

# Projektbeschreibung



## Formenbau mit HexTool<sup>®</sup>

- Projekt: Herstellung eines Kohlefaserwerkzeugs für Leichtflugzeug-Seitenleitwerk mit HexTool<sup>®</sup>



## ► Inhaltsverzeichnis

Was ist HexTool®? .....	3
Weitere Vorteile .....	3
Projektpartner .....	3
<b>1. Festlegen der Geometrie des Urmodells .....</b>	<b>4</b>
<b>2. Auswahl des geeigneten Materials und Herstellung des Urmodells .....</b>	<b>4</b>
<b>3. HexTool® legen .....</b>	<b>5</b>
<b>4. Zwischenverdichten .....</b>	<b>6</b>
<b>5. Final Lay Up .....</b>	<b>7</b>
<b>6. Härtung .....</b>	<b>8</b>
<b>7. Endbearbeitung .....</b>	<b>9–10</b>

## ► Was ist HexTool® ?

Einleitend werden hier noch einmal die wichtigsten Eigenschaften und Vorteile von HexTool® vorgestellt.

HexTool® ist ein Formenbau- Prepreg zur Herstellung von leichten und dimensionsgenauen Produktionsformen in der Prepregverarbeitung. Es besteht aus 50 mm langen, geschnittenen Kohlefasersträngen, die mit einem hochtemperaturbeständigen BMI-Harz (= Bismaleinimid) imprägniert sind. Die Fasern werden auf 46 cm breiten Bahnen regellos abgelegt, verdichtet und zwischen Schutzfolie aufgewickelt.

HexTool® unterscheidet sich in seinen Eigenschaften grundlegend von konventionellen Formenbauprepregs mit Kohlegeweben als Trägermaterial. Mit HexTool® werden ganz neue Konzepte und Strategien möglich, die mit Kompositwerkzeugen bisher nicht realisierbar waren. Der entscheidende Vorteil ist, dass die Endkontur des Formnests nicht durch Abformen eines Positivmodells entsteht, sondern durch CNC-Bearbeitung eines Werkzeug-„Rohlings“. Auf diese Art können auch sehr komplizierte Geometrien mit höchster Präzision, Oberflächengüte und Dauerfestigkeit umgesetzt werden, wie sie sonst nur mit Metallwerkzeugen möglich sind.

## ► Weitere Vorteile

- ++ quasi-isotrope Eigenschaften. Keine Vorgabe an Faserorientierung und Lagen-symmetrie nötig.
- ++ Wärmeausdehnungskoeffizient wie Epoxy/Carbon-Prepregbauteile
- ++ sehr hoher TG; Formen sind für den Dauerbetrieb bis 230°C geeignet
- ++ Dichte 1,55 g/cm<sup>3</sup>, dadurch leichtes Handling auch von großen Formen
- ++ schneller Wandungsaufbau durch 1,3 mm Lagendicke
- ++ Verarbeitbarkeit bei RT mindestens 21 Tage, dadurch können auch große Formen ohne Zeitdruck gelegt werden
- ++ CNC- bearbeitbar, schleif und polierbar
- ++ Formen können repariert und umgestaltet werden

## ► Projektpartner

**Lange & Ritter GmbH**, Faserverstärkte Kunststoffe

**Flight Design GmbH**, Hersteller von Leichtflugzeugen

**Wagner Kunststoffverarbeitung GmbH**

**Hexcel Composites**

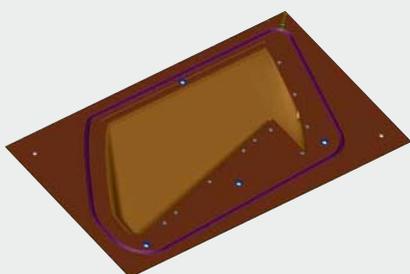
Das Ziel des Projekts war die Umsetzung des neuen HexTool®-Formenbaukonzepts anhand einer serientauglichen Produktionsform zur Herstellung von Kohlefaser-Kompositteilen.

Dabei sollten in ein und derselben Form drei unterschiedliche Produktionsarten realisierbar sein:

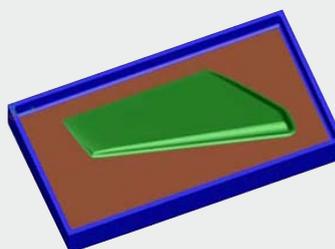
- Handlaminieren
- Vakuuminfusion
- Prepreg

## ▶ 1. Festlegen der Geometrie des Urmodells

Anhand des Bauteil-Datensatzes wurde eine 3D-Simulation der Form erstellt. Unter Berücksichtigung der eingeschränkten Drapierbarkeit des HexTool® Materials wurde entschieden, den besonders schwierigen Bereich der Flügelspitze bei der Konstruktion des Urmodells zunächst wegzulassen, und erst in einem späteren Stadium des Legeprozesses hinzuzufügen (siehe unter Punkt 5). Da die Endkontur erst durch das Befräsen des „Rohlings“ entsteht, konnte die Gestaltung des Urmodells stark vereinfacht werden.



erster Werkzeugentwurf



abschließendes Modelldesign  
Abmessungen: 1700 x 1000 mm

## ▶ 2. Auswahl des geeigneten Materials und Herstellung des Urmodells

Bei der Auswahl des Werkstoffes musste der spezielle Härtingszyklus von HexTool® berücksichtigt werden: Härtungstemperatur 190°C für 4 Stunden unter 7 bar Autoklavdruck. Zudem sollten die Kosten für das Urmodell so niedrig wie möglich gehalten werden. Das Material musste also folgende Anforderungen erfüllen:

- temperatur- und druckfest
- CNC bearbeitbar
- leicht verfügbar
- preiswert

Die Wahl fiel auf Bausteine aus Porenbeton (Ytong), die im Baufachhandel erhältlich sind. Die Ytongsteine wurden mit Mineralkleber zu einem flachen Block zusammengeklebt und anschließend entsprechend des Datensatzes befräst. Um den Stein vakuumdicht zu bekommen, wurde die Innenseite mit Silikonharz versiegelt.



Ytong Urmodell gefräst und versiegelt

### ▶ 3. HexTool® legen

Die Stärke des fertig befrästeten HexTool® Werkzeuges sollte an der dünnsten Stelle 15 mm nicht unterschreiten. Da die Frästiefe 4-5 mm betragen muss, wurde eine Lagenzahl von 15 Lagen HexTool® ermittelt ( $15 \times 1.3 \text{ mm} = 19.5 \text{ mm}$ ).

HexTool® wird wie ein Gewebeprepreg Lage für Lage aufgelegt. Das Zuschneiden erfolgt idealerweise mit einem Vibrationsschneider. Durch Anwärmen der Zuschnitte im Ofen bei 40-45°C wird das Prepreg geschmeidig und lässt sich mit Hartkunststoff-Rollern gut verdichten. Durch partielles Erwärmen mit dem Warmluftfön kann das Prepreg noch besser an Kanten angelegt und in die Ecken gedrückt werden.



Formenbauprepreg HexTool®



Zuschneiden mit Vibrationssäge



HexTool® legen und mit Roller andrücken



durch Warmluft wird das Prepreg geschmeidiger

## ▶ 4. Zwischenverdichten

Um beim anschließenden Fräsen des HexTool® Blocks keine im Material eingeschlossenen Poren freizulegen, ist das regelmäßige Zwischenverdichten von entscheidender Bedeutung. Je kompletter die Prepreglagen während des Legevorgangs konsolidiert und entgast werden, desto besser fällt das Fräsbild aus.

Zum Zwischenverdichten wurde die letzte Prepreglage mit Lochfolie und Vakuumsaugvlies abgedeckt und mit Vakuumfolie abgedichtet. Da das Ytong-Modell keinen ausreichend großen Rand besaß, um mit Tacky Tape abzudichten, wurde das Modell komplett in einen Foliensack eingepackt. Unter maximalem Vakuum wurde bei 40-50°C eine Stunde verdichtet. Durch den Druck und die Wärme wird das Harz plastisch und die Faserlagen setzen sich. Eingeschlossene Luft wird verdrängt und abgesaugt. Nach einer Stunde wurde der Sack geöffnet, und die nächsten HexTool®-Zuschnitte aufgelegt. Es wurde nach der ersten, vierten, siebten und elften Prepreglage zwischenverdichtet. Dadurch, dass bei 50°C das BMI-Harz noch nicht flüssig wird und nicht in das Absaugvlies gelangt, konnte das gesamte Folien- und Vliespaket mehrmals wiederverwendet werden.



eingepackt zum Zwischenverdichten



nach dem Verdichten

## ► 5. Final Lay Up

Nach dem die errechneten 15 Lagen HexTool® auf diese Weise aufgelegt und verdichtet worden sind, wurden die Zonen, in die besonders tief hineingefräst werden muss, mit weiteren Zuschnitten verstärkt. Dies betraf die Leitwerksspitze und den umlaufenden Ringkanal. Auch hier wurde im gleichen Rhythmus zwischenverdichtet. Auf diese Weise entstanden lokal Prepregpakete von insgesamt bis zu 40 Lagen. Ein weiterer Vorteil von HexTool® ist der sehr geringe Abfall. Nahezu jeder Randbeschnitt kann beim Legen mitverwendet werden.



die letzte Lage HexTool® ist gelegt

Jetzt konnte das Werkzeug für den Autoklavprozess vorbereitet werden. Unter Beachtung der Hexcel-Vorgaben wurden spezielle, BMI-resistente Trenn- und Vakuumfolien für das Set-up verwendet. Nachdem sichergestellt war, dass der Vakuumaufbau absolut dicht ist, ging es in den Autoklaven.

## ▶ 6. Härtung

Der Standardhärtungszyklus für HexTool® beträgt 4 Stunden bei 190°C unter 7 bar Autoklavdruck.

### **Standard-Härtungszyklus**

- Vollvakuum anlegen > 0.85 bar
- Aufheizen auf 135°C mit Heizrampe 0.5° - 2°C / Minute
- 30 Minuten halten bei 135°C
- Autoklavdruck auf 7 bar erhöhen
- Aufheizen auf 190°C mit Heizrampe 0.25° - 1°C / Minute
- 4 Stunden halten bei 190°C
- Abkühlen von 190°C auf 150°C mit Abkühlrampe 0.5°C / Minute
- Abkühlen von 150°C auf 60°C mit Abkühlrampe 1°C / Minute
- Druck und Vakuum entfernen bei 60°C

### **Freistehender Temperzyklus**

- Aufheizen auf 150°C mit Heizrampe 0.5° - 2°C / Minute
- Aufheizen von 150°C auf 220°C mit Heizrampe 0.25° - 1°C / Minute
- 16 Stunden halten bei 220°C
- Abkühlen von 220°C auf 150°C mit Abkühlrampe 0.5°C / Minute
- Abkühlen von 150°C auf 60°C mit Abkühlrampe 1°C / Minute

## ▶ 7. Endbearbeitung

Die endgültige Werkzeuggeometrie entsteht durch CNC-Bearbeitung des HexTool®-Rohlings. Dieser Schritt ist einzigartig in der Herstellung von Kompositwerkzeugen. Konventionelle Kohlefaserformen würden beim einseitigen Abfräsen Ihre Symmetrie verlieren und sich verziehen („Rückstelleffekt“). Durch die stark isotropen Eigenschaften von Gewebeprepreps würde das Fräswerkzeug Kohlefaserbündel und Filamente freilegen. In der Folge entstehen in der Oberfläche Poren und Ausbrüche.

HexTool®-Lamine sind dichter und kompakter als konventionelle Tooling-Prepreps. Aufgrund der quasi-isotropen Eigenschaften spielt die Symmetrie des Lagenaufbaus keine Rolle.



Fräsen des Rohlings

Die Kombination aus Kohlefaser und BMI-Matrix erzeugt ein sehr hartes, kompaktes Laminat. Deshalb ist die Verwendung des geeigneten Werkzeugs und die Einstellung der optimalen Fräsparameter entscheidend für das Ergebnis. Die Firma Kunststoff Wagner GmbH, einer der vier Projektpartner, ist Spezialist in der Kohlefaserbearbeitung und hat das Fräsen und Finischen der HexTool®-Form mit Erfolg durchgeführt. Nach einem mehrstufigen maschinellen Bearbeitungsprozess wurde im Formnest eine Oberflächenrauigkeit von 8 µm erreicht. Durch Auftragen eines Spezialversieglers konnte der Wert sogar auf 6 µm verbessert werden.



Versiegeln und Eintrennen



Detailansicht des Dichtungskanals



Formrückseite mit Vakuumverteilern



Das fertige HexTool®-Werkzeug und seine „Erbauer“.

Von links nach rechts: Hubert Croizat (Hexcel Composites), Dirk Lange, Herbert Kiefer (beide Lange & Ritter GmbH), Wulf Wagner (Kunststoff Wagner GmbH)