

DAMIT SIE WISSEN, WAS SIE TUN

Moderne Simulationstechniken helfen, Entwicklung und Fertigung von Bauteilen aus Faserverbundwerkstoffen effizienter zu machen

Ob im Flugzeugbau oder in der Automobilindustrie, Leichtbau ist das Gebot der Stunde. Immer stärker rücken deshalb Faserverbundwerkstoffe in den Fokus. Sie verknüpfen geringes Gewicht mit exzellenten mechanischen Eigenschaften, sind aber leider in der Herstellung nicht gänzlich unproblematisch. Um die positiven Eigenschaften optimal für die Produktentwicklung nutzen zu können und Fertigungsprozesse effizient zu planen, sind moderne Simulationsprogramme unverzichtbar. ESI Group bietet mit ihren Softwarelösungen die entsprechenden Werkzeuge.

Das Gewichtseinsparungspotenzial durch den Einsatz von Faserverbundwerkstoffen ist erheblich. Die Forschungsvereinigung Automobilbau etwa ist der Überzeugung, dass Kraftfahrzeuge durch deren Einsatz deutlich leichter gemacht werden könnten. Konkreter ist die Situation in der Flugzeugindustrie, wo Faserverbundwerkstoffe schon seit Längerem mit steigender Tendenz genutzt werden. Liegt ihr Anteil beim Airbus A 380 bei zirka 25 Prozent, so sind es beim Boeing Dreamliner 787 sogar knapp 50 Prozent. Auch in anderen Industriesegmente, wie dem Maschinenbau, steht man davor, die Vorteile des modernen Werkstoffs vermehrt zu nutzen.

Es mag sicherlich Technikbereiche geben, in welchen man geteilter Meinung sein kann, ob und in welchem Umfang numerische Simulationen notwendig oder sogar sinnvoll sind. Für die Entwicklung und Fertigung von Bauteilen aus Faserverbundwerkstoffen stellt sich diese Frage hingegen kaum. Die heute verfügbaren Simulationswerkzeuge stellen eine deutliche Unterstützung bei den einzelnen Prozessschritten dar. Sie eröffnen Optimierungsmöglichkeiten, wie sie mit herkömmlichen Trial-and-Error-Methoden und physischen Prototypen nicht



Simulation der Herstellung einer Rotorblatts für Windenergieanlagen aus Faserverbundwerkstoffen mit den ESI-Produkten PAM-QUIKFORM, PAM-FORM und PAM-RTM

gegeben sind bzw. die den zeitlichen und finanziellen Aufwand in einem kaum akzeptablen Umfang ansteigen lassen würden. Was aber macht den Umgang mit Faserverbundwerkstoffen so schwierig? Neben den Kosten – Carbon beispielsweise ist zirka fünfzigmal teurer als Stahl – sind es vor allem die sehr aufwändigen und langwierigen Fertigungsverfahren. In der Vergangenheit haben deshalb Fa-

serverbundwerkstoffe, speziell bei größeren Stückzahlen, nur eine Außenseiterrolle gespielt. Verschärfend kommt hinzu, dass eine völlig neue ingenieurmäßige Vorgehensweise verlangt wird und die vielfältigen komplexen Zusammenhänge neben hoher Sorgfalt bei Auslegung und Planung auch Erfahrung erfordern, die in vielen Fällen allerdings kaum vorhanden ist.

Bei den sog. Injektions- bzw. Infusionsverfahren sind prinzipiell folgende Prozessschritte zu durchlaufen:

- Vorbereitung; Werkzeuge, Zuschnitt
- Drapierung der Gewebe (Ablegen in Form oder Umformung)
- Imprägnierung
- Entformung, Nachbearbeitung

Zwar erscheint dieser Prozessablauf auf den ersten Blick überschaubar, in der Realität jedoch machen speziell die anisotropen Materialeigenschaften und der aufwändige Fertigungsprozess die Auslegung von Faserverbundbauteilen um einiges aufwändiger als konventionelle Herstellungsprozesse. Um die geplanten mechanischen Eigenschaften im Bauteil tatsächlich umsetzen zu können, ist eine Vielzahl von Einflussfaktoren zu berücksichtigen u. a. korrekte Faserorientierung des Materials, fehlerfreie Herstellung der Preform, Definition der Materialeigenschaften des Laminats, Injektion bzw. Infusion des Harzes bei den unterschiedlichen Verfahren.

Die Bewältigung dieser Aufgaben auf der Basis traditioneller Trial-and-Error Methoden ist alles andere als effizient, denn sie erfordert einen erheblichen zeitlichen und finanziellen Aufwand. Wie in vielen anderen Bereichen bietet auch die moderne Simulationstechnik hier Werkzeuge, die Entwicklung und Herstellung von Faserverbundstrukturen deutlich erleichtern.

ESI Group, Pionier und Anbieter von Virtual Product Engineering-Lösungen für die Fertigungsindustrie, bietet ein Portfolio von Simulationslösungen bzw. Programmen, die wichtige entwicklungs- und fertigungstechnische Aspekte bei der Verarbeitung von Faserverbundwerkstoffen abdecken.

- schnelle Überprüfung der Deformation und eventueller Fehler von Armierungen während der Einlage in das Werkzeug (PAM-QUIKFORM)
- Simulation des vollständigen Umformvorgangs zur Erzeugung der Halbzeuge. Faserorientierung Dickenverteilung, Vorhersage von Defekten wie z. B. Faltenbildung (PAM-FORM)
- Simulation des Injektions- und Aushärt-

vorgangs (Füllverhalten, Porosität etc.) für komplette Designentwürfe und Test der entsprechenden Werkzeugtechnik. Optimierung der Prozessparameter Einspritzdruck, Durchflussgeschwindigkeit und Harzmenge, Schließkräfte (PAM-RTM)

- Charakterisierung unterschiedlicher textiler Strukturen (Third-Party-Programm WiseTex)
- Software zur Generierung einer Composite Material-Datenbank; Aufbau von Laminatstrukturen einschließlich Sensitivitätsanalyse zur Bestimmung des idealen Schichtaufbaus (Visual Composite)
- statische oder dynamische Strukturanalyse mit Berücksichtigung gängiger Schadenskriterien (VPS/PAM-CRASH)

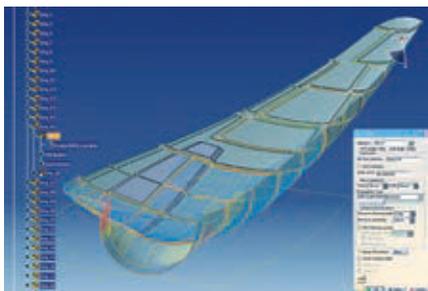
PAM-FORM ist ein an industriellen Arbeitsabläufen orientiertes Simulationswerkzeug für die Auslegung und Herstellung der Halbzeuge sowie der dazu benötigten Werkzeuge (Matrize, Stempel, Niederhalter) unter Berücksichtigung aller Prozessparameter. In den Simulationsläufen wird ermittelt, ob die getroffenen Annahmen bzgl. Laminataufbau, Umformgeschwindigkeit, Druck etc. die Herstellung einer mängelfreien Vorform (keine Falten, unzulässige Verzerrungen des Gewebes etc.) ermöglichen. Visuelle und numerische Ergebnisauswertung ermöglichen eine zielgerichtete Mängelbeseitigung und Prozessoptimierung. Die resultierenden Daten können in PAM-RTM übernommen werden, um die Herstellung der Fertigteilgeometrie zu simulieren. Dazu ist neben der Auswahl des verwendeten Verfahrens (s.o.) und der Positionierung der Einspritzpunkte und Entlüftungen (bei Injektion) die Vorgabe der Prozessparameter (u.a. Einspritzdruck, Fließrate, Formtemperatur, Schließkräfte) notwendig. Die Berechnung ermittelt unter Berücksichtigung der Permeabilität der Vorform den zeitabhängigen Verlauf der Fließfront, Druck- und Temperaturverteilungen sowie das Aushärtprofil. Fehler (z. B. nicht vollständig gefüllte Form) können identifiziert und durch entsprechende Parametervariationen oder auch Modifikationen der Vorform korrigiert werden. Abschließende

strukturmechanische Untersuchungen können entweder mit VPS/PAM-CRASH oder anderen geeigneten Berechnungsprogrammen vorgenommen werden.

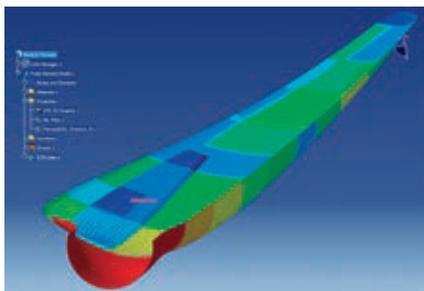
Auch wenn diese Programme den Ingenieur erheblich dabei unterstützen, eine möglichst gute Lösung für seine Aufgabenstellung zu finden, sie sollen und können ihn nicht ersetzen. Ganz im Gegenteil ist ingenieurmäßiges Denken die Grundvoraussetzung für die optimale Ausnutzung der gebotenen Möglichkeiten. ESI bietet Lösungen für unterschiedliche Liquid Composite Moulding-Verfahren (RTM, VARTM, VARI) sowie für das Umformen von thermoplastischen Halbzeugen. Im Rahmen eines europäischen Projekts wird zudem daran gearbeitet, einen zusätzlichen Code für die Simulation von LRI-Verfahren (Liquid Resin Infusion) in PAM-RTM zu integrieren. Auch bei der Erzeugung von Halbzeugen verfolgt man die Entwicklung neuer Technologien und Erweiterungen (z. B. Flechten, Vernähen einzelner Matten, Einbringen lokaler Verstärkungen), um sie Anwendern möglichst schnell verfügbar zu machen, sofern dies nicht bereits erfolgt ist. Numerische Simulationstechniken sind heute unverzichtbar für die Entwicklung komplexer Bauteile aus Faserverbundwerkstoffen. Zum einen können damit ohne physische Prototypen die erforderlichen mechanischen Eigenschaften und der Strukturaufbau genau auf den spezifischen Einsatz abgestimmt werden, zum anderen kann die Herstellung bereits in einer frühen Entwicklungsphase mit einbezogen werden, um die Machbarkeit von Konzepten zu überprüfen. Das von ESI angebotene Lösungsportfolio gehört sicher zu den besten Möglichkeiten, ein Virtual Product Engineering von Faserverbundwerkstoffen in die Realität umzusetzen.

Weitere Informationen:

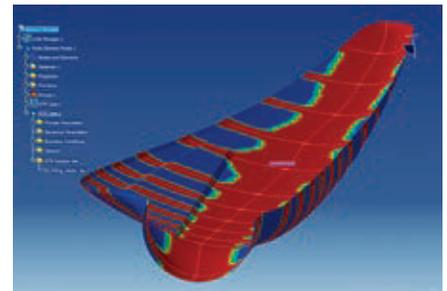
Prof. Anthony Pickett, Scientific Director, ESI GmbH, Neu-Isenburg, Telefon +49 (0) 61 02/2 06 70, E-Mail: anthony.pickett@esi-group.com, www.esi-group.com



Mit PAM-QUIKFORM bzw. PAM-QUIKFORM for CATIA V5 können Ingenieure auf Basis geometrischer Methoden überprüfen, ob die Vorform mit dem gewünschten Faserverbundmaterial und dem gewünschten Lagenaufbau fehlerfrei hergestellt werden kann.



In PAM-RTM bzw. PAM-RTM for CATIA V5 wird basierend auf dem zuvor in PAM-FORM definierten Lagenaufbau die Permeabilität des Laminats für die anschließende Simulation des Füllvorgangs berechnet.



Simulation des Füllverhaltens über die Zeit mit PAM-RTM bzw. PAM-RTM for CATIA V5. Optimierung der Strategie für die Harzinjektion auf Basis der Werkstoffdaten und Prozessparameter des Harzes sowie Anzahl und Position der Einspritzpunkte und Entlüftungen.