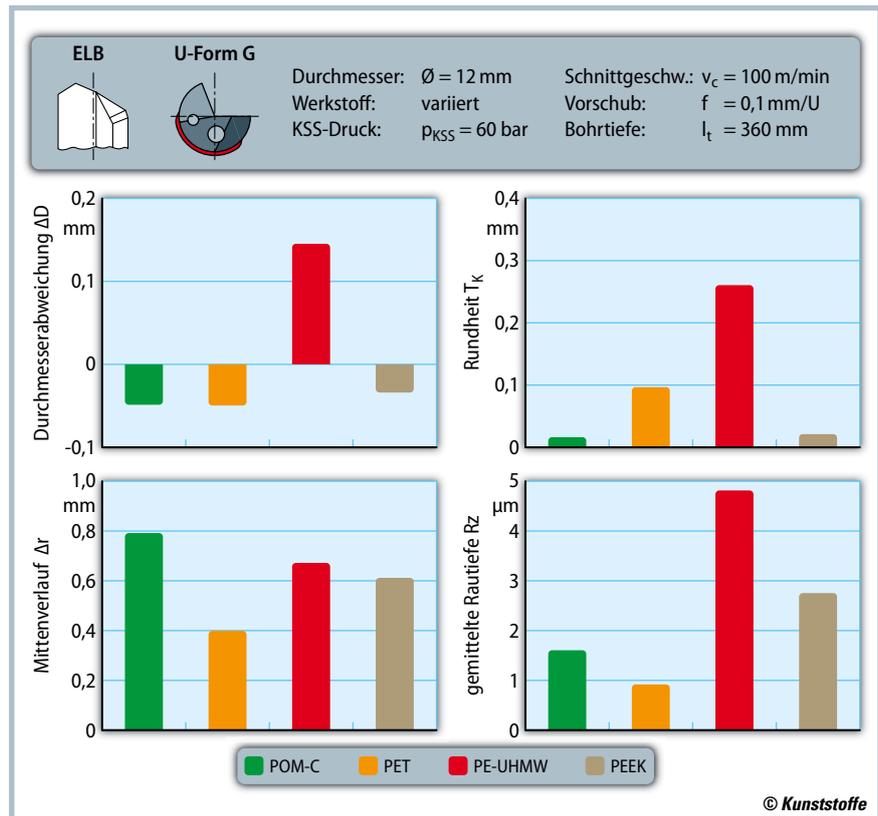


Bild 4. Die untersuchten thermoplastischen Kunststoffe unterscheiden sich in der erzielbaren Bohrungsqualität

mit hohem Druck verringert die Temperaturen im Bereich der Bohrungswand. Die Schnittdaten zeigen keinen signifikanten Einfluss auf das thermische Belastungskollektiv. Bei der Bearbeitung unter Tiefbohröl konnte kein Aufquellen beobachtet werden, wozu diverse Kunststoffe bei der Zerspanung unter Emulsion aufgrund ihrer Neigung zur Feuchtigkeitsaufnahme tendieren.

Die Spanformung hängt stark von den Eigenschaften der gewählten Thermoplaste ab. Eine Spanteilung im Bereich der Schneidenspitze bleibt bei Verwendung eines herkömmlichen Standardschliffs aus, wobei anfallende Späne den-

noch prozesssicher abgeführt werden können.

Mit Blick auf die resultierenden Bohrungsqualitäten lagen bei allen thermoplastischen Kunststoffen erhöhte Mittenverläufe vor. Der Fokus nachfolgender Arbeiten liegt deshalb darauf, den Einfluss der Werkzeuggestalt auf das Bearbeitungsergebnis zu analysieren. In den geplanten Versuchen sollen Umfangsform und Schneidenschliff variiert werden. Zudem soll der Einfluss des Kühlschmierstoffkonzepts genauer betrachtet und der Einsatz einer Minimalmengenschmierung beim Einlippentiefbohren von thermoplastischen Kunststoffen überprüft werden. ■