
Kurzfassung

Im Zuge der steigenden Anzahl von Einsatzmöglichkeiten der Faserverbundwerkstoffe in den verschiedensten Industriebereichen spielt die Entwicklung bzw. Weiterentwicklung neuer und effektiverer Verarbeitungstechniken eine bedeutende Rolle.

Dabei findet derzeit das Harzinjektionsverfahren (LCM) ausschließlich für kleinere bis mittlere Stückzahlen seinen Einsatz. Aufgrund der sehr großen Stückzahlen im Automobilbereich, ist dieses Verfahren hier zurzeit weniger interessant. Daher werden große Anstrengungen unternommen, das Harzinjektionsverfahren besonders für solche Bauteile attraktiver zu machen, die gegenwärtig mit Hilfe des Prepreg-Verfahrens hergestellt werden. Dabei spielt die Reduktion der hier vergleichsweise hohen Zykluszeit eine tragende Rolle. Die Dauer eines Zyklus wird hierbei hauptsächlich durch die Vorbereitung und Herstellung der Verstärkungsstruktur (Preform) sowie durch die Bestückung des Werkzeuges bestimmt. Diese so genannte Preform-Technik weist daher ein sehr großes Entwicklungspotential auf, mit dem Ziel, solche Verstärkungsstrukturen herzustellen, die nach der Injektion keine Nacharbeit erfordern. Solche Strukturen werden auch als „net shape, ready-to-impregnate“- Preform bezeichnet. Die hierfür notwendigen Techniken stammen vornehmend aus der Textilindustrie, wie z.B. die direkte Preformtechnik, das Nähen oder Kleben (Binder-Technik).

Ziel der vorliegenden Dissertation ist es, die Möglichkeiten der Nähetechnik bezogen auf die Herstellung der Preforms zu untersuchen. Hierfür werden die verschiedenen Naht- und Verbindungsarten hinsichtlich ihres Einsatzes in der Preformtechnik, wie die *Fixier- und Positionier-*, die *Füge- oder Verbindungsnaht* und die *Montagenah*t, untersucht.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde zunächst innerhalb einer Studie zur „net shape“-Preformtechnik eine Versteifungsstruktur entwickelt und hergestellt. Diese Struktur soll dabei der Veranschaulichung der Möglichkeiten und Einsatzbereiche der Nähetechnik bei der Preformtechnologie dienen. Zudem kann so ein mehrstufiger Preformherstellungsprozess demonstriert werden. Ferner zeigt diese Studie, dass ein hochgradiger, automatisierter Prozess, welcher zudem eine durchgängige Qualitätskontrolle ermöglicht, realisiert werden konnte.

Als ein weiterer Schritt wurde ein Prozess zur Herstellung einer dreidimensionalen Preform, der die Anwendung verschiedener thermoplastischer, niedrigtemperaturschmelzender Nähgarne zulässt, ausgearbeitet. Hierbei wurden die Vorteile der Näh- und der Binder-Technologie miteinander verbunden. Außerdem konnte durch die bereits formstabile und imprägnierungsfertige Preformstruktur, die Bestückung des Werkzeuges wesentlich vereinfacht werden. Um die mechanischen Eigenschaften der Preforms bestimmen zu können, wurden quantitative Messmethoden erarbeitet. Hierdurch konnten anschließend die Einflüsse der Orientierung sowie der Stichdichte ermittelt werden. Zudem wurden die folgenden drei grundlegenden Eigenschaften untersucht: die spezifische Biegesteifigkeit, der so genannte Rückspringwinkel sowie die Rückstellkraft nach dem Thermoformen hinsichtlich der verschiedenen Nähtypen.

Um dies zu ergänzen, wurden weiterführende Untersuchungen zu den Materialeigenschaften der Nähfäden, die bei der dreidimensionalen Preformtechnik eingesetzt werden können, durchgeführt. Dabei ist neben der niedrigen Schmelztemperatur die vollständige Auflösbarkeit der Nähgarne in den ungesättigten Polyester- und Epoxidharzen besonders wichtig. Auf Grund dieser vollständigen Auflösung der Fäden in der Matrix können die Stichlöcher wieder vollkommen verschlossen werden. Dadurch kann eine Reduktion des Einflusses solcher Stichlöcher auf die mechanischen Eigenschaften des Faserverbundwerkstoffes erreicht werden. Mit Hilfe dieser Untersuchungen wurden schließlich zwei polymere Nähgarne als vielversprechend beurteilt. Diese weisen eine Schmelztemperatur von weniger als 100 °C sowie eine gute Lösbarkeit, besonders im Harzsystem *RTM 6*, auf.

In der Preformtechnik werden die Nähte nicht nur als *Positionier-* oder *Montagen*naht eingesetzt, sondern können in einer Struktur als auch als Verstärkungselement, eine so genannte *Verstärkungsnaht*, verwendet werden. Der Zweck einer solchen Naht ist die interlaminaire Verstärkung von monolithischen oder Sandwichstrukturen. Zudem besteht die Möglichkeit, diese zur Fixierung von metallischen Funktionselementen (Inserts) in den Faserverbundwerkstoff zu benutzen. Hinsichtlich dieser Möglichkeiten wurden im Rahmen dieser Arbeit erfolgreich Untersuchungen durchgeführt. Dabei wiesen die eingenähten Kräfteinleitungselemente in durchgeführten statischen Zugversuchen eine annähernd 200 % höhere maximale Zugkraft verglichen mit entsprechenden Elementen (BigHead®), die nicht durch eine Naht fixiert wurden.

Weitere Untersuchungen zeigten auch, dass eine doppelte Naht nicht eine proportionale Verdoppelung der maximal erreichbaren Zugkraft bewirkt. Der Grund hierfür liegt an einer partiellen Zerstörung des vorhandenen Nähgarns der ersten Naht begründet durch den doppelten Einstich in die bereits bestehenden Löcher beim mehrmaligen Durchlaufen der Nadel. Der größte Verstärkungseffekt konnte schließlich bei der interlaminaren Einbettung und der Vernähung des Insert erreicht werden. In diesem Fall kann eine Delamination, wie sie bei lediglich interlaminar eingebetteten Inserts auftritt, verhindert werden.

Zusätzlich wurden statische Scherversuche durchgeführt, um auch in diesem Belastungsfall die Versagensart zu untersuchen. Dabei stellte sich heraus, dass nicht die Nähte sondern der Insert versagte. Auf Grund des Materialbruchs des Inserts, sowohl in Zug- als auch in Scherversuchen, wurde in einem weiteren Schritt ein optimiertes Insert entwickelt. Bei diesem wurde der Sockel in soweit modifiziert, dass die maximale Versagenslast des Nähgarns ermittelt werden konnte. Dabei stellte sich heraus, dass Glas-, Kohlenstoff- und Aramidfasern sich nur bedingt als Verstärkungsgarn zur Fixierung von Inserts eignen. Im Gegensatz dazu sind die Polyestergerne als ausreichende Verstärkung gut geeignet. Weitere Vorteile des Polyestergerne sind die niedrigeren Kosten sowie die gute Vernähbarkeit. Anschließend wurde eine solche Verbindung des Inserts mit einem Faserverbundwerkstoff mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode (FEM) simuliert. Dabei zeigte sich eine gute Übereinstimmung der simulierten Ergebnisse mit denen aus dem statischen Zugversuch mit dem weiterentwickelten Insert.

Auf Grund der elektrischen Leitfähigkeit von Kohlenstofffasern, können Fäden aus diesem Material auch als Sensoren zur Überwachung einer Struktur oder Verbindung eingesetzt werden. Hierfür wurden ebenfalls Untersuchungen durchgeführt. Dabei konnte mit Hilfe der Änderung des elektrischen Widerstandes auf Schädigungen der Fasern geschlossen werden. Somit können nicht nur das Bestehen einer Schädigung, sondern auch der annähernde Ort ermittelt werden. Die Untersuchungen zeigten somit, dass die Kohlenstofffasern nicht lediglich als Verstärkung sondern auch als Überwachungssensor bei einem eingebetteten Insert dienen können.

Im Rahmen aller Untersuchungen konnte das große und vielversprechende Potential der Nähtechnik bei der Herstellung von Preform-Bauteilen aufgezeigt sowie ein Einblick in einige von vielen Anwendungsmöglichkeiten gegeben werden.