

Energieeffiziente Komponenten und Anlagen für die FVB-Herstellung⁸

Grundlagen zur energieeffizienten und produktionsautomatisierten Gestaltung von homogen beheizbarer Compositewerkzeugen

Dipl.-Ing. Jennifer Watzke

1 Einleitung

Für eine energieeffiziente Fertigung von Bauteilen aus Faserverbund-Kunststoffen sind neuartige Werkzeugkonzepte erforderlich /Wa-12, Wa-13/. In dem vorliegenden Beitrag wird daher eine Substitution von Autoklaven und Wärmeöfen durch die indirekte Integration von Heizelementen in das Werkzeug sowie eine unmittelbare Druckbeaufschlagungen vorgeschlagen. Diese Werkzeugheizung wird elektrisch mittels Kohlefasergewebe innerhalb der Werkzeugkavität realisiert. Mit diesen Entwicklungen ist eine Reduzierung des Energieaufwands auf bis zu 50% und der Produktionskosten auf bis zu 20% als realistisch anzusehen.

2 Herstellung der Werkzeugkavität

Werkzeugkavitäten für konventionelle Werkzeuge für die Faserverbundherstellung mittels Autoklaven werden galvanisch abgeschieden um hohe Oberflächengüten und komplexe Formgeometrien abbilden zu können. Für die Galvanische Abscheidung wird auf Basis von CAD-Dateien des Bauteils ein Badmodell gefertigt Abb 1., auf dem sich im galvanischen Bad das Nickel ablagern kann.



a)

b)

Abb. 1.: a) Bearbeitung des Badmodells im Fräszentrum, b) fertiges Badmodell

Das Badmodell wird mit einer elektrisch leitenden Beschichtung versehen und anschließend in das galvanische Bad getaucht. Innerhalb von 6 bis 8 Wochen bildet sich eine 5 – 8 mm starke Nickelschicht auf. Das Prinzip des Verfahrens ist auf Abb. 2 dargestellt.

⁸ Das Projekt wird über das Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Projektträger Karlsruhe Produktion und Fertigungstechnologien (PTKA-PFT) im Rahmen der Fördermaßnahmen "KMU-innovativ: Ressourcen- und Energieeffizienz" des Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert.

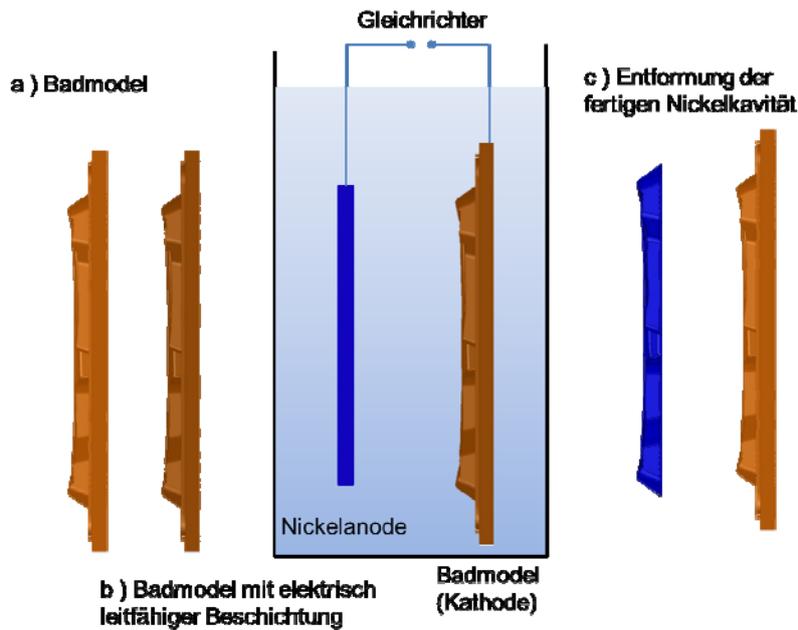


Abb. 2.: Prinzip der galvanischen Abscheidung

Bevor die endgültige Schichtdicke erreicht ist, wird das Badmodell zusammen mit der Kavität aus dem galvanischen Bad gehoben und Spannstifte auf ihr befestigt um danach noch einmal in das galvanische Bad zu tauchen. Die Spannstifte dienen bei sehr großen und komplexen Werkzeugen dazu die Maßhaltigkeit zu gewährleisten. An Hand der Abstände der Spannstifte wird für jedes Werkzeug individuell ein Werkzeugrahmen gefertigt. Der Werkzeugrahmen gewährleistet die benötigte Steifigkeit für die Kavität. Abb. 3 zeigt den Werkzeugrahmen und die Spannstifte, die in die galvanische Nickelkavität eingelassen sind.

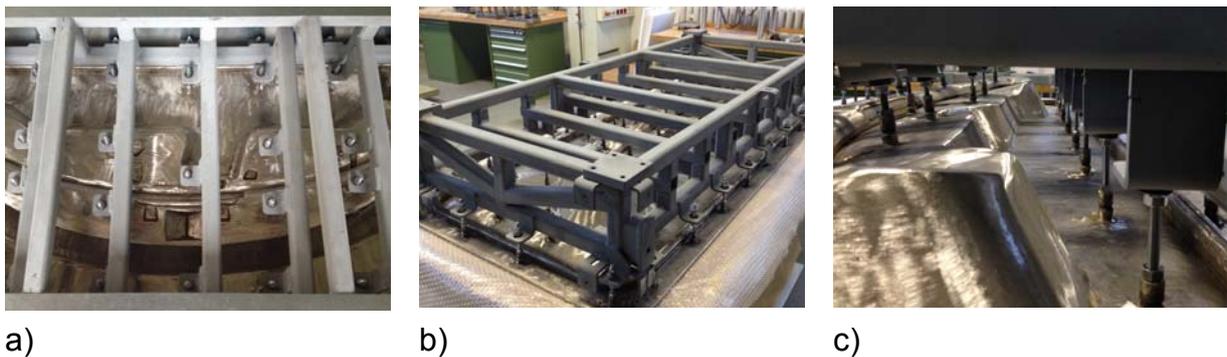


Abb. 3.: a) Kavität und Rahmen von Unten gezeigt, b) Kavität und Rahmen in Seitenansicht, c) Verankerung der Spannstifte in der Nickelschale

Erst nach der Montage des Rahmens auf die Spannstifte und damit auf die Nickelkavität wird diese von dem Badmodell getrennt. Das Badmodell wird dabei zerstört.

Für die elektrische Beheizung mittels Kohlefasergewebe muss die Nickelkavität gegen elektrischen Durchschlag präpariert werden.

3 Anschluss der elektrischen Beheizung

Da sich die galvanische Abscheidung an verschiedenen Formelementen unterschiedlich ausbildet, ist die Drapierung von elektrischer Isolation und Heiztextilien erschwert und muss gesondert betrachtet werden.

3.1 Elektrische Isolation

Um die elektrische Isolierung zu gewährleisten müssen die Isolationsmaterialien genau an die Oberfläche angepasst werden. Aus diesem Grund wurden drei Isolationsmedien miteinander verglichen und auf ihre Haltbarkeit untersucht. Untersucht wurden Elektroschutzlack, Mineralklebstoff und Polytetrafluorethylenfolie (PTFE). Elektroschutzlack ist auf Grund seiner geringen Temperaturbeständigkeit nicht geeignet den erforderlichen Temperaturbereich von 100°C – 120°C des Werkzeuges stand zu halten. Somit ist dieser Werkstoff nicht geeignet für den Einsatz in einem elektrisch beheizbaren Werkzeug. Der mineralische Klebstoff hat im Vergleich zu der PTFE-Folie eine bessere Wärmeleitfähigkeit und eine höhere Temperaturbeständigkeit, allerdings ist die Durchschlagfestigkeit mit 3kV/mm relativ gering und die Haftung des Klebers an der Oberfläche zu schlecht um eine optimale elektrische Isolierung gewährleisten zu können. Die PTFE-Folie hat eine hohe Durchschlagfestigkeit, die Temperaturbeständigkeit von 300°C ist ausreichend für die Betriebstemperatur von 120°C und eine sehr gute Haftung an der Oberfläche. Die niedrige Wärmeleitfähigkeit wird aus sicherheitstechnischen Gründen akzeptiert, siehe Tab.1.

Tab. 1: Vergleich der untersuchten Werkstoffe zur elektrischen Isolation

	PTFE-Folie, selbstklebend	Mineralklebstoff	Elektroschutzlack
Durchschlagfestigkeit	40 kV/mm	3 kV/mm	110 kV/mm
Wärmeleitfähigkeit	0,24 W/m*K	1,44 W/m*K	
Temperaturbeständigkeit	300°C	1200°C	100°C
Haftung	sehr gut	schlecht	gut

Die Werkzeugkavität wird auf der hinteren Seite vollständig mit PTFE-Folie überzogen, dabei sollen alle Formgeometrien gut herausgearbeitet werden. Abbildung 4 zeigt die Unterseite der Werkzeugkavität mit ihren Spannstäben und die aufgetragene elektrische Isolation. Die Spannstäbe wurden zusätzlich mit einem Silikon Schlauch umhüllt, Abb. 4 c), um hier ebenfalls einen elektrischen Kontakt zu verhindern. Silikon besitzt mit 10 kV/mm ebenfalls eine hohe Durchschlagfestigkeit und ist für die Isolierung der Spannstäbe geeignet.

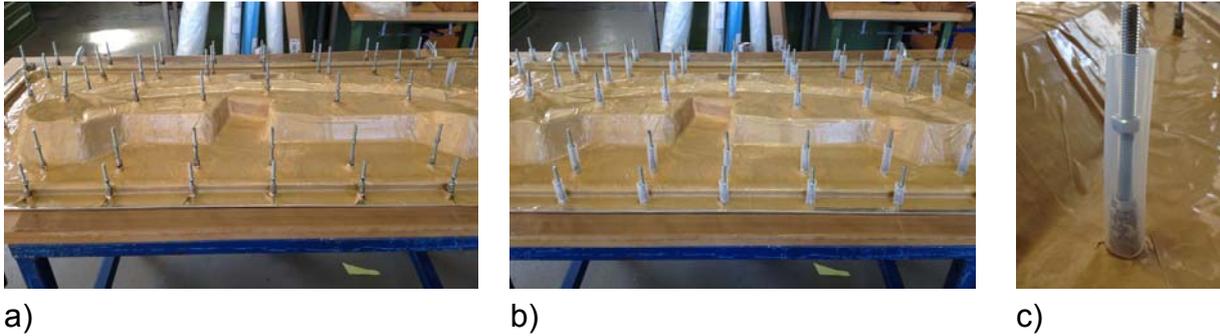


Abb. 4.: a) Rückseite der Kavität mit aufgebrachter PTFE-Folie, b-c) zusätzliche Isolierung der Spannstifte mit Silikon.

3.2 Elektrische Anschlüsse

Die Nickelkavität wird mit 3600 W auf 120°C aufgeheizt. Die elektrische Temperierung soll mit 40 V, was innerhalb des Bereiches der Kleinschutzspannung liegt, betrieben werden. Durch den spezifischen Widerstand von 11 Ohm pro Meter für das Heiztextil ergibt sich eine Parallelschaltung mit 16 Textilstücken von 0,5 m Länge, Abb 5.

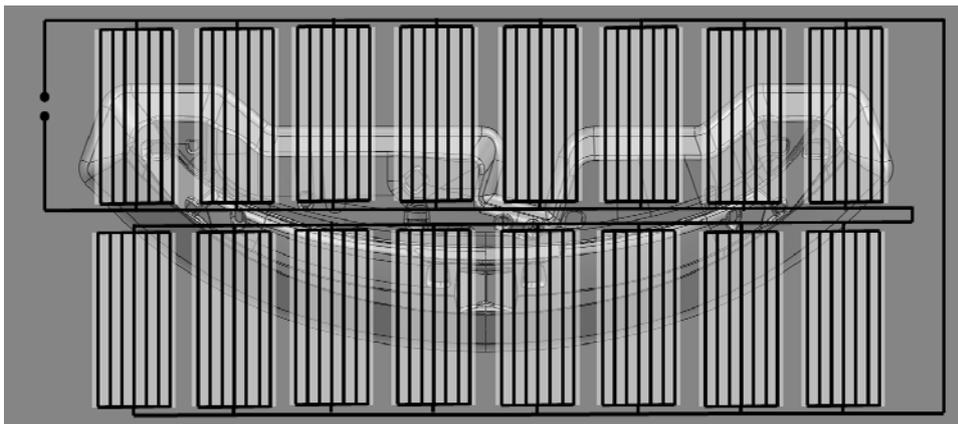


Abb. 5.: Schaltbild für die Anschlüsse der Textilien auf der Werkzeugkavität.

Die Reduzierung der Wärmeverluste wird mittels mineralischer Dämmwolle realisiert. Diese ist feuerfest und flexibel, so dass sie an alle Formelemente angepasst werden kann.

Eine homogene Beheizung kann nach Gewährleistung aller sicherheitsrelevanter Maßnahmen und der Anpassung des elektrischen Widerstandes der Textilien an die Heizleistung realisiert werden.

4 Ausblick

Elektrisch beheizbare Werkzeuge für die Compositeherstellung können durch den intelligenten Einsatz von Heizgeweben noch verbessert werden. Vorteile sind hier die flexible Montage der Gewebe, die sich an komplexe Oberflächen anpassen können, die Anpassung der Heizleistung durch den Zuschnitt und damit die Änderung des elektrischen Widerstandes und die schnelle Erwärmung. Optimierungsmöglichkeiten gibt es bei der Anschlussgestaltung der einzelnen Kohlefaserstränge und der

Strickgeometrie der Kohlefaserstränge, die an die Geometrie der Werkzeuge angepasst werden kann.

Literatur

- /Wa-12/ Watzke, J.: Grundlagen zur energieeffizienten und produktionsautomatisierten Gestaltung von homogen beheizbaren Compositewerkzeugen. In: Nestler, A. Forschungsergebnisbericht 2012 der Arbeitsgruppe Produktionsautomatisierung, Zerspan- und Abtragtechnik. TU Dresden, 2012; S. 11-14
- /Wa-13/ Watzke, J.: Energieeffiziente Komponenten in automatisierten Prozessketten für Faserverbundbauteile. Vortrag zum Fachkolloquium „Produktionsautomatisierung, Zerspan- und Abtragtechnik - Innovation mit Nachhaltigkeit“. Vortragsband zum 16. Fachkolloquium am 27.09.2013, Dresden: Selbstverlag TU Dresden, ISBN 978-3-86780-359-5
- /HIG-14/ <http://www.hightechflon.com/>
- /OMG-14/ <https://www.omega.de/>
- /CRC-14/ <http://www.crcind.com/crc/>