



Doctoral Thesis

Charakterisierung von Osteosyntheseplatten hergestellt im Composite-Gegentaktfliesspressen, einem neuen Verfahren zur Einstellung anisotrop mechanischer Eigenschaften

Author(s):

Peter, Thomas Andreas

Publication Date:

2001

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004270043> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

CHARAKTERISIERUNG VON OSTEOSYNTHESEPLATTEN
HERGESTELLT IM COMPOSITE-GEGENTAKTFLIESSPRESSEN,
EINEM NEUEN VERFAHREN ZUR EINSTELLUNG
ANISOTROP MECHANISCHER EIGENSCHAFTEN

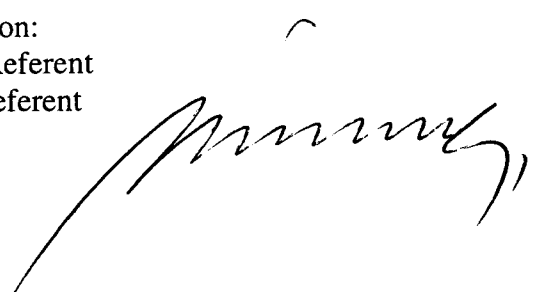
ABHANDLUNG
zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von
THOMAS ANDREAS PETER
Dipl. Werkstoff-Ing. ETH Zürich
geboren am 30. Juni 1968
von Zürich und Unterschlatt TG

Angenommen auf Antrag von:
Prof. Dr. Erich Wintermantel, Referent
Prof. Dr. Paolo Ermanni, Korreferent

2001



ZUSAMMENFASSUNG

Das Composite-Gegentaktfliesspressen (CGF) wurde im Rahmen dieser Arbeit als neue Verarbeitungstechnologie entwickelt. Ausgangspunkt war das Composite-Fliesspressen (CFP) [1], ein net-shape Verfahren, welches die Verarbeitung von endlosfaserverstärkten Thermoplasten mit einem Faservolumenanteil von 61 % in einem Arbeitsschritt erlaubt. Im CFP wird ein endlosfaserverstärkter Rohling über den Schmelzpunkt der Matrix erwärmt und axial in die Formkavität gepresst. Die Faserorientierung wird im CFP während dem Pressvorgang durch die Geometrie der Formkavität vorgegeben und das resultierende Gefüge dieser Bauteile, und somit auch deren mechanische Eigenschaften, sind stark anisotrop. Ziel dieser Arbeit war, nachzuweisen, dass mit dem CGF durch alternierende Bewegung des Werkstoffes in der Formkavität, dem sogenannten Gegentakten, das Gefüge derart beeinflusst werden kann, dass die mechanischen Eigenschaften im Bauteil zum einen isotroper werden und zum anderen in einem gewissen Rahmen eingestellt werden können. Als Matrix wurde PEEK (Polyetheretherketon) verwendet und als Verstärkungsfasern kamen Kohlenstofffasern der Typen AS4 oder IM7 zum Einsatz.

Am Beispiel von zwei Osteosyntheseplatten wurde gezeigt, dass eine Einstellung des Gefüges mittels CGF prozess- oder geometriegesteuert möglich ist. Während das prozessgesteuerte Verfahren in Bezug auf Bildung von Gefügefehlstellen und Konsolidierung stabil ist, kann im geometriegesteuerten Verfahren eine fließungünstige Stelle in der Formkavität eine festigkeitbestimmende Schwachstelle erzeugen, weshalb diese Verfahrensvariante als heikel betrachtet werden muss. Das geometriegesteuerte CGF ermöglicht jedoch eine gezieltere Orientierung der Fasern.

Die Charakterisierung des CGF erfolgte anhand der Osteosyntheseplatte, die prozessgesteuert hergestellt wurde (V-OSP). Die globale Einstellung des Gefüges erfolgte während dem ersten Halbtakt. Durch das Gegentakten wurden die Fasern infolge der alternierenden Druckbelastung wellenförmig ausgebildet. Dies führte dazu, dass mit zunehmender Taktzahl das Biegemoment um 17 % und die Biegesteifigkeit um 13 % abnahm, während die Torsionssteifigkeit um 7 % zunahm. Mit dem Prozessparameter Taktlänge nahm das Biegemoment um 9 % und die Biegesteifigkeit um 6 % ab. Diese Änderungen konnten mit Potenzgesetzen beschrieben werden. Ein Wechsel der Verstärkungsfasern vom Typ IM7 auf den steiferen Typ AS4 hatte eine Zunahme der Biegesteifigkeit um 10 % zur Folge, ohne dass die Biegefestigkeit relevant geändert wurde.

Die so hergestellten Osteosyntheseplatten wurden anhand des erarbeiteten Pflichtenheftes für eine elastische Fixation und den mechanischen Eigenschaften eines klinisch bewährten Systems aus Titan validiert. Mit den erzielten Resultaten aus den Festigkeitsuntersuchungen konnte die Machbarkeit einer anisotrop elastischen Osteosyntheseplatte nachgewiesen werden. Das geforderte Eigenschaftsfenster der anisotrop elastischen Eigenschaften der Osteosyntheseplatte wurde jedoch nicht ganz erreicht. Es wurden Vorschläge gemacht, wie dieses Fenster erweitert werden könnte.

Die geometrischen Grenzen für CGF-Bauteile konnten anhand der Osteosyntheseplatte ermittelt werden, die geometriegesteuert hergestellt wurde (D-OSP). Dabei wurde festgestellt, dass die Querschnittsfläche des Rohlings kleiner sein sollte als die mittlere Querschnittsfläche des Bauteils, da sich die Fasern gegenseitig am homogenen Fließen hinderten und so Gefügefehlstellen entstanden. Zudem bildeten sich an den Stau- und Totzonen von Fließhindernissen Bindenähte, zum Beispiel an den

Stiften für die Formgebung der Plattenlöcher. Bei einer Belastung, die quer zur Fliessrichtung erfolgte, wirkten diese Stellen als Rissinitiatoren und erleichterten das Risswachstum. Eine weitere Einschränkung für CGF-Bauteile ist die zum Takten nötige Strecke, die eine net-shape Fertigung erschweren kann.

Die Osteosyntheseplatten konnten infolge des verwendeten Werkstoffes im CT und NMR ohne relevante Artefaktbildung abgebildet werden, jedoch waren sie im konventionellen Röntgen, insbesondere mit der intraoperativ eingesetzten Bildwandlertechnik, in Überlagerung mit Knochen nicht zu sehen. Durch die Verwendung von Endlosfilamenten aus Reinwolfram und Reintantal in Konzentrationen von 0.5 Vol-% konnte der Röntgenkontrast der Platten derart erhöht werden, dass sie als Schatten sichtbar waren, jedoch die Details des darunterliegenden Knochens weiterhin erkennbar blieben. Durch Co-Pultrusion dieser Filamente während der Herstellung der Rohlinge entstand kein Nachteil für die Verarbeitbarkeit mittels CGF oder CFP. Es konnte auch nachgewiesen werden, dass durch diese Modifikation die mechanischen Eigenschaften der Platten und die Kompatibilität mit CT und NMR erhalten blieben. Korrosions- und Zellkultur-Untersuchungen zeigten, dass Wolfram für den medizinischen Einsatz als Implantatwerkstoff nicht geeignet ist.

Der Vergleich mit bekannten Verfahren zur Verarbeitung von faserverstärkten Thermoplasten zeigte, dass das CGF zur Zeit der geeignetste Prozess zur Herstellung einer Osteosyntheseplatte mit einstellbaren anisotrop elastischen Eigenschaften ist. Ebenso konnte, für den Fall der Kombination mit Schrauben, die im CFP hergestellt wurden, die Machbarkeit eines Osteosyntheseplatten-Systems aufgezeigt werden.

ABSTRACT

Composite Oscillation Flow Moulding (COM) is a new processing technology which has been developed in the frame of this thesis, starting from the already introduced Composite Flow Moulding (CFM) [1]. CFM is a net-shape technology that has been designed to process endless fibre reinforced thermoplastics with fibre volume fractions of 61 %. For CFM processing an endless fibre reinforced blank is heated above the melting point of the matrix and then shaped by axial pushing into a mould chamber. In CFM the fibre orientation results from the flow of the material into the geometry of the mould chamber and therefore the mechanical properties are highly anisotropic and this cannot be adjusted by processing parameters. The aim was therefore to show that the mechanical properties can be adjusted due to the oscillating movement of the material in the COM mould chamber and that these properties become more isotropic. The material used was APC-2, a compound with Polyetheretherketone (PEEK) matrix reinforced with 61 % volume fraction of either AS4 or IM7 carbon fibres.

It has been shown that the fibre orientation can be controlled in COM due to the process itself or due to the mould chamber geometry. The process controlled variant allows a stable flow which does not result in structural defects and helps to realise a good consolidation of the material. The advantage of the geometry controlled variant is that a more predictable fibre orientation can be achieved. However, a structural defect is likely to occur because of a heterogeneous material flow in a cross section of the mould chamber, that is geometrically unfavourable to the flow of the material.

Characterisation of the COM has been done with a bone plate that has been designed to allow easy processing (i.e. V-OSP). The global structure of the material is achieved during filling of the mould chamber. By increasing the number of oscillations the fibres buckle due to the alternate pressure applied to them. The results are, that with increasing oscillation cycles the bending moment decreased by 17 % and the bending stiffness decreased by 13 %, while torsional stiffness increased by 7 %. Another parameter examined was the oscillation length, which resulted in a decrease in both the bending moment by 9 % and the bending stiffness by 6 %. These behaviours could be described by power rules. A change from the IM7 fibre in the composite to the AS4 fibre resulted in an increase of 10 % in bending stiffness, but no relevant change in the bending moment was observed.

The bone plates produced through COM have been validated by comparing the mechanical properties either with the specifications or with the mechanical properties of a clinically proven bone plate system made out of titanium. The feasibility of a bone plate with anisotropic elastic properties could be shown, nevertheless the range of the anisotropic elastic properties as put up in the specifications has not been fully covered. But suggestions are made which should allow to expand the achieved range.

Design limitations for COM parts have been found in producing bone plates with a mould that allows control of the flow of the composite material with its chamber geometry (i.e. D-OSP). It has been realized that the cross section area of the blank should not be greater than the medium cross section area of the COM part. Otherwise, this would lead to heterogeneous flowing of the material with the fibres obstructing each other resulting in structural defects. In addition seams are created behind flow obstacles, e.g. inserts to shape the holes in the plate, and while the crack is initiated at the hole, it propagates along the seam. Another limitation for COM parts is the distance needed to

carry out the oscillation, which can make production of a net-shape part with COM difficult.

The implants made out of carbon fibre reinforced PEEK allow nearly artifact free imaging by MRI and CT scanning, but they are not visible on conventional x-ray while situated over bone or intraoperatively using the C-arm technique. Metallic endless filaments copultruded in the amount of 0.5 volume fractions with the blank increase the x-ray contrast of the bone plates to allow good visualisation of the plates as well as the underlying bone structure. The tungsten and tantalum filaments didn't compromise the compatibility of the COM plates with MRI and CT. Corrosion and cell culture tests have been carried out on the tungsten composite blanks and it could be concluded that tungsten should not be used as implant material.

COM has been compared with other production processes for endless fibre reinforced thermoplastics and it is shown that COM is today's most promising production technique to produce bone plates, which have anisotropic elastic properties that can be adjusted to fit the anisotropic properties of bones. It has also been shown that a bone plate fixation system is feasible by combining the COM plates with CFM screws.