

JEDES DETAIL ZÄHLT CONSIDERING ALL DETAILS

In situ Konsolidierung komplexer 3D-Bauteile dank TP-AFP Prozesssimulation

Laserunterstütztes Automated Fiber Placement (AFP) thermoplastischer Composites ermöglicht die effiziente, autoklavfreie Fertigung von Hochleistungsbauteilen. Eine hohe Bauteilqualität kann nur durch exakte Prozessführung während der Ablage garantiert werden. Hierfür entwickelte die Technische Universität München (TUM) eine Simulation des Ablageprozesses von komplexen 3D-Bauteilen.

Seit 2012 erforscht der Lehrstuhl für Carbon Composites (LCC) der TUM an einer Anlage des Herstellers AFPT GmbH den Thermoplast-Automated Fiber Placement (TP-AFP) Prozess mit dem Schwerpunkt in situ Konsolidierung. Dabei werden faserverstärkte Thermoplast-Tapes mit einem Laser aufgeschmolzen und durch eine Andruckrolle zum fertigen Laminat zusammengepresst. Diese autoklavfreie Fertigung spart Fertigungszeit und -kosten.

Entscheidende Details

Für die in situ Konsolidierung müssen während der Ablage alle Prozessparameter genau innerhalb der zulässigen Toleranzen gehalten werden. Wichtige Parameter sind vor allem der Kompaktierungsdruck, die Erwärmung und Abkühlung der Tapes sowie deren zeitlicher Verlauf bei der Ablage. Diese entscheidenden Prozessparameter sind beim Wickeln von Rohren und Drucktanks sowie bei der 2D-Ablage von flächigen Bauteilen weitestgehend konstant und können auf der Anlage optimal geregelt werden.

Erweiterte Möglichkeiten

Bisher waren TP-AFP Bauteile mit in situ Konsolidierung daher auf diese einfachen Geometrien beschränkt. 3D-Bauteile, beispielsweise aus dem Automobilbau oder der Luft- und Raumfahrt, weisen oft unterschiedlich stark konvex und konkav gekrümmte Bereiche auf (Abb. 1). In diesen Bereichen und vor allem an den Übergängen verändern sich die Prozessrandbedingungen stark.

Mit der Geometrie des Bauteils ändert sich die Einstrahlung des Lasers auf die Tapes und das Laminat, da Brennfleckgröße, Einstrahldauer und -winkel direkt davon abhängig sind. Absorption und Reflexion der Laserstrahlung und daraus folgend auch die effektive Prozesstemperatur müssen für 3D-Bauteile während des Ablageprozesses laufend nachgeführt werden. Nur so können ein Überhitzen mit einhergehender Schädigung des Materials oder mangelnde Erwärmung der Fügepartner und damit unzureichende Konsolidierung verhindert werden.

Abb. 1: Ablage an einer konvexen Kante
Fig. 1: 3D lay-up on a convex corner

In situ consolidation for complex 3D parts thanks to TP-AFP process simulation

Laser assisted Automated Fiber Placement (AFP) of thermoplastic composites enables efficient out-of-autoclave manufacture of high performance parts. Solely by exact process control during lay-up a high part quality can be achieved. For this purpose the Technical University of Munich (TUM) has developed a process simulation for the lay-up process of 3D parts.

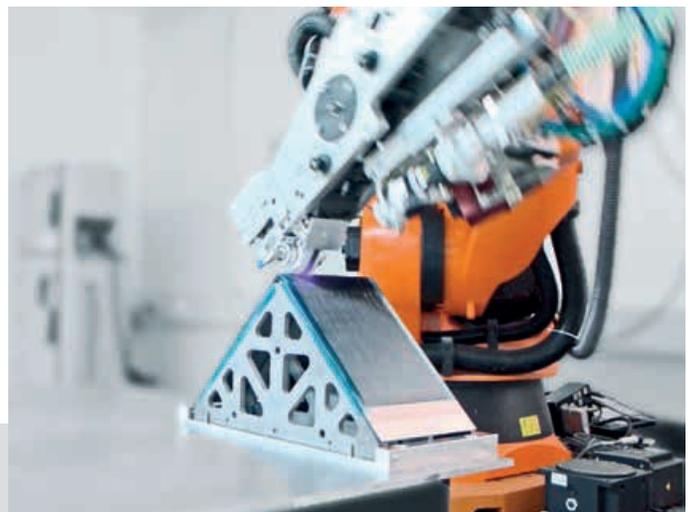
Since 2012 the Chair of Carbon Composites (LCC) of the TUM is researching the Thermoplast-Automated Fiber Placement (TP-AFP) process with the focus on in situ consolidation. The chair is using a laser assisted AFP system from AFPT GmbH. It enables an Out-of-Autoclave manufacture which saves process time and costs.

Decisive details

In situ consolidation requires all process parameters to stay exactly within their tolerance during lay-up. Main process parameters are compaction pressure, heating and cooling of the tapes as well as their processing history during lay-up. These processing parameters are mostly constant during tape winding of tubes or pressure vessels as well as during lay-up of 2D surfaces and can be adjusted by the closed-loop control of the machine for these steady-state processes.

Wider options

Up to now TP-AFP parts with in situ consolidation were limited to these simple geometries. However, most automotive or aerospace parts are three dimensional and show sections with different curvature – convex and concave sections. The process boundary conditions are changing at these sections and especially at the transition zones in between (Fig. 1).



Erfolgreicher Ansatz

Der LCC untersucht zusammen mit AFPT im öffentlich geförderten AiF-ZIM Projekt „Accurat3“ die Ablage an konvex gekrümmten Bauteilbereichen in Versuch und Simulation. In einer selbst entwickelten Prozesssimulation wird das thermische Verhalten des Materials am Übergang zu den gekrümmten Bereichen erforscht. Die thermische Finite Differenzen-Simulation berücksichtigt dabei die exakte Wärmeeinbringung des Laserstrahls inklusive erster Reflexion sowie die Wärmeleitung innerhalb des Laminats und zur Umgebung während der Bewegung des Ablegekopfes über die Bauteilgeometrie (Abb. 2).

An der lehrstuhleigenen Anlage kann die Simulation experimentell nachgestellt werden. Mechanische Schälversuche von Prüflaminaten lieferten dabei den quantitativen Nachweis, dass eine 3D-Ablage im laserunterstützten TP-AFP Prozess mit in situ Konsolidierung möglich ist.

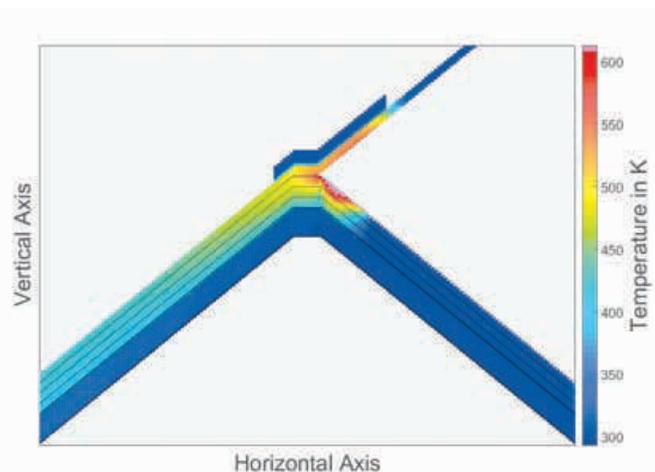


Abb. 2: Thermische Simulation der 3D-Ablage
Fig. 2: Thermal simulation of the 3D lay-up

The AFP tape laying head with its consolidation roller and laser optics is moving along the tool surface on predefined tracks to produce a near-netshape part. As the tool geometry changes the laser characteristics onto the tape are also changing. The shape of the laser spot, heating time and laser angle are directly depending on it. Laser absorption and reflection and resulting process temperature need to be adjusted online for 3D parts during lay-up. Only then overheating and material degradation or insufficient heating of the joining partners and thus insufficient consolidation can be avoided.

Successful approach

The LCC and AFPT are investigating the lay-up on strongly convex part geometries in the public funded project “Accurat3” within the AiF-ZIM funding scheme. Using a process simulation developed in house, the thermal behavior of the material due to laser heating at the transition zones of the part geometry is examined. The finite-difference simulation is considering the exact heat transfer of the laser including the first order reflection as well as heat conduction within the laminate and tooling and heat convection to the ambience with respect to the movement of the AFP placement head (Fig. 2).

Experiments to validate the simulation were conducted at the chair’s TP-AFP machine. Mechanical peel tests of specimens proved quantitatively that a 3D lay-up of complex geometries with in situ consolidation is possible by laser assisted TP-AFP.

Weitere Informationen/Further information:

Dipl.-Ing. Andreas Kollmannsberger,
Lehrstuhl für Carbon Composites/Chair of Carbon Composites, (LCC),
Technische Universität München/Technical University of Munich,
Garching bei München,
kollmannsberger@lcc.mw.tum.de, www.lcc.mw.tum.de