

Kunststoff-Bearbeitungsautomat für die energiesparende und saubere Teilefertigung



PROF. DR.-ING.
FRANZ ASSBECK

Fakultät Computer & Electrical Engineering.
Leiter des Labors für Angewandte Mechatronik und Systemkonstruktion an der HFU.
Tel. 07723 920 2172
ass@hs-furtwangen.de

Prof. Dr.-Ing. Franz Aßbeck, Dipl.-Ing. Simon Grigull,
Hans-Jürgen Scherzinger

Einleitung

Nach dem Stahl-Zeitalter, dem Chip-Zeitalter und dem Kommunikationszeitalter prophezeien viele Experten die nächste Industrie-Epoche sei die der Kunststoffe (erfunden 1909 [1]).

Schon bedingt durch die Rohstoffsituation Deutschlands wird bei der Produktion, soweit es die Qualitätsanforderungen zulassen, ein Fokus auf die Verwendung von biologischen (nicht auf Erdöl basierenden) Kunststoffen sowie auf deren echte Recyclingfähigkeit (statt einem Down-Cycling) gelegt.

Im Rahmen eines vom Bundeswirtschaftsministerium (BMWi) geförderten Transferprojekts (ZIM) wurde an der Hochschule Furtwangen (HFU) im Labor für Angewandte Mechatronik und Systemkonstruktion in Kooperation mit einem regionalen mittelständischen Maschinenbau-Unternehmen eine automatisierte Kunststoff-Halbzeug-Bearbeitungsmaschine im Zeitraum 01.02.2011 bis 30.09.2012 entwickelt und getestet.

Technische Innovation

Nach Stand der Technik erfolgt der Erwärmungsvorgang i.d.R. wie folgt: Kunststoffe in „Meter-Rohware“ (z.B. Rohre, Stangen, Profile,...) werden „per kräftiger Hand“ entweder kalt oder mit einer dem „Werker“ noch zumutbaren Materialtemperatur in eine metallene Schablone (Biegeform oder auch „Backform“ genannt) eingelegt. Meist mehrere Dutzend dieser Formen werden mit den darin eingelegten Halbzeugen entweder in einen Heißluftofen oder ein heißes Wärmeträgermedium (z.B. Öl oder Polyethylenglykol) gebracht [3].

Bei der anschließenden Thermofixierung nimmt das eingespannte Teil im erhitzten Zustand nahe der Schmelztemperatur des jeweiligen Kunststoffes (diese kann je nach Werkstoff im Bereich zwischen ca. 120°C und 250°C liegen) nach dem Entspannen die gewollten Konturen dauerhaft an, wobei rekonstruierbare Rückfederwerte berücksichtigt werden

müssen. Diese Kontur behält der Kunststoff dann dauerhaft unter den einsatzspezifisch vorgegebenen Umgebungsbedingungen entsprechend der jeweils anzuwendenden Prüfvorschriften (Toleranzen nach Anwendung von Temperatur-Zeit-Profilen auch mit Unter- und Überdrücken, Vibrationent,...) bei.

Beide o.g. konventionellen Verfahren sind sehr energieaufwändig, das Letztere zudem auch noch sehr schmutzig (Einsatz von Ölabscheidern,...) und beide Verfahren sind nur wenig automatisierbar, so dass die diese Verfahren nutzenden Produktionsstätten bisher in Billiglohn- und Billigenergie-Ländern angesiedelt sind [2].

Unsere Innovation setzt am Erwärmungsprozess an, indem wir mit einem neuartigen, patentierten Verfahren die Materialerwärmung elektrisch mittels Hochfrequenz (HF) durchführen. Infolge des viel kompakteren und automatisierten Erwärmungsprozesses kann der gesamte thermische Verformungsvorgang auf ein bedeutend kleineres Maschinenvolumen konzentriert und v.a. „Prozestakt-synchron“ automatisiert werden.

Das Rohmaterial in Form der zugeführten Meterware wird vollautomatisch (z.B. über einen Bestückungsroboter) in unseren „Hochfrequenz-Heizer“ eingeführt, dort innerhalb von etwa 10 bis 50 Sekunden auf die „Verform-Temperatur“ erwärmt und unmittelbar



DIPL.-ING. (FH) SIMON GRIGULL

Wissenschaftlicher Mitarbeiter im Labor für Angewandte Mechatronik und Systemkonstruktion, ab 2013 in Vorbereitung einer Dissertation
Tel. 07723 920 2494
grs@hs-furtwangen.de



Bild 1: Hochfrequenz-Erwärmungseinheit (unten links) während eines unserer Industrie-seminare in unserem Labor.

danach mit dem mechanischen Werkzeug des Bearbeitungsautomaten verformt.

Nach dem Verformungsvorgang wird das bearbeitete Werkstück zwangsgekühlt, bevor es maschinell wieder abgeführt wird (z.B. zur Weiterverarbeitung oder zur Ablage). Der gesamte Bearbeitungsvorgang geschieht nun Prozesstakt-gesteuert, sauber und mit stark reduziertem Energieeinsatz (kleiner einstelliger %-Wert des Energieaufwands vom bisherigen „schmutzigen Verfahren“).



Bild 2: Das Halbzeug (nach Verformung im erwärmten Zustand) im Werkzeug.

Einfluss der Materialvorbereitung (Konditionierung) auf den hochfrequenzbasierten Verformungsprozess

Weit mehr als beim Verformen nach konventioneller Erwärmung hat beim HF-basierten Erwärmen die Vorbehandlung (hier: Konditionierung) des Rohlings Einfluss auf die Bearbeitbarkeit und die spätere Formbeständigkeit des Kunststoff-Halbzeugs. Hierzu wurden in unserem Labor für Angewandte Mechanik und Systemkonstruktion sehr umfangreiche Messreihen durchgeführt.

Dabei hat sich bei keiner unserer zahlreichen Messreihen eine Diskrepanz zu den in der einschlägigen Fachliteratur [3] bisher nur recht singular zu findenden Material-Parameterwerten ergeben.

Das nachfolgende Diagramm (Bild 3) zeigt, dass Teile mit hoher Materialfeuchte sowohl mit geringerem

Energieeinsatz als auch mit reduzierter Verfahrensstreuung erwärmbar sind.

Dabei empfiehlt es sich, die Rohteile vor der HF-basierten Erwärmung einige Stunden in einem warmen Wasserbad zu lagern und damit eine Feuchteaufnahme nahe der Sättigungsgrenze sicher zu stellen. Auch ein entsprechend ausgerüsteter Konditionierungs-Ofen (65°C, 100% rel. Feuchte) liefert im Labor dieselben Ergebnisse, allerdings in wesentlich kürzerer Zeit.

Abhängig vom verwendeten Kunststoff (hier: Polyamide) haben wir hierzu in unserem Labor z.B. für das Polyamid PA6¹ die Sättigungfeuchte von 9,5% laut Datenblatt [3] experimentell bestätigen können, bei PA12² sind dies nur 1,5%. PA6 wird bei den hohen Feuchtwerten wesentlich elastischer, der E-Modul sinkt (siehe Bild 4).

Von diesem E-Modul wiederum lässt sich die Rückstellkraft und damit das „Aufgehen“ eines warmgebogenen Kunststoff-Halbzeugs nach beendeter Thermofixierung ableiten.

Die elektrischen Eigenschaften des Materials verschieben sich im Gegenzug mit zunehmender Feuchte zu einer für das angewandte Erwärmungsverfahren eher problematischen, geringeren elektrischen Durchschlagfestigkeit. Die im Material durch Wechselfelder



HANS-JÜRGEN SCHERZINGER

Technischer Mitarbeiter im Labor für Angewandte Mechanik und Systemkonstruktion an der HFU.
Tel. 07723 920 2495
shj@hs-furtwangen.de

¹ PA6 wird z.B. für Gehäuse von Staubsaugern oder Handbohrmaschinen eingesetzt und ist relativ gut „down-cycle-fähig“, aber für den Kfz-Einsatz nicht zugelassen (Spannungsriß-Bildung bei Kontakt mit Zinkchlorid aus Streusalz) [3].

² PA12 wird z.B. für Treibstoffleitungen oder Druckluftleitungen (auch in Spiralform) eingesetzt.

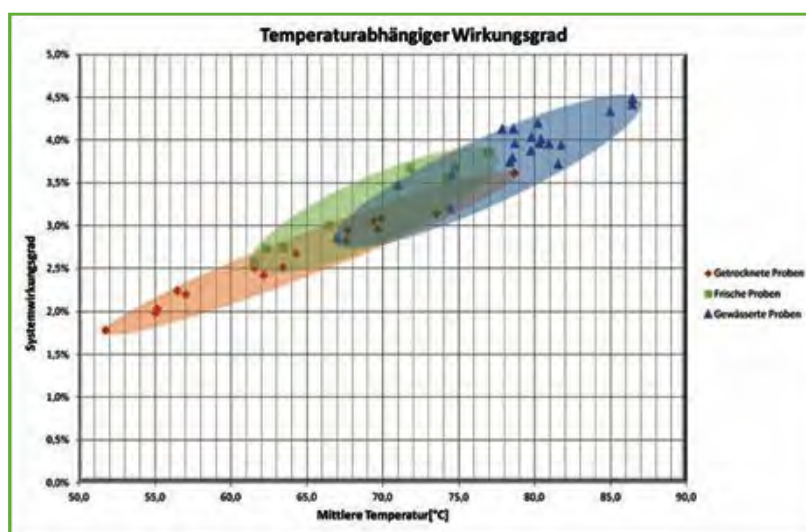


Bild 3: Abhängigkeit des Systemwirkungsgrades von der Proben-temperatur im HF-Feld mit Parameter Konditionierungszustand (hier: Materialfeuchte).



Bild 4: Abhängigkeit der Auslenkung einer Probe und damit des E-Moduls von der Konditionierung.

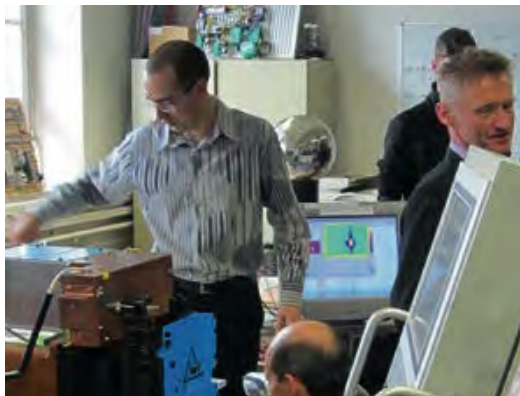


Bild 5: Das HFU-Team an einem Bearbeitungsautomaten für Polyamid-Halbzeuge.

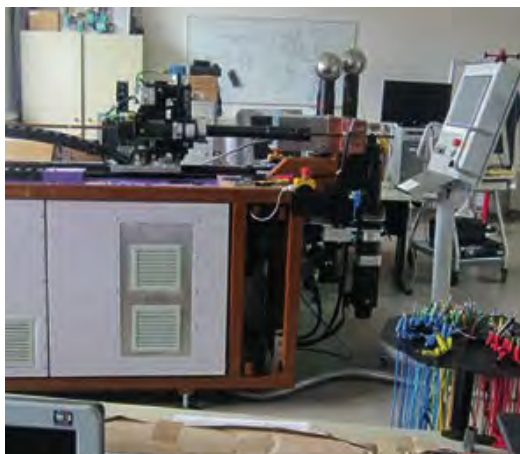


Bild 6: Der Prototyp des Bearbeitungsautomaten mit Heizsystem in unserem F&E-Labor.

entstehenden dielektrischen Verluste steigen allerdings stark an, was zum Vorteil genutzt werden kann.

Zunehmende Verbreitung von Kunststoffen und zukünftige Forschungsschwerpunkte

Der Einsatz von Kunststoffen auch in bisher den Metallen vorbehaltenen Anwendungen ist derzeit als rasant ansteigend zu beobachten. Bereits im Oktober 2011 wurde daher unter Federführung der IHK Schwarzwald-Baar und des Kunststoff-Instituts Lüdenscheid das Kunststoff-Institut Südwest gegründet. Daran beteiligen sich z.Z. 20 namhafte regionale Firmen als Kommanditisten [2].

Ein besonderer Innovationstreiber für die zunehmende Marktdurchdringung mit Kunststoffen ist z.B. die Elektromobilität, wo infolge geringerer Temperatur-, aber erhöhter Gewichtsanforderungen die Anwendung von metallischen Werkstoffen rückläufig ist. Ein ebenfalls gerade wachsendes Einsatzgebiet von Kunststoffen tut sich weiterhin im Sanitärbereich auf, wo noch in 2012 ein führender baden-württembergischer Hersteller sein ganzes oberrheinisches Armaturenwerk von Messing- auf Kunststoffproduktion umrüsten wird [2]. Die Vorteile der Kunststoffanwendung liegen hierbei u.a. in den geringen Strömungsverlusten, dem niedrigen Preis und Gewicht. Es liegt auf der Hand, dass bei der absehbaren Steigerung der Kunststoffproduktion unbedingt ein Forschungsschwerpunkt auf „Öl-frei herstellbare Granulate“ sowie eine „möglichst hoch recycelbare Zusammensetzung der Kunststoff-Rohsubstanzen“ gelegt werden muss.

Wirtschaftlicher Effekt des abgeschlossenen Projekts und Ausblick auf eine „Kunststoff-Expertenbasis“ mit Einflussnahme-Möglichkeit auf die Rohstoffe-Zulieferer hinsichtlich einer echten Recyclebarkeit

Mit dieser neuen voll automatisierbaren und energieeffizienten Technologie können ausgelagerte Produktionsstätten auch unter den preislichen Wettbewerbsbedingungen in das Hochlohnland Deutschland zurück geholt werden und die Kunststoffhalbzeugverarbeitung kann zusätzlich in ihrer Flexibilität (Änderungswünsche des Kunden) und Zuverlässigkeit deutlich gesteigert werden.

Nach der erfolgreich abgeschlossenen Entwicklung eines Kunststoff-Halbzeug-Bearbeitungsautomaten hat das Team am 01.10.2012 mit einem weiteren Förderprojekt des (Bundeswirtschaftsministerium) BMWi begonnen. In diesem neuen Transferprojekt soll ein Analyseautomat zur automatischen Erstellung einer relativ komplexen Datenbank für die Einstellparameter des bisher entwickelten Kunststoff-Halbzeug-Bearbeitungsautomaten erstellt werden. Damit wird dessen Beschickung mit in Materialart und -abmessung verschiedenen Polyamid-Rohlingen und somit ein universeller Einsatz eines einzigen Fertigungsautomaten ermöglicht werden.

Diese Datenbank soll zu einer Art EXPERTENBASIS für die vollautomatische Kunststoff-Halbzeug-Verformung werden und unserem Transferpartner den Einsatz seiner Automaten für eine große Bandbreite von Kunststoffen (also nicht nur das bisher von uns verarbeitete PA6 und PA12) ermöglichen.

Desweiteren untersuchen wir in diesem neuen ZIM-Förderprojekt den Einfluss der vom Rohling-Hersteller (Zulieferer) beigemischten Zuschlagstoffe (z.B. Ruß für die UV-Beständigkeit) auf die Recyclingfähigkeit des Halbzeugs nach seiner Lebensdauer.

Gelingt es, die Zugabe dieser Zuschlagstoffe ohne wesentliche Einbußen in den gewünschten Materialbeständigkeiten hinsichtlich einer echten Recyclingfähigkeit (statt Down-Cycling) zu beeinflussen, dann wäre auch im explorierenden Kunststoffbereich der Stoffkreislauf geschlossen.

In unserem Labor bearbeiten wir aber auch Projekte der Thematik Energie-Effizienz [4] (mobil und stationär) sowie mit Sonderlösungen im Werkzeugmaschinenbau, geben Industrieseminare und stehen gerne zur hochschulseitigen Begleitung von Industrieprojekten zur Verfügung; kontaktieren Sie uns!

Danksagung

Die Autoren danken dem BMWi für die über das ZIM-Programm erhaltene Förderung, welche die Entwicklung dieser Werkzeugmaschine erst ermöglicht hat.



Literatur

- [1] Deutschland Radio Kultur v. 5.02.2009 über Leo H. Baekeland, Erfinder des Bakelits (erster vollsynthetischer Kunststoff)
- [2] Wirtschaft im Südwesten v. Sept. 2012, Hrsg.: IHK Hochrhein-Bodensee, Schwarzwald-Baar-Heuberg, Südlicher Oberrhein
- [3] Kunststoff Handbuch, Teil 3/4 „Techn. Thermoplaste, Polyamide“, Hrsg. Bottenbruch L. und Binsack R., Hanser Verlag München, 1998, ISBN 3-446-16486-3
- [4] „E-Mobilität kann auf den Stromüberschuss setzen“, Aßbeck F., Grigull S. in KOMMUNAL topinform, Okt. 2012, ISSN 1616-4121