Titel

Polymerwerkzeuge für die temperierte Trockenumformung von Magnesium- und hochfesten Aluminiumblechen

IGF-Nr.: 01IF22522N

Forschungseinrichtungen

Forschungseinrichtung 1: Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik, Chemnitz (DE, IWU)

Forschungseinrichtung 2: Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik, Braunschweig (DE, IST)

Ansprechpartner bei IWU:

Dipl.-Ing. Serhii Vakulenko
0371 / 5397 1104
serhii.vakulenko@iwu.fraunhofer.de

Ansprechpartner bei IST:

M.Sc. Kai Weigel
0531 / 2155 650
kai.weigel@ist.fraunhofer.de

Danksagungen

Das IGF-Vorhaben 01IF22522N der Forschungsvereinigung Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe e.V. – FGW, Papenberger Straße 49, 42859 Remscheid wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Ausgangssituation

Magnesium- und hochfeste 7xxx-Aluminiumbleche besitzen ein herausragendes Leichtbaupotenzial: Ihre spezifische Steifigkeit übertrifft, die von Stahl um ein Vielfaches und das Bauteilgewicht lässt sich gegenüber klassischen Werkstoffen um bis zu 40 % (Al-Legierungen) bzw. 78 % (Mg-Legierungen) reduzieren. Getrieben von strengeren Emissionsvorgaben, knapper werdenden fossilen Ressourcen und dem allgemeinen Trend zu ressourcen- und energiesparender Mobilität richten sich Forschung und Industrie daher zunehmend auf diese Werkstoffklassen aus.

Die Umformung dieser Legierungen ist jedoch noch mit erheblichen Hürden verbunden: Aluminium weist bei Temperaturen ab etwa 200 °C eine starke Adhäsion zu konventionellen Werkzeugstählen auf und Magnesium erfordert wegen seiner hexagonalen Gitterstruktur sogar Halbwarmumformprozesse oberhalb von 225 °C. Konventionelle Gegenmaßnahmen wie Schmiermittel, Ziehfolien oder Hartstoffbeschichtungen führen zu Reinigungsaufwand, Temperaturereinbußen oder nur begrenzter Verschleißreduzierung und schränken somit die Wirtschaftlichkeit ein.

Thermostabile Hochleistungs-Polymere wie tribologisch modifiziertes PEEK bieten hier einen alternativen Ansatz: Dank geringer Oberflächenspannung, niedriger Wärmeleitfähigkeit und guter Temperaturbeständigkeit könnten Polymerwerkzeuge oder -einsätze die Reib- und Adhäsionsneigung perspektivisch signifikant reduzieren. Damit ermöglichen sie eine schmiermittelfreie, (halb-)warme Blechumformung, die sowohl die Bauteilqualität erhöht als auch Prozessschritte (Schmierstoffauftrag, Reinigung, Werkzeugtemperierung) einspart. So lässt sich das bislang nur partiell erschlossene Leichtbaupotenzial von Magnesium- und 7xxx-Aluminiumlegierungen deutlich besser nutzen – speziell für kleine und mittlere Serien, wie sie vor allem von KMU gefertigt werden.

Forschungsziel

Moderne Hochleistungskunststoffe sind bei guter Formbeständigkeit bis ca. 330 °C temperaturbeständig und weisen gegenüber Werkzeugstählen eine geringe Wärmeleitfähigkeit auf (z. B. Stahl: 50 W/(mK) zu PEEK: 0,25 W/(mK)). Dies prädestiniert sie für den Einsatz für die temperierte Umformung von Blechen aus den genannten Legierungen, da der Wärmeübergang aus den metallischen Blechen in die Aktivteile des Umformwerkzeuges reduziert werden kann. Aufgrund des dadurch verringerten Energiebedarfs kann die sonst notwendige aktive Beheizung des Umformwerkzeugs zwecks Erreichens eines günstigen Prozessfensters entfallen. Thermo- und duroplastische Werkzeugeinsätze (z. B. aus PEEK, PAI oder PPS – mit tribologisch wirksamen Additiven) können in nahezu beliebiger Form kostengünstig aus Halbzeugen gefräst oder alternativ durch Spritzgießen nachbearbeitungsfrei bei

geringen Zykluszeiten gefertigt werden. Die optimale Zusammensetzung aus polymerem Matrixwerkstoff, Additiven und Faserverstärkungen sowie die optimale Verarbeitungsstrategie gilt es im Forschungsprojekt für die Nutzung als Werkzeugeinsatz zu ermitteln und ggf. weiterzuentwickeln.

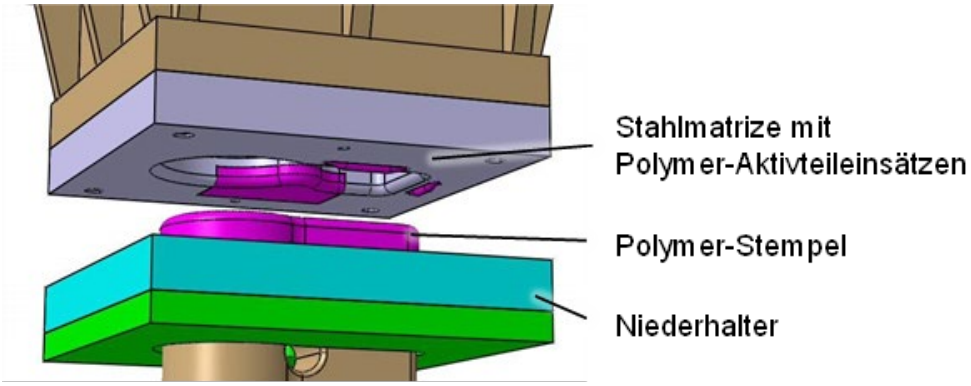

Abbildung 1: Schematische Darstellung eines Umformwerkzeugs mit Polymeraktivteilen bzw. Polymeraktivteileinsätzen aus Hochleistungskunststoff für die temperierte Umformung von Magnesium- und hochfesten Aluminiumblechen

Als Vorversuche durchgeführte temperierte Streifenziehversuche von Aluminium mit Werkzeugeinsätzen aus faserverstärkten Polymerwerkstoffen zeigten trotz eines vollständigen Verzichts auf Schmierstoffe einen deutlich reduzierten adhäsiven Werkzeugverschleiß. Sowohl die Auswahl des Polymer-Matrixwerkstoffs, die Art, Konzentration und Ausrichtung der Füll- und Verstärkungsstoffe (Fasern, Graphit, PTFE, etc.) als auch der aus der Bearbeitung resultierende Oberflächenzustand beeinflussen die mechanischen und tribologischen Eigenschaften. Die Zusammensetzung der Hochleistungskunststoffe ist zu variieren, durch verschiedene Fertigungsstrategien zu bearbeiten und hinsichtlich ihrer tribologischen Eignung anwendungsbezogen zu bewerten. Schicht- und Oberflächenmodifikationen ermöglichen hierbei sowohl einen plasmachemischen Abtrag von Oberflächendefekten an bearbeiteten Aktivteilen als auch eine Abscheidung von polymerartigen Einlaufschichten. Herausfordernd ist dabei die Auswahl an geeigneten Reaktivgasen im Zusammenspiel mit den Prozessparametern, um keine weitere Schädigung des Aktivteils herbeizuführen und eine ausreichende Haftung der Einlaufschicht zu gewährleisten.

Ziel ist es, die Eignung von Hochleistungskunststoffen als reibungs- und verschleißoptimierende Elemente für die temperierte Umformung von 7xxx-Aluminium- und Magnesiumlegierungen zu treffen und in Form von Werkstoffempfehlungen und Gestaltungsrichtlinien zusammenzufassen. Das neue Werkzeugkonzept soll gegenüber konventionellen Stahlwerkzeugen zu einer erheblichen Minimierung von Aufschweißungen und Verschleiß im Werkzeug führen, die insbesondere bei höheren Temperaturen im Werkzeug im trockenen Reibkontakt für diese zwei Legierungen auftreten.

Vorgehensweise und Forschungsergebnisse

Erstellung eines Lastenhefts für ein „Polymerwerkzeug“

Im Rahmen der Erstellung des Lastenheftes für das polymere Werkzeugkonzept wurde in der ersten PA-Sitzung gemeinsam mit den Projektpartnern zunächst die endgültige Auswahl der zu untersuchenden Blechwerkstoffe getroffen. Die Wahl fiel auf die hochfeste Aluminiumlegierung EN AW 7075 - T6 (2 mm Dicke) sowie die Magnesiumknetlegierung AZ31B (1 mm Dicke). Parallel zur Werkstoffauswahl wurden die Anforderungen an die Kunststoffwerkstoffe für die Umformung der genannten Bleche bei Temperaturen bis 300 °C definiert.

Da im Projekt nur kleine Stückzahlen vorgesehen waren, reichten moderate Anforderungen an Festigkeit und Lebensdauer aus. Darüber hinaus können Oberflächenmodifikationen (z. B. Additive oder Beschichtungen) helfen, Reibung und Verschleiß weiter zu reduzieren und damit den geringeren Festigkeitswerten von Kunststoffen entgegenzuwirken. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Formbeständigkeit des Werkstoffs bei Temperaturschwankungen, die im Wesentlichen durch den linearen Wärmeausdehnungskoeffizienten bestimmt wird. Während dieser bei Werkzeugstählen im Bereich von $10 – 17 \times 10^{-6}$/K liegt, weisen Kunststoffe bei vergleichsweise geringer Wärmeleitfähigkeit (ca. 0,25 W/(mK)) teilweise höhere Ausdehnungskoeffizienten auf.

Anhand der festgelegten Hauptkriterien wurde schließlich in Abstimmung mit den Kunststoffherstellern des PA-Kreises eine Vorauswahl von neun potentiellen Polymeren mit unterschiedlichen Basiswerkstoffen getroffen, die im weiteren Verlauf detailliert untersucht werden sollten. Dabei handelt es sich um vier Duroplaste auf Polyurethanbasis der Firma Sika Deutschland GmbH (SikaBlock LAB1000, SikaBlock M980, SikaBlock M1700 und SikaBlock M995). Weiterhin wurden fünf Thermoplaste der Firma Ensinger GmbH auf Basis von Polyamid 66 (TECAMID 66/X GF50 black), Polyetheretherketon (TECAPEEK natural, TECAPEEK PVX black und TECAPEEK CF30 black) und Polyphenylensulfid (TECATRON GF40 black) ausgewählt. Einige dieser Kunststoffe sind mit Kohle- oder Glasfasern verstärkt oder mit Additiven angereichert.

Charakterisierung der Blechwerkstoffe

In dieser Studie wurden die ausgewählte Aluminiumlegierung AA 7075-T6 und die Magnesiumknetlegierung AZ31 umfassend charakterisiert. Ziel war es, temperatur- und richtungsabhängige mechanische Kennwerte sowie Umformgrenzen zu ermitteln und in Form von Werkstoffkarten für FE-Simulationen aufzubereiten.

Zugversuche (DIN EN ISO 6892-2) wurden auf einer Zwick/Roell-Universalmaschine bei Raumtemperatur (RT), 150, 200 und 250 °C mit einer Dehnrate von 0,005 s^{-1} durchgeführt. Die Proben wurden aus einer 0°- und einer 90°-Orientierung zur Walzrichtung entnommen. Die Ergebnisse bestätigen einen starken Festigkeitsabfall bei

steigender Temperatur (AA 7075-T6: Rp0,2 von ca. 550 MPa auf ca. 180 MPa; AZ31B: ca. 190 MPa auf ca. 50 MPa) sowie einen markanten Duktilitätszuwachs, besonders bei AZ31B (> 45 % Bruchdehnung bei 250 °C).

Grenzformänderungskurven (DIN EN ISO 12004-2) wurden mit Nakajima-Proben (Stegbreiten 50 - 200 mm) bei denselben Temperaturen ermittelt. AZ31B verschiebt seine FLC bereits ab 150 °C deutlich nach oben, während AA 7075-T6 erst ab 200 °C deutlich profitiert. Ergänzende FLC-Datensätze aus Vorarbeiten schlossen Lücken bei einzelnen Stegbreiten.

Auf Basis dieser Daten wurden in LS-DYNA® anisotrope, temperaturabhängige Materialkarten erstellt (**MAT_BARLAT_YLD2000* + **MAT_ADD_EROSION*). Sie bilden das Fließ- und Versagensverhalten beider Bleche realitätsnah ab und dienen als Grundlage für die FE-Simulationen.

Charakterisierung der Polymerwerkstoffe

Um Hochleistungs-Thermoplaste als Werkzeugwerkstoffe für die schmierfreie Halbwarmumformung zu qualifizieren, wurden Zug-, Druck-, Dilatometer- und Oberflächenenergie-messungen (≥ 3 Proben je Werkstoff/Temperatur) durchgeführt.

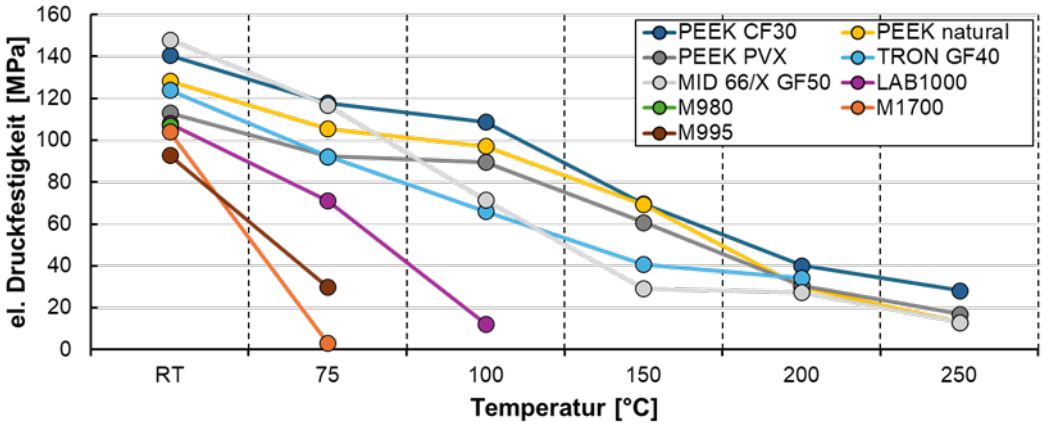

Abbildung 2: Abhängigkeit der maximalen Zugfestigkeit von der Temperatur von Kunststoffen

Zugversuch (DIN EN ISO 527)

Flachzugproben (Typ 1A, 4 mm) wurden bei Raumtemperatur (RT), 75 °C, 100 °C und 150 °C mit einer Dehnungsgeschwindigkeit von 0,005 s^{-1} geprüft. Die maximale Zugfestigkeit sinkt mit steigender Temperatur, bleibt bei den PEEK-Werkstoffen jedoch am höchsten. PEEK CF30 behält bis 150 °C eine Zugfestigkeit von über 100 MPa, gefolgt von PEEK natural und PEEK PVX. Glasfaserverstärkte Typen wie TRON GF40 und MID 66/X GF50 zeigen einen stärkeren Abfall. Die PUR-Typen verlieren bereits ab 75 °C drastisch an Festigkeit und wurden daher nicht weiter berücksichtigt. Der Temperaturtrend des Zug-E-Moduls bestätigt diese Reihenfolge.

Druckversuch (DIN EN ISO 604)

Zylindrische Proben wurden bei RT bis 250 °C (2 mm/min) in einem temperierten Biegewerkzeug geprüft. PEEK CF30 liefert bis 250 °C die höchste Druckstreckgrenze (> 100 MPa), dicht gefolgt von PEEK PVX und PEEK natural. Glasfasertypen halten bis 200 °C vergleichbare Werte, fallen darüber aber schneller ab. PUR-Werkstoffe

versagen bereits bei unter 100 °C. Unter Druck bleibt die Formstabilität aller Thermoplaste länger erhalten als unter Zug (Einschlusseffekt).

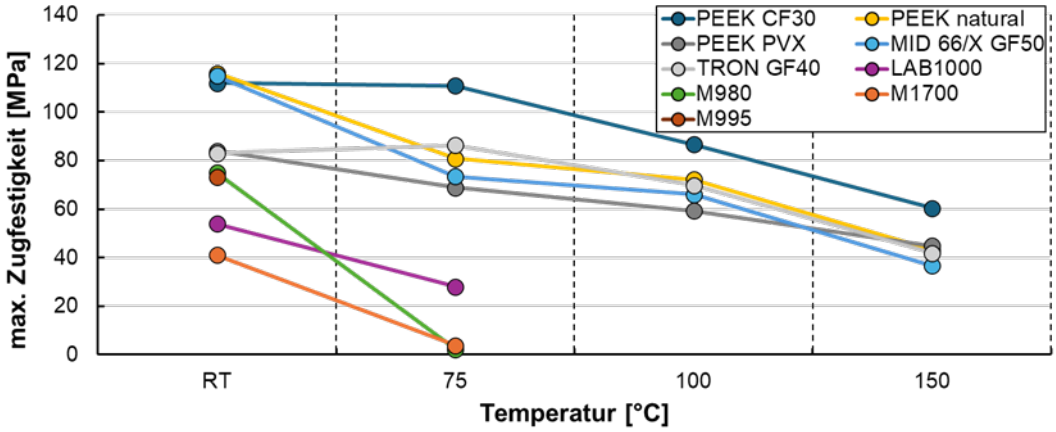

Abbildung 3: Abhängigkeit der elastischen Druckfestigkeit von der Temperatur von Kunststoffen

Thermische Ausdehnung

Dilatometermessungen (RT – 150 °C, 2 K/min) zeigen flache α-Verläufe für PEEK CF30, PVX und Natural (22 - 49 × $10^{-6}K^{-1}$), während die α-Werte der PUR-Typen stark schwanken. Die α-Werte liegen über denen von Stahl (10 - 12 × $10^{-6}K^{-1}$) sind aber durch Toleranzausgleich beherrschbar.

Oberflächenenergie

Kontaktwinkelmessungen bei 100 °C ergeben für PEEK-Werkstoffe hohe disperse, aber sehr geringe polare Anteile (polare $\gamma \leq 0{,}03$ mJ m^{-2}). Damit neigen sie kaum zu Aluminium-/Magnesium-Adhäsion, was eine wesentliche Ursache der niedrigen Reibwerte von PEEK PVX in den Triboversuchen ist. Glasfaserverstärkte Typen weisen höhere polare Anteile (ca. 10 - 15 mJ m^{-2}) auf und haften entsprechend stärker.

Schlussfolgerung

PEEK natural, PEEK PVX und PEEK CF30 kombinieren eine hohe Zug- und Druckfestigkeit, eine moderate Wärmeausdehnung sowie eine äußerst geringe Adhäsionsneigung bis 250 °C. Somit sind sie die aussichtsreichsten polymeren Werkzeugwerkstoffe für die schmiermittelfreie, temperierte Umformung hochfester Leichtmetallbleche.

<u>Beschichtung und tribologische Tests</u>

Die Beschichtungen und Plasmabehandlungen wurden mittels PACVD (Plasma Activated Chemical Vapor Deposition) in einer Laboranlage des Fraunhofer IST vorgenommen. Die tribologischen Tests wurden in einem Universaltribometer der Marke Bruker TriboLab durchgeführt. Bei einer Standardlast von 10 N wurde ein linear oszillierender Reibungsversuch über eine Dauer von 30 Minuten durchgeführt. Die Oszillationsfrequenz betrug 1 Hz, sodass der Kunststoffstift pro Versuch 1.800 Hübe auf der vorliegenden Blechprobe ausführte.

PUR-basierte Kunststoffwerkstoffe weisen generell hohe Verschleißwerte auf, die ähnlich hoch sind wie bei der trockenlaufenden Referenz 1.2379. Charakteristisch ist der höhere Verschleiß gegen Magnesiumblech. Fasergefüllte Kunststoffe zeigen auf der

Blech- und der Pinseite zu erhöhtem abrasivem Verschleiß. Auch hier sind niedrige Reibwerte selten. Diese Ausnahmen bedürfen einer werkstoffspezifischen Untersuchung, die hier nicht geleistet werden konnte. Die beiden PEEK-Werkstoffe zeigen vielversprechende Ergebnisse hinsichtlich der Reib- und Verschleißwerte. Auch hier sind Unterschiede in Abhängigkeit von der Reibrichtung und dem Blechwerkstoff erkennbar. Niedrige Reib- und Verschleißwerte sind jedoch häufig.

Obwohl sich die Reibeigenschaften der beiden ausgewählten Kunststoffvarianten durch plasmatechnische Behandlungen nicht verbesserten, wurden diese Verfahren dennoch für die Werkzeugeinsätze der Streifenziehversuche ausgewählt. Ein Einflussfaktor auf die Behandlungswirkung und die Schichthaftung ist die Geometrie der behandelten Objekte. Diese ist bei den Werkzeugeinsätzen im Vergleich zu den Pins sehr unterschiedlich. Daher wurde entschieden, die Behandlung auch in den Streifenziehwerkzeugen zu testen.

Streifenziehversuch

Um die Gleiteigenschaften der priorisierten Polymerwerkstoffe unter realen Zieh-/Biegebedingungen zu prüfen, führte das Fraunhofer IWU einen Streifenziehversuch mit Umlenkung durch.

Versuchsaufbau:

- Blechstreifen: AA 7075-T6 (2 mm × 50 mm × 2 mm) und AZ31B (Mg)
- Ofenerwärmung: 5 min, Zieltemperaturen: 250 °C/300 °C
- Prüfkräfte: Al-Streifen 22 kN, Mg-Streifen 5 kN; Ziehgeschwindigkeit: 50 mm/s
- Prüfkörper: PEEK natural, PEEK PVX (unbeschichtet, DLC, CF_4) + Stahl 1.2379
- Messgröße: Reibungskoeffizient μ (Euler-Eytelwein), jede Kombination n = 3

Ergebnisse – Aluminium:

PEEK PVX erreicht μ = 0,06 - 0,08, PEEK natural liegt geringfügig höher. Stahl 1.2379 (trocken) zeigt μ ≈ 0,35. DLC-beschichtete Prüfkörper liefern unerwartet höhere Reibwerte, die durch Schichtdelamination verursacht werden. Die CF_4-Behandlung bringt keinen Zusatznutzen.

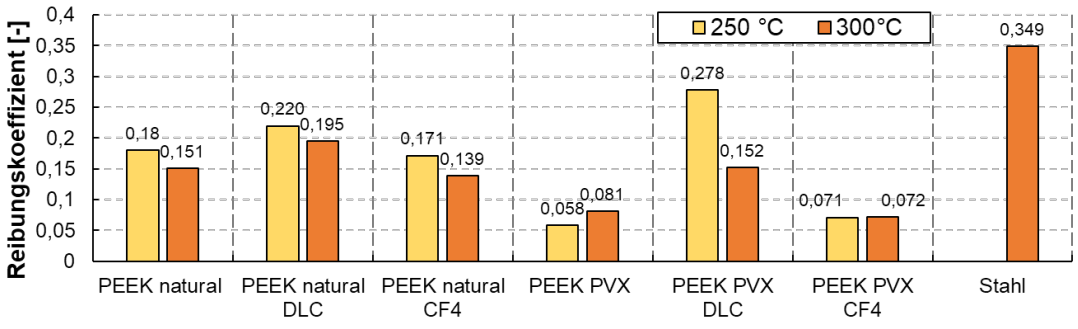

Abbildung 4: Reibungskoeffizienten von AA 7075-T6 gegen Werkzeugwerkstoffe

Ergebnisse – Magnesium

Alle Polymere unterschreiten den Stahlwert (μ ≈ 0,37). Unbeschichtetes bzw. CF_4-behandeltes PEEK PVX liefert μ = 0,08 - 0,11 und bestätigt damit die Pin-on-Disk-Ergebnisse. DLC steigert auch hier den Reibwert.

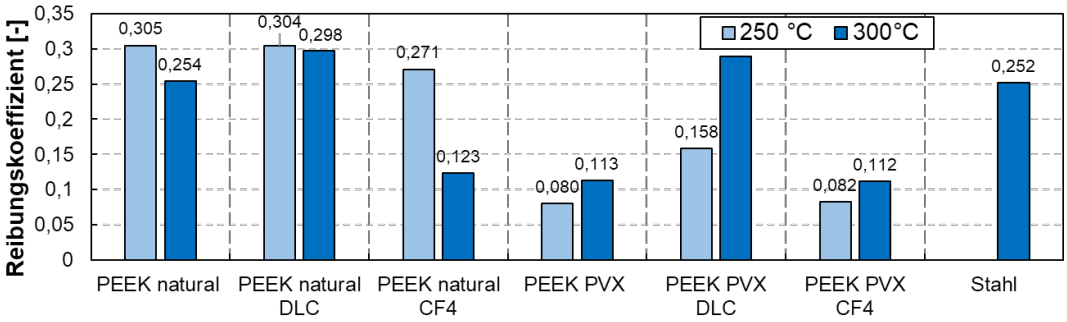

Abbildung 5: Reibungskoeffizienten von AZ31B gegen Werkzeugwerkstoffe

Fazit:

PEEK PVX bietet unter Streifenziehbedingungen die niedrigsten Reibwerte und keine Adhäsionen, während DLC-Schichten aufgrund mangelhafter Haftung kontraproduktiv wirken. CF_4-Aktivierung zeigt ein neutrales Verhalten. Eine weiterführende Optimierung der Plasmaparameter wird empfohlen.

Finite-Elemente-Simulation

Im Rahmen der Untersuchung der strukturellen Stabilität von Kunststoffwerkzeugen unter kombinierter thermischer und mechanischer Beanspruchung wurden FE-Simulationen durchgeführt. Der Einsatz der FE-Simulation diente in erster Linie einer ersten Prognose der Werkzeugstabilität unter den im Umformprozess auftretenden Belastungen.

Der Umformprozess wurde mit elastischen Werkzeugaktivteilen des Kreuznapfwerkzeuges in LS-Dyna® simuliert, wodurch die Wechselwirkungen zwischen Blechumformung, thermischer Belastung und Werkzeugverformung abgebildet werden konnten.

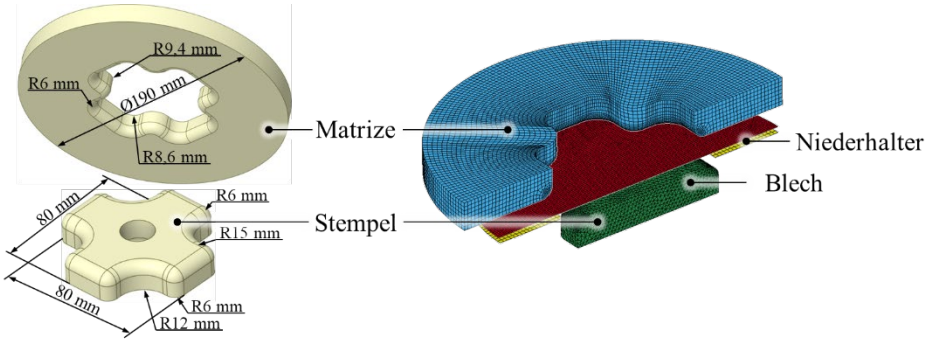

Abbildung 6: Aktive Komponenten des Kreuznapfwerkzeugs (links); Vernetzte Volumenkörper der aktiven Werkzeugteile des Kreuznapfwerkzeugs (rechts)

Insgesamt bestätigen die Simulationsergebnisse, dass allen Thermoplasten die kombinierten thermischen und mechanischen Belastungen bei der schmiermittelfreien temperierten Umformung von hochfesten Aluminiumblechen zuverlässig beherrscht und damit als Werkzeugwerkstoff für Prozesse bis 300 °C potenziell prädestiniert ist.

Die FE-Simulation zeigt für den PEEK-PVX-Stempel bei der Umformung von 2 mm dickem AA 7075-T6 unter 300 °C eine maximale Von-Mises-Spannung von unter 70 MPa. Dieser Wert liegt unterhalb der elastischen Druckfestigkeit des Materials (ca. 95 MPa bei 100 °C) und erfüllt somit die primären Sicherheitsanforderungen. Die höchste Werkzeugtemperatur tritt mit ca. 257 °C nur an der Oberfläche auf, wo das heiße Blech kurzzeitig anliegt; bereits 1 mm unter der Oberfläche liegt die Temperatur unter 100 °C. Dieser starke Gradient bestätigt die geringe Wärmeleitfähigkeit von PEEK PVX und stimmt mit den weiter unten dargestellten Messungen überein. Die resultierenden Formabweichungen konzentrieren sich auf Radien und Ecken und bleiben bei maximal ~ 0,18 mm. Dieser Verschiebungswert lag im realen Umformversuch im Fokus des Stempels deutlich darunter.

Zudem wurde eine Umformsimulation mit einer segmentierten Demonstratorgeometrie durchgeführt. Im Vergleich zu den zuvor untersuchten Kreuznapfwerkzeugen waren die mechanischen Belastungen hier deutlich geringer. Dies ist auf die größeren Radien, die homogenere Materialverteilung und den stahlseitig abgestützten Aktiveinsatz zurückzuführen, der das Fließen des Polymers einschränkt.

Umformversuche mit Polymerwerkzeug

Die Versuchsreihe mit dem tribologisch optimierten Hochleistungsthermoplast PEEK PVX belegt eindrucksvoll dessen Eignung als Werkzeugwerkstoff für die schmiermittelfreie Halbwarmumformung bis 300 °C. Dazu wurden Stempel (90 × 90 × 15 mm) und Matrizen (Ø 190 × 15 mm) aus PEEK PVX gefertigt und einem identisch ausgelegten Referenzsatz aus dem gehärteten Kaltarbeitsstahl 1.2379 gegenübergestellt. Auf einer hydraulischen C-Gestell-Presse (250 kN) wurden vorgewärmte Ronden aus AA 7075-T6 (2 mm) und AZ31 B (1 mm) bei etwa 300 °C zu Kreuznäpfen geformt. Während das trockene Stahlwerkzeug bei der Aluminiumlegierung lediglich eine Ziehtiefe von 11 mm erreichte (13 mm mit Schmierung), konnten die Bauteile mit dem PEEK-Werkzeug ohne Schmiermittel auf eine Ziehtiefe von 16 mm gezogen werden. Dies entspricht einer Erweiterung des Umformfensters um 45 % gegenüber trockenem Stahl bzw. 23 % gegenüber der geschmierten Referenz. Bei Magnesium erhöhte sich die zulässige Ziehtiefe analog von 5 mm (Stahl trocken) auf 7 mm.

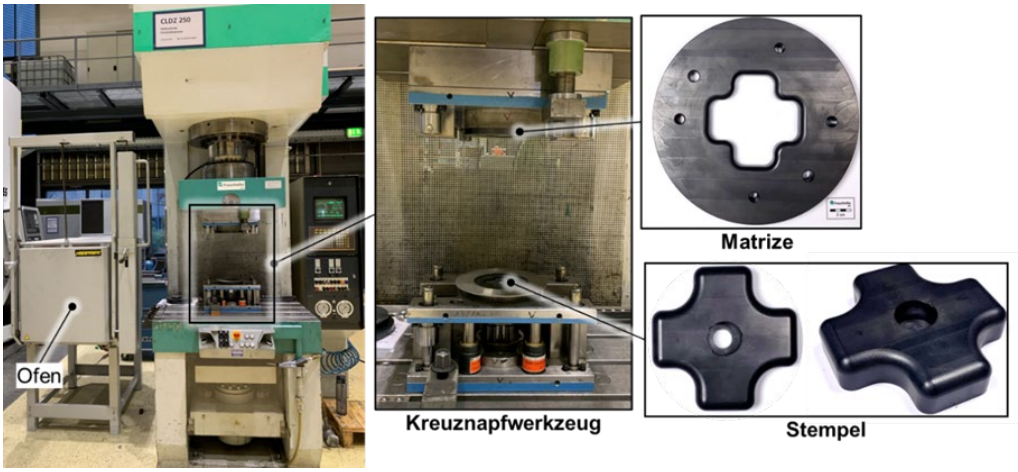

Abbildung 7: Versuchsaufbau

Trotz hundert aufeinanderfolgender Umformzyklen mit AA 7075-T6 bei 300 °C blieb der PEEK-PVX-Stempel form- und volumenstabil. Der Masseverlust lag unter 0,01 %, die gemessenen Außenabmessungen wichen weniger als 0,02 mm von der Ausgangsgeometrie ab und es traten weder Risse noch maßgebliche Radienänderungen auf. Auch die Bauteiloberflächen profitierten: An den mit PEEK geformten Kreuznäpfen fanden sich keinerlei Riefen oder Adhäsionsspuren, sodass nachträgliche Reinigungs- oder Polierarbeiten entfielen.

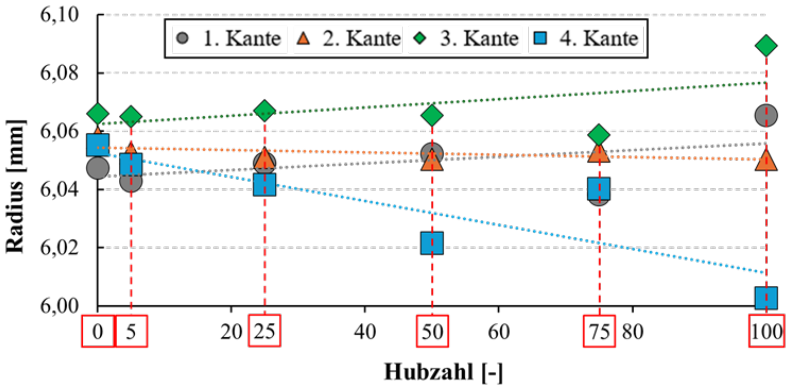

Abbildung 8: Radiusmessung des PEEK PVX-Stempels

Insgesamt zeigt der Versuch, dass PEEK PVX thermische und mechanische Belastungen bis 300 °C über mindestens 100 Hübe hinweg praktisch ohne Verschleiß bewältigt und gleichzeitig eine deutliche Prozess- und Qualitätsverbesserung gegenüber konventionellen Stahlwerkzeugen bietet. Somit stellt dieser Thermoplast eine vielversprechende Option für schmiermittelfreie Halbwarmprozesse mit hochfesten Aluminium- und Magnesiumlegierungen dar.

Wirtschaftliche Analyse

Die wirtschaftliche Seite der schmiermittelfreien Polymerwerkzeuge wurde mit der von herkömmlichen, geschmierten Stahlwerkzeugen für die Halbwarmumformung von hochfesten Al-/Mg-Blechen verglichen. Mithilfe eines Cost-per-Part-Modells, das auf aktuellen Marktpreisen, experimentellen Standzeitdaten und praxisüblichen Pressensätzen basiert, werden die Investitions-, Bearbeitungs-, Schmier- und Rüstkosten über Losgrößen von 1 bis 1.000 Stück bewertet. PEEK, PVX und glasfaserverstärkte PA- bzw. PPS-Typen reduzieren die Werkzeugkosten um bis zu 60 %, verkürzen den Hub durch den Wegfall der Schmierung und liefern bis ca. 300 Teile die niedrigsten Stückkosten. Ab größeren Serien kompensieren die langen Standzeiten von 1.2379-Stahlformen die Schmierkosten. Zusätzlich bieten Polymere blanke Oberflächen, erweiterte Ziehgrenzen und vereinfachte Prozessketten. Sie stoßen jedoch bei scharfkantigen Geometrien und Massenteilen an ihre Grenzen.

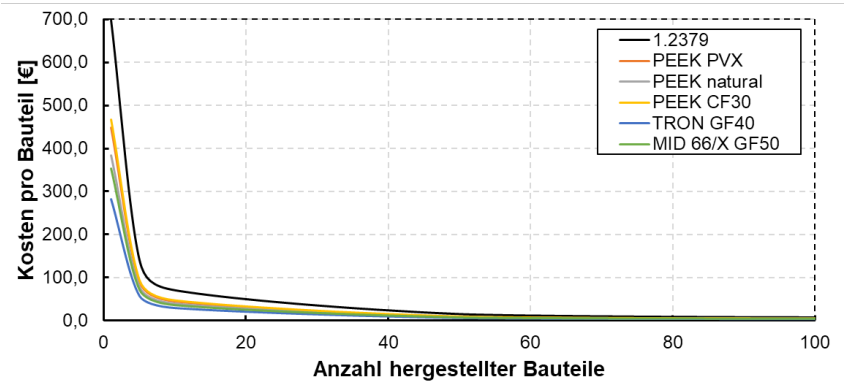

Abbildung 9: Schematische Betrachtung der Kosten pro Bauteil in Abhängigkeit von der Anzahl der produzierten Kreuznäpfen von 5 bis 100 Stück

Zusammenfassung

In dem IGF-Verbundprojekt „POLYWERK“ haben zwei deutsche Forschungseinrichtungen zusammengearbeitet, um das Potenzial von Hochleistungsthermoplasten als aktive Werkzeugelemente in der schmiermittelfreien Halbwarmumformung aufzuzeigen. Ausgangspunkt war die Hypothese, dass Kunststoffe als Werkzeugwerkstoffe für die temperierte Umformung der Magnesiumlegierung AZ31 und der hochfesten Aluminiumlegierung AA 7075-T6 bis 300 °C geeignet sein können und dabei - trotz Verzicht auf Graphit- oder Glastrennmittel - weniger adhäsiven Verschleiß erzeugen als konventionell gehärtete Stahlumformwerkzeuge.

Die wichtigsten Ergebnisse des Projekts sind:

- Aktivteile aus Hochleistungskunststoffen, insbesondere TECAPEEK PVX, eignen sich für die temperierte Umformung von Magnesium- und hochfesten Aluminiumlegierungen;
- Nach mehr als 100 Hüben auf einem Kunststoffstempel (TECAPEEK PVX) wurden keine signifikanten Formänderungen (bis zu 50 µm am Kantenradius), Gewichtsreduzierungen (< 0,01 % der Ausgangsmasse) oder Verschleißerscheinungen (nur optische Veränderungen) festgestellt;
- Trotz des vollständigen Verzichts auf Umformschmierstoffe wurde kein adhäsiver Werkzeugverschleiß im Vergleich zu herkömmlichen Stahlwerkzeugen festgestellt;
- TECAPEEK PVX, optimiert in Bezug auf die Gleiteigenschaften, weist einen sehr niedrigen Reibungskoeffizienten ($\mu \approx 0{,}08$) auf – erheblich niedriger als der Referenzwert von ca. $\mu = 0{,}35$ bei Stahl 1.2379;
- Materialanhaftungen an der Werkzeugoberfläche konnten vollständig vermieden und die Bauteilqualität deutlich verbessert werden (keine Riefenbildung);
- Ausgehend von den Umformergebnissen mit dem Kreuznapfwerkzeug für AA 7075-T6 wird das Umformfenster durch den Einsatz des Polymerwerkzeugs deutlich erweitert: Im Vergleich zum Stahlwerkzeug ohne Schmiermittel um ca. 45 % und im Vergleich zum Stahlwerkzeug (Referenz 1.2379 mit Multidraw SHF 41) um ca. 23 %.

Mit den gewonnenen Erkenntnissen können KMU schneller und effizienter produzieren, was zu wirtschaftlichen Vorteilen durch niedrigere Produktionskosten und verbesserte Qualitätssicherung führt. Die Möglichkeit, hochfeste Aluminium- und Magnesiumlegierungen schmiermittelfrei umformen zu können, eröffnet neue Anwendungsfelder, insbesondere in Bereichen der Kleinserienfertigung, in denen Umweltauflagen und nachhaltige Produktionsprozesse zunehmend an Bedeutung gewinnen. Zudem kann durch den vollständigen Verzicht auf Schmierstoffe die Prozesskette verkürzt und der Einsatz knapper Ressourcen optimiert werden.

Die Ziele des Forschungsprojekts wurden erreicht.

Ein besonderer Dank gilt allen Mitgliedern im projektbegleitenden Ausschuss für die gute Zusammenarbeit und für die Unterstützung bei der Durchführung der Forschungsarbeiten.

Eine Langfassung der Forschungsarbeiten kann in Form eines Schlussberichts bei der Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe e.V., Papenberger Str. 49, 42859 Remscheid, www.fgw.de, angefordert werden.