

Hochgeschwindigkeits Impuls Schweißen von Kunststofffolien (HIS)

Dipl.-Ing. (FH) Mathias Kott, Fraunhofer IVV Dresden

Hochgeschwindigkeitsprozesse spielen in der technischen Produktion eine zunehmend wichtige Rolle. Grundlage für technologische Nutzung von Hochgeschwindigkeitsimpulsen ist das dissipative Verhalten von Werkstoffen. Bewegungsenergie, welche durch einen makroskopischen Formänderungsimpuls hervorgerufen wird, wird durch Reibvorgänge im Inneren des Materials in Wärmeenergie umwandelt. Durch die geringe zeitliche Ausdehnung des Impulses wird der Austausch der entstehenden Wärme mit der Umgebung fast vollständig unterbunden (adiabatischer Prozess), was zu prozessrelevanten Erwärmungen (z.B. Schmelztemperatur) führt. Besonders in der Metallbearbeitung bei der spanenden Bearbeitung, aber auch beim Trennen, Fügen und Umformen wurden diesbezüglich zahlreiche technologische Grundlagen entwickelt. Materialerwärmung infolge dissipativer Eigenschaften treten aber auch in polymeren Werkstoffen auf und werden beispielsweise beim Ultraschallschweißen genutzt. Hier ist allerdings aufgrund der üblichen Prozesszeiten ein Austausch der dissipativ erzeugten Wärme mit der Umgebung möglich. Gestützt auf das grundsätzliche Verhalten thermoplastischer Kunststoffe und der Möglichkeit, durch einen kurzen Impuls einen adiabatischen Prozess erzeugen zu können, ergibt sich folgender innovativer Ansatz zum Verschweißen von Kunststofffolien. Eine bewegliche Schweißbacke (Impulshammer) trifft mit hoher Geschwindigkeit auf die gegenüberliegende Schweißbacke (Amboss) auf und setzt dadurch in zwei dazwischenliegenden Kunststofffolien schlagartig Wärme frei, welche zum Verschmelzen beider Folien im Kontaktbereich führt. Der Schlagimpuls kann zusätzlich zum Trennen der Folien an der Schweißnaht genutzt werden.

High-speed Impact Sealing of Polymer Films (HIS)

High-speed processes play an increasingly important role in technical production. The basis for the technological use of high-speed impact is the dissipative behaviour of materials. The kinetic energy caused by a deformation pulse is converted into thermal energy by friction processes inside the material. Due to the small temporal extension of the impulse, the exchange of the resulting heat with the surrounding areas is almost completely prevented (adiabatic process), which leads to process-relevant heating.

Numerous technological fundamentals have been developed about this, particularly in metalworking for machining, but also for cutting, joining and forming. Material heating due to dissipative properties also occurs in polymer materials and is used, for example, in the ultrasonic welding process. Here, however, due to the usual process times, it is possible to exchange the internal heat with the surroundings.

Based on the behaviour of those thermoplastics and the possibility to generate an adiabatic process by a short impulse, the following innovative approach for the welding of plastic films results. A moving welding jaw (rammer) hits the opposite welding jaw (anvil) at high speed. The resulting sudden release of heat in the thermoplastic leads to the melting of the two films in the contact area. The mechanical impact can also be used to cut the films at the weld seam.

Keywords

Hochgeschwindigkeitsimpuls
Adiabatischer Prozess
Kunststoffschweißen
Siegeln
Trennschweißen
Kunststofffolien
Dissipative Erwärmung

High speed impact
Adiabatic Process
Plastic Welding
Sealing
Tear Welding
Plastic Films
Dissipative heating

Hochgeschwindigkeits Impuls Schweißen von Kunststofffolien (HIS)

Dipl.-Ing. (FH) Mathias Kott, Fraunhofer IVV Dresden

1 Innovativer Verfahrensansatz

Eine bewegliche Schweißbacke (Impulshammer) trifft mit hoher Geschwindigkeit ($> 1\text{ m/s}$) auf die gegenüberliegende Schweißbacke (Amboss) auf und setzt dadurch in zwei dazwischenliegenden Kunststofffolien schlagartig Wärme frei, welche zum Verschmelzen beider Folien führt.

Beim Trennschweißen führt der Schlagimpuls außerdem zum Trennen der Folien entlang der Schweißnaht.

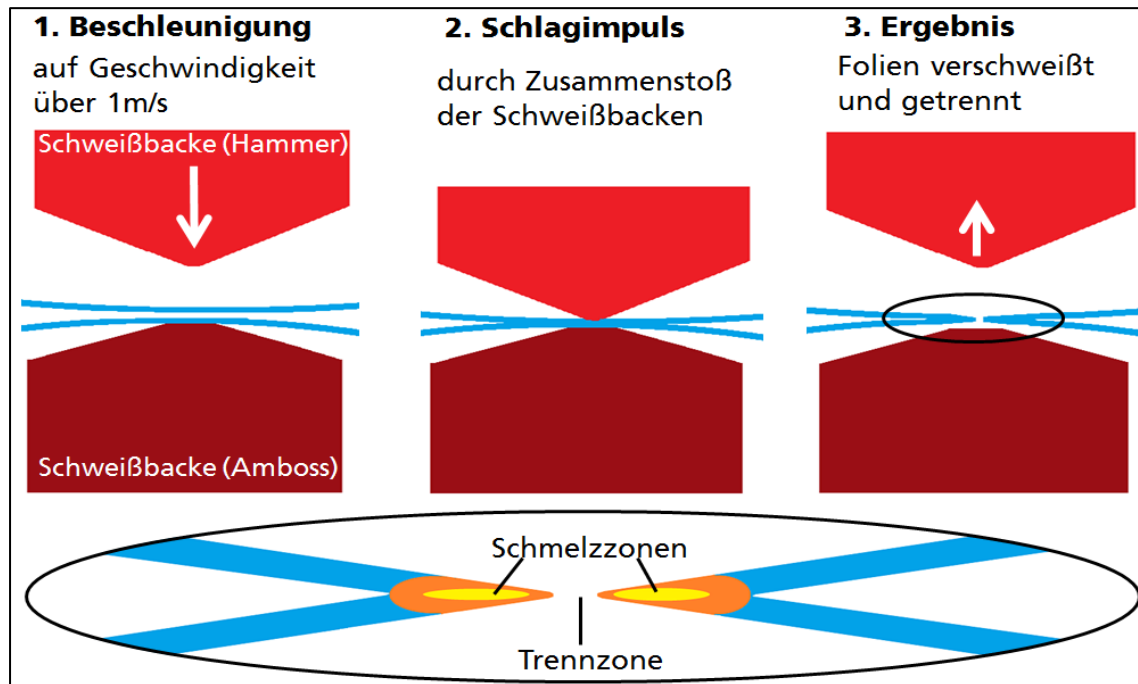


Abb. 1: Verfahrensprinzip Hochgeschwindigkeits- Impuls-Schweißen (Trennschweißung)

2 Stand der Technik

Hochgeschwindigkeitsprozesse spielen in der technischen Produktion eine zunehmend wichtige Rolle. Besonders in der Metallbearbeitung bei der spanenden Bearbeitung, aber auch beim Trennen, Fügen und Umformen von Metall wurden zahlreiche Verfahren und deren technologische Grundlagen entwickelt [1]. Nicht zuletzt unter den Gesichtspunkten der Fertigungsqualität und Energieeffizienz weisen derartige Prozesse erhebliches Potenzial auf.

Grundlage für die technologische Nutzung von Hochgeschwindigkeitsimpulsen sind dissipative Erwärmungsvorgänge. Bewegungsenergie, hervorgerufen durch einen makroskopischen Formänderungsimpuls, wird durch Reibvorgänge im Inneren des Materials in Wärmeenergie umgewandelt. Durch die geringe zeitliche Ausdehnung des Impulses wird der Austausch der entstehenden Wärme mit der Umgebung fast vollständig unterbunden (adiabatischer Prozess), was zu prozessrelevanten Erwärmungen (z.B. Schmelztemperatur) führt. Beim Hochgeschwindigkeitsscherschneiden von Stahlwerkstoffen können beispielsweise lokale Temperaturspitzen von über 700°C auftreten [2].

Der Einsatz eines Formänderungsimpulses bei der Bearbeitung von Kunststoffen zur Nutzung innerer Erwärmung ist bisher auf wenige technologische Anwendungen beschränkt (siehe „wiss.- Techn. Grundlagen“) obwohl dissipatives Erwärmungsverhalten in Kunststoffen unter dem Einfluss von Deformation in mehreren Untersuchungen bereits nachgewiesen wurde [9].

In den umfassenden Übersichten aller Schweiß- bzw. Siegelverfahren für Kunststoffe [10], [11], [12] ist das vorgeschlagene Wirkprinzip nicht aufgeführt.

Wissenschaftlich-technische Grundlagen: Die technologische Nutzung dissipativer Erwärmung aufgrund makroskopischer Umformvorgänge ist bei der Bearbeitung von Metallen wesentlich weiterverbreitet als in der Kunststoffverarbeitung. In nahezu allen Fertigungshauptgruppen (DIN 8580) wie Umformen, Fügen und Trennen finden sich technisch ausgereifte Verfahrensansätze [1], [3].

Grundlegende Untersuchungen zum Umformen und Trennen viskoelastischer Werkstoffe (Kunststoffe) zeigen zum einen, dass auch hier die eingebrachte Energie z.T. in Wärmeenergie umgewandelt wird und zum anderen, dass diese Umwandlung zeitabhängig erfolgt [4], [8], [9]. Im labortechnischen Maßstab wird der Effekt beispielsweise beim Kompaktieren von Polymerpulvern genutzt [5]. Ein weiteres Verfahren, das Scherkopfverfahren, nutzt dieses Werkstoffverhalten beim Extrudieren von Elastomerwerkstoffen [6], [7].

3 Versuche

Versuchsstand: Erste Versuche zum Hochgeschwindigkeits-Impulssiegeln wurden am Fraunhofer IVV Dresden mit Hilfe eines Fallturms durchgeführt, bei dem der Fallhammer als Siegelbacke ausgeführt ist. Über die Parameter Fallhöhe und Hammergewicht wird die induzierte Energie variiert. Eine kontaktlose Geschwindigkeitsmessung kurz vor dem Auftreffpunkt des Hammers ermöglicht die Ermittlung realer Energiewerte unabhängig von etwaigen Reibungsverlusten.

Versuche: Bei der vorgestellten Versuchsreihe wurden zwei Lagen folgende Folie gefügt:

Folie: DOW Versify2000

Dicke: 100 μm

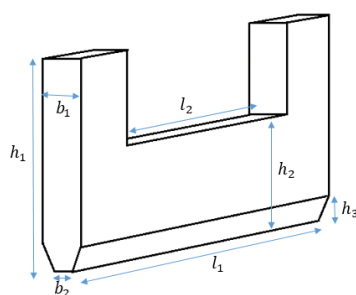
Probenbreite: 40 mm

Werkstoff: Copolymer E/P

Schmelztemperatur: 107 $^{\circ}\text{C}$

Bruchspannung: 26MPa

Siegelbacke (Fallhammer) und Amboss bestehen aus Werkzeugstahl (1.2379). Der Hammer hat ein Gewicht von 250 g und wurde geometrisch wie folgt ausgelegt:



b1: 4mm
b2: 2mm
l1: 142 mm
h3: 1mm

Der Amboss hat eine flache Kontur. Die aktiven Werkzeugoberflächen sind mit einer Rautiefe von Ra 0,2 toleriert.

Pro Parametersatz wurde 10 Proben hergestellt und ausgewertet.



Abb.2: Versuchsstand zum Hochgeschwindigkeits-Impuls-Siegeln

Versuchsauswertung: Zur Auswertung der hergestellten Siegelproben wurde die Nahtfestigkeit als ein wesentliches Qualitätskriterium einer Siegelnaht herangezogen. Die Zugprüfung wurde mit einer Zugprüfmaschine der Firma „Zwick“ nach den Vorgaben der DIN 55529:2005-09 vorgenommen. Um die Charakteristik der Schmelzverbindung genauer erkennen zu können, wurden die Schweißnähte zuvor mittels optischer Kohärenztomografie (OCT) visualisiert.

Versuchsergebnisse: Abbildung 3 zeigt die Nahtfestigkeiten in Abhängigkeit der Auftreffgeschwindigkeit des Fallhammers.

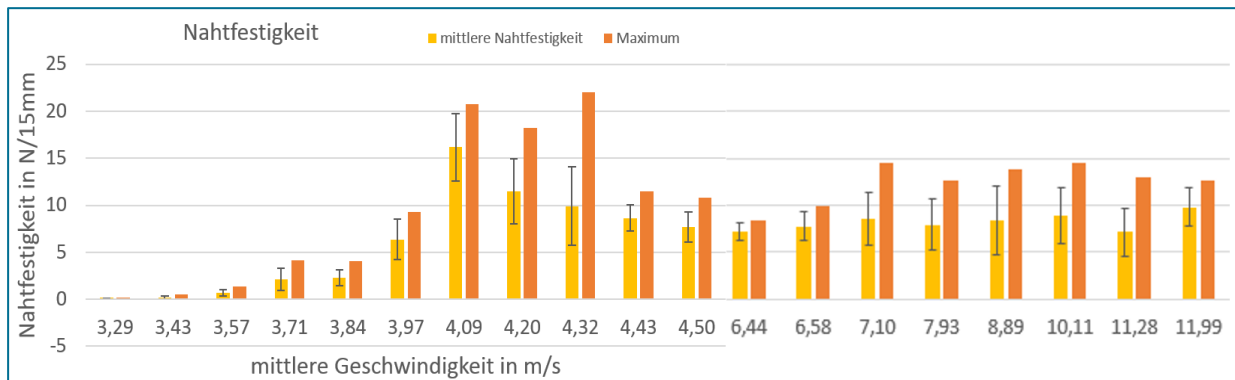


Abb.3: Nahtfestigkeiten der Siegelnähte in Abhängigkeit der Auftreffgeschwindigkeit des Hammers

Durch die OCT-Analyse der Schweißnähte in Abb. 4 wird folgender Zusammenhang deutlich:

Unter 3.84 m/s ist kein nennenswerter Bindungseffekt zwischen den Folien erkennbar. Zwischen 3.84 m/s 4.32 kommt es zum Verschmelzen der Fügepartner an der Nahtstelle ohne eine Trennung der Folien hervorzurufen. Die maximalen Nahtfestigkeiten liegen hier in Bereichen etablierter Siegelprozesse z.B. Wärmekontaktsiegeln. Bei steigender Hammergeschwindigkeit kommt es zur vollständigen Trennung der Proben. Die Nahtfestigkeit bleibt unabhängig von der steigenden Auftreffgeschwindigkeit nahezu konstant. Hier liegt der Bereich des Trennschweißens vor.

Über die Hammermasse und die Aufprallgeschwindigkeit lässt sich die eingeleitete Energie berechnen. Um die von der Folie aufgenommene Energie zu bestimmen, wurde der Rücksprung des Hammers nach dem Auftreffen mittels ausgewerteten Hochgeschwindigkeitsaufnahmen analysiert. In Abb. 5 sind die ermittelten Energiewerte für den Geschwindigkeitsbereich zwischen 3 m/s und 5 m/s aufgeführt. Aus dem Diagramm lassen sich folgende Schlüsse ziehen. Die Energie, welche zum Fügen der Folienproben benötigt wird, liegt im Bereich zwischen 0,04 J und 0,16 J und ist im betrachteten Messbereich offenbar unabhängig zur Auftreffgeschwindigkeit. Die größte Energieaufnahme führt zur größten Nahtfestigkeit. Bei den ermittelten Energiewerten ist zu berücksichtigen, dass eine leichte Verkipfung des Hammers beim Auftreffen auf die Folie zur Beeinflussung des Rücksprungs führen kann.

Mit den ermittelten Trennschweißparametern wurde ein 2-Naht Probenbeutel mit den Abmessungen 70 mm x70mm hergestellt. Gegenüber Wasser konnte die Dichtigkeit für mind. 72h nachgewiesen werden. (Abb. 6).

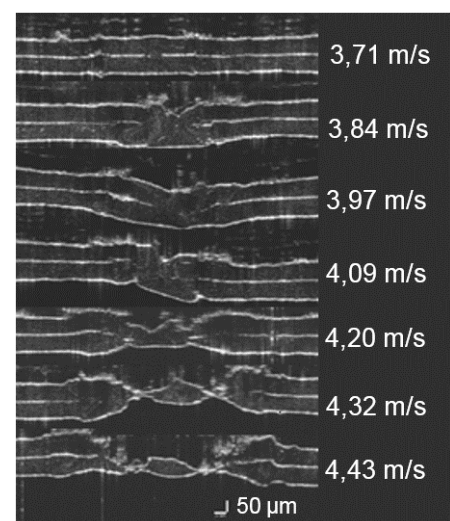


Abb.4: OCT-Aufnahmen der Siegelproben



Abb.5: in die Folie eingebrachte Schlagenergie über der Impulsgeschwindigkeit

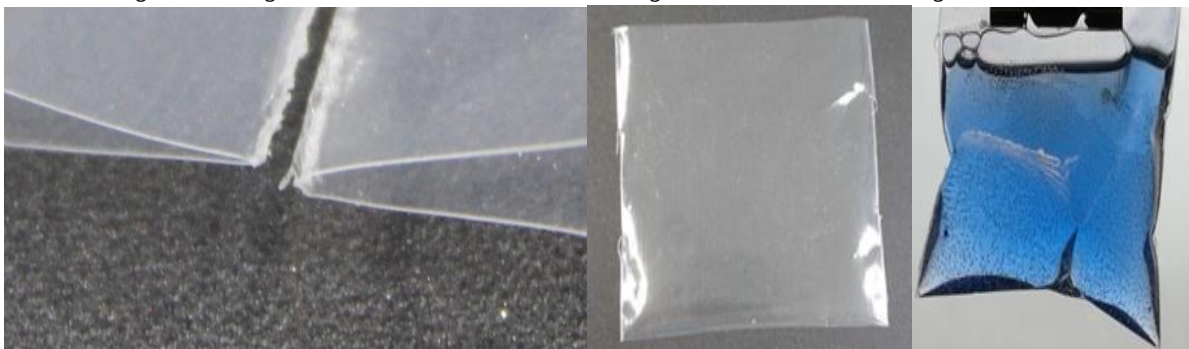


Abb.6: Inhalt und Ergebnisse erster Vorversuche zum Hochgeschwindigkeits- Impuls-Schweißen

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die vorgestellten Versuchsergebnisse zeigen, dass das Verschweißen zweier Folien durch einen äußeren schlagartigen Kraftimpuls grundsätzlich möglich ist. Der hier vorgestellte Ansatz, den Impuls mittels eines Schlaghammers mechanisch in die Folie zu induzieren, hat sich als machbar erwiesen. In Abhängigkeit der gewählten Impulsgeschwindigkeit konnten mit der untersuchten Folie sowohl Flachnähte als auch Trennschweißnähte erzeugt werden. Die aufgenommene Energie, welche zum Aufschmelzen des Kunststoffes und zum Verbinden der beiden Lagen führte, war dabei überaus gering. Weiterhin konnte mit dem Verfahren ein praxistauglicher, wasserdichter Folienbeutel hergestellt werden. Weitere Vorversuche zeigten, dass technische Ansätze, den schlagartigen Impuls mit Hilfe formloser Medien wie Gase oder Flüssigkeiten auf die Folie zu übertragen, ebenfalls möglich sind.

Aus den Ergebnissen lässt sich für einen Siegelprozess bzw. Trennschweißprozess mittels Schlagimpuls ein äußerst vielversprechendes Potential ableiten, welches im Folgenden aufgeführt ist:

- kalte Schweißwerkzeuge (Einsatz bei wärmeempfindlichen Produkten)
- einfache, robuste Anlagentechnik; Umsetzung ausschließlich mit Muskelkraft denkbar (Entwicklungs- und Katastrophenhilfe)
- extrem kurze Prozesszeit; Einbindung in kontinuierlich arbeitende Fertigungsprozesse möglich
- kleinste Nahtbreiten, d.h. Materialeinsparung
- sehr geringer Energiebedarf! / sehr hoher energetischer Wirkungsgrad

Hinsichtlich der der physikalischen Vorgänge während des Impulsen, der Auswahl geeigneter Kunststoffe sowie optimaler Verfahrensparameter und technischer Umsetzungen gibt es erheblichen Untersuchungsbedarf.

Literaturverzeichnis

- [1] Neugebauer, R., et al.: Impulse Forming Technologies – Shaping, cutting and joining at high speed: 3rd International Conference on Accuracy in Forming Technology ICAFT und 16. Sächsische Fachtagung Umformtechnik SFU, Chemnitz, 2009
- [2] Barthel, T.: Prozessanalyse und effektive Gestaltung von Hochgeschwindigkeitsschneidprozessen. Dissertation, TU Chemnitz, Chemnitz, 2016
- [3] Wang, J. Z., et al.: High velocity compaction of ferrous powder. Powder technology, 192. Jg., Nr. 1, S. 131-136, 2009
- [4] Kara, H.: Untersuchung des viskoelastisch exzentrischen Knickens von Polymeren. Dissertation, TU München, München, 2005
- [5] Azhadar, B., et al.: Development of a high-velocity compaction process for polymer powders. Polymer Testing, 24. Jg., Nr. 7, S. 909-919, 2005
- [6] Röthemeyer, F., Sommer, F.: Kautschuktechnologie. Hanser-Verlag, München, 2013
- [7] Schutzrecht DE 199 54 653 B4, ConiTch Profile GmbH, Hannover, 2008
- [8] Menges G. et al.: Menges Werkstoffkunde Kunststoffe, Hanser-Verlag, München, 2014
- [9] Christoph, G.: Bruchprozesse von Polymeren bei tiefen Temperaturen, Dissertation, Forschungszentrum Karlsruhe, 1996
- [10] Buxton, A. L.: Welding technologies for polymers and composites. In: Proceedings of the IMechE Seminar. 2002
- [11] Pereira da Costa, A. et al.: A Review of Welding Technologies for Thermoplastic Composites in Aerospace Applications. Journal of Aerospace Technology and Management, 4. Jg., Nr. 3, S. 255-266, 2012
- [12] Potente, H.: Fügen von Kunststoffen, Hanser-Verlag, München, 2004