

## Kurzfassung

Für die Herstellung von Faser-Kunststoff-Verbunden (FKV) in kleinen und mittleren Serien sind die Harzinjektionsverfahren (LCM = Liquid Composite Molding) in Verbindung mit konturgenau hergestellten Preforms prädestiniert. Die Herstellung solcher dreidimensionaler Verstärkungsstrukturen erfolgt vor der Harzinjektion in einem eigenen Preform-Prozess. Die trockenen Fasern werden in vorgegebener Menge – orientiert am gewünschten Faseranteil des Bauteils – in die vorgegebene Orientierung gebracht und fixiert. Beim Einsatz der nähtechnischen Konfektionierung existieren Herausforderungen bezüglich einer Konsistenz in Bezug auf die Qualität der Preforms und der resultierenden Lamine sowie der erreichbaren mechanischen Eigenschaften der gefertigten Bauteile. Damit betrifft eine Vielzahl der produktionstechnischen Aspekte bei der Herstellung der Preforms die gesamte Prozesskette zur Fertigung von FKV in LCM-Verfahren.

Im experimentellen Teil der Arbeit wird der Einfluss der verschiedenen Parameter des Nähprozesses auf die Qualität der gefertigten Preforms und der Lamine und somit auf die mechanischen Eigenschaften der Bauteile untersucht und quantifiziert. Darunter fallen die Auswahl des Nähfadens, Maschinenparameter, prozesstechnische Nachteile des Nähens und Fertigungshilfsmittel, die gemäß ihrer Einflussgröße in Bezug auf den Preformprozess aber auch auf die Harzinjektion untersucht und klassifiziert werden. Zusätzlich werden die faserfreien Bereiche im Allgemeinen und die sich in Dickenrichtung ellipsenförmig ausbildenden Stichlöcher im Speziellen mikroskopisch anhand der hergestellten Lamine untersucht und ausgewertet. Es wird so eine Korrelation zwischen dem gewählten Nähfaden, den jeweiligen Nähmaschinenparametern und dem Phänomen der Ellipsenbildung nachgewiesen. Über die statistische Methode der Varianzanalyse werden aus den untersuchten Parametern die Haupteinflussfaktoren auf die Formtreue und Qualität der Preforms ermittelt.

Als ein Ergebnis der Beobachtungen innerhalb der experimentellen Studien sind die Anforderungen an den Nähfaden für das nähtechnische Preforming und das Strukturnähen dokumentiert und gemäß ihrer Bedeutung in der Verarbeitung des Verbundwerkstoffs erklärt. Es werden dadurch Selektionskriterien bezüglich des Nähfadens in Abhängigkeit von der Endanwendung geschaffen. Insbesondere werden dabei auch Untersuchungen mit Polyesternähfaden als Vertreter für den

Einsatz beim Hochgeschwindigkeits-Preforming durchgeführt. Für die Bewertung der Anwendbarkeit von Polyesternähfäden bei der nähtechnischen Konfektion von Faserhalbzeugen werden aktuelle und zukünftige Herausforderungen detailliert herausgestellt, die für einen umfassenden Einsatz bei der Herstellung von Bauteilen aus FKV überwunden werden müssen. Hierfür werden die Einflussgrößen der physischen Struktur des Nähfadens auf die Qualität und die Eigenschaften der Lamine, sowie deren Beziehung untereinander diskutiert und analysiert. Ferner werden die sich durch die Verwendung verschiedener Faserschichten ergebenden Effekte untersucht.

Für die Bestimmung der Einflussgrößen des Nähens auf dreidimensional verstärkte Lamine werden einige auf dem Markt verfügbare Hochleistungsgarne wie Kohlenstoff-, Glas- oder Zylon-Nähfäden eingesetzt und untersucht. Nähfäden, die aus Kohlenstoff- oder Glasfasern hergestellt werden, sind sehr starr und erzeugen damit eine Reihe an Defekten. Es wurde ein darauf angepasstes und optimiertes Nähverfahren eingesetzt, um diese Laminatdefizite bei der zwei- und dreidimensionalen Konfektion zu minimieren und mechanischen Eigenschaften, sowie die Oberflächenqualität der FKV zu verbessern.

In einem weiteren Abschnitt werden der Nähprozess und die gefertigten Preforms optisch nach deren Qualität beurteilt. Dazu wurden die Nähdefekte und ihr Einfluss auf die FKV-Struktur einem Monitoring unterzogen. Die Kompaktierung der Fasern innerhalb eines vernähten und eines unvernähten Lagenaufbaus wird untersucht, sowie eine Korrelation mit den Anlagenparametern nachgewiesen. Durch diese Studie können die Zusammenhänge zwischen Nähparametern und resultierender Kompaktierung geklärt werden, wobei ebenfalls durch eine Varianzanalyse die dominierenden Einflussfaktoren herausgearbeitet werden. Abschließend wurden die Auswirkungen der Abfolge von Nähvorgängen auf die net-shape Preforms in Bezug auf den Faserverzug untersucht.

---

## Abstract

Sewn net-shape preform based composite manufacturing technology is widely accepted in combination with liquid composite molding technologies for the manufacturing of fiber reinforced polymer composites. The development of three-dimensional dry fibrous reinforcement structures containing desired fiber orientation and volume fraction before the resin infusion is based on the predefined preforming processes. Various preform manufacturing aspects influence the overall composite manufacturing processes. Sewing technology used for the preform manufacturing has number of challenges to overcome which includes consistency in preform quality, composite quality, and composite mechanical properties.

Experimental studies are undertaken to investigate the influence of various sewing parameters on the preform manufacturing processes, preform quality, and the fiber reinforced polymer composite quality and properties. Sewing thread, sewing machine parameters, shortcomings of sewing process, and remedies are explained according to their importance during preforming and liquid composite molding. The stitches and fiber free zone in the form of ellipse that are generated in the thickness direction were investigated by evaluating the laminate micrographs. Correlation between ellipse formation phenomenon, sewing thread, and sewing machine parameters is established. A statistical tool, analysis of variance, was used to emphasize the major preform processing factors influencing the preform imperfections.

For assessing the preform quality, the observations of sewing thread requirements for preform and structural sewing were well documented during the experimental studies and explained according to their significance in the composite processing. Furthermore, selection criteria for sewing thread according to end application are discussed in detail. Investigations on polyester sewing thread as a high speed preform manufacturing element are also performed. Applicability of polyester sewing thread for the preform sewing and challenges to be overcome for its extensive utilization in the composite components are explained. Apart from this, influence of physical structure of sewing thread on the laminate quality and properties are explained and relationship between them is discussed in brief. Furthermore, challenges caused due to applied spin-finishes and sizing and remedies for the same are discussed.

Sewing threads made of high performance fibers that are available in the market, e.g., carbon, glass, and Zylon are studied for effect of thread material on through-the-thickness laminate properties. Threads made up of carbon or glass fibers are very rigid and produces number of defects, which is a major cause of concern. Optimized sewing procedure has been implemented to minimize the in-plane and through-the-thickness imperfections and to improve mechanical properties and surface characteristics of composite laminate.

Preform sewing process and final ready to impregnate preforms were analyzed for quality appearance. The sewing defects and their influence on composite structure are monitored. Preform compressibility before and after the sewing operations are intensively studied and correlation with sewing parameters is developed. Influence of sewing process parameters on the warpage and change in preform area weight are also explained in detail. Results of analytical experiments can help to improve further exploitation of sewn preforms for composite manufacturing and overall preform and laminate quality.