

ThermoMelt4PA

Niedrigtemperatur-Lasersintern von faserverstärktem PA6 mit PTFE-MoS₂ Verschleißschutzschichten für Getriebekomponenten

Programm / Ausschreibung	Produktion der Zukunft, Produktion der Zukunft, 32. AS PdZ - Nationale Projekte 2019	Status	abgeschlossen
Projektstart	01.07.2020	Projektende	31.12.2023
Zeitraum	2020 - 2023	Projektlaufzeit	42 Monate
Keywords	ThermoMelt - Lasersintern; Atmosphärendruck-Plasmabeschichtung; Biobasiertes Polyamid; faserverstärkte Sinterpulver-Herstellung; Additive Manufacturing Simulation		

Projektbeschreibung

Die generative Fertigung (AM) bietet durch hohe Freiheiten in funktionszentrierter Konstruktion und Design hohe Flexibilität für den Leichtbau (ressourcenschonenden Materialeinsatz) und damit speziell für kleine bis mittelgroße Serien eine Alternative zu konventionellem Spritz-/Druckguss und zur CNC-Zerspanung – speziell auch für den Ersatz von Leichtmetall-Druckguss durch Kunststoff-Komposite. Hohe Kosteneffizienz ist zukünftig für Baugruppen durch Kombination der AM für kleinvolumige, komplexe Strukturen mit denen der konventionellen Fertigung großvolumiger Komponenten prognostiziert („hybride Fertigung“). Niedrige Reproduzierbarkeit, langsame Prozesse und große Abfallmengen durch Pulveralterung stehen aber effizienter ökonomischer und ökologischer Nutzung von z.B. Lasersinter-Verfahren (SLS) für hochqualitative, kostengünstige Bauteile in industrieller Serienfertigung im Wege.

Ziel von „ThermoMelt4PA“ ist die Lösung dieser Problemstellungen durch

- (1) Weiterentwicklung der SLS, d.h. durch Nutzung des patentierten ThermoMelt®-Konzepts zur Verarbeitung von Polyamid PA 6 und in weiterer Folge biobasiertem PA 6.10 mit zusätzlicher Nutzbarkeit festigkeitssteigernder Verstärkung (Carbon-Kurzfasern),
- (2) ThermoMelt-Einbettung in hybride AM-Fertigung über überweiterentwickelte Konstruktions-Leitlinien sowie
- (3) Kombination mit optimierten Postprocessing für hochfunktionale Oberflächen (d.h. mit Leichtmetallen vergleichbarem Verschleißwiderstand).

ThermoMelt zeichnet sich gegenüber SLS durch höhere Laserleistung, aber signifikant niedrigere Bauraumtemperatur und damit geringere thermische Schädigung („Alterung“) des verwendeten Polymer-Pulvers aus, was die notwendige Pulver-Auffrischung und damit den Materialausschuss entscheidend verringert – wie kürzlich für PEKK erfolgreich nachgewiesen (Aerospace-Nutzung ab 2020). Für PA (und speziell industriell weit verbreitetes PA 6) ist Pulveralterung im SLS-Prozess durch notwendige Auffrischung und anfallende Pulverabfälle ein entscheidender Kostenfaktor. Zudem steigen durch ThermoMelt die Bauraten und die Oberflächenqualität (signifikante Glättung). Das vollständige Aufschmelzen des Pulvers ermöglicht

zudem vollständige Einbettung von Verstärkungsfasern in die Matrix. Im Gegensatz zu den optimalen Eigenschaften im Spritzguss ist die Nutzung von Carbon-Fasern bislang für SLS nur für PA 11/12 mit stark von der Porosität abhängiger Zähigkeit und damit oftmals geringer Zeitstandfestigkeit beschrieben, nicht jedoch für PA 6/6.10 mit höherer Nachhaltigkeit.

Ausgehend von den Erfahrungen zu PEKK erfordert die Einbettung der High-Speed-ThermoMelt-Technologie in die hybride AM-Fertigung PA-basierter Bauteile die Betrachtung der gesamten Prozesskette, um die Anforderungen zukünftiger Kunden, welche z.T. als assoziierte Partner aus dem Automotive-Segment (d.h. Hersteller mittelgroßer Serien für Antriebe/Komponenten in Sonder-, Einsatz-, Behindertenfahrzeugen) im Projekt mitwirken, zu erfüllen:

(1) Entwicklung speziell abgestimmter und kostengünstiger Pulver ausgehend von vorcompoundierten homogenen Kompositen und Kryomahlen

(2) Prozesssimulation zur Abschätzung von auftretenden Temperatur(gradient)en als Basis für funktionszentrierte Konstruktion und Prozessierung mit geringen Eigenspannungen und Verzug v.a. für bionisch Topologie-optimierte Leichtbaustrukturen bzw.

(3) Postprocessing fasergefüllter ThermoMelt-Komposite mit Verschleißschutz-Beschichtungen niedrigster Reibung, d.h. speziell Dickschichten aus kostengünstigen Großflächen-Verfahren (Atmosphärendruck-Plasmaabeschichtung mit dem patentierten Inocon-Plasma-Jet) mit Integration von Festschmierstoffen (PTFE, MoS₂) in Compounds mit PA 6 mit Selbstadaptierung im Einlauf, hoher Notlaufeigenschaften ohne Schmierung und Selbstheilung nach Überlastung.

Finale Ziele des Projektkonsortiums aus dem ThermoMelt-Anlagenhersteller und Patenteigentümer LSS, Prozessentwickler und -anwender RPD sowie Key-Kompetenz-Partnern im Bereich 3D-Druck-Simulation (SinusPro), Pulverherstellung (TCKT) und Plasma-Jet-Entwicklung (Inocon) sind gemeinsam mit dem PCCL und JR als auf Materialprüfung, Spritzguss- und Schichtentwicklung spezialisierte Forschungspartner neben dem Aufbau von entscheidendem Anlagen- und Prozess-Knowhow für ThermoMelt auch dessen kosteneffiziente Integration in zukünftige hybride AM-Fertigungsketten auf Basis von hochfunktionellen Demonstrator-Bauteilen und erarbeiteten Konstruktions-Leitlinien (TRL 4).

Abstract

Additive Manufacturing ("3D printing", AM) offers huge potential for the light weight design of parts and part assemblies. It is especially advantageous that the functional aspect can be focused on the part development and design, while the processing limitations, which are sometimes dominant for traditional processing techniques (injection molding, pressure casting, subtractive manufacturing like CNC milling), are less important. This allows for a significant reduction of material use and allows for cost efficient production of small- and middle sized batches. High cost efficiency is predicted for the future through a combination of the advantages of the AM technology for small and complex parts with those of the conventional processing for large-sized components ("Hybrid Manufacturing"). However, little reproducibility, slow production processes and significant powder aging have hindered the access of the SLS technique to an industrial series production level so far.

To solve this limitation, the aim of the project „ThermoMelt4PA“ is the advancement of the SLS technique to process PA 6 and in a further step partly bio based PA 6.10 together with fibre-reinforcement for a strengthening of the polymers. For this, the project adapts the highly successful development of the so-called ThermoMelt process, which was developed for the 3D printing of PEKK and which represents a modified SLS process

In comparison with the conventional SLS process, ThermoMelt uses higher laser power, which allows for a significant

reduction of the powder bed temperature during the process. Lower powder bed temperature reduces the powder degradation (ageing) in the process and thus less powder refreshing is required and powder waste is partly avoided. Especially for Polyamides (and here especially for PA 6, which is highly prone to powder ageing), the powder ageing in the SLS process is an important cost factor in the production efficiency. A further advantage of the ThermoMelt process compared to SLS, is the strongly improved surface quality. The proof of principle of the reinforcing effect of carbon fibers is documented well in the literature for conventionally processed Polyamides (injection molding, extrusion). For SLS / ThermoMelt however, only studies for PA 12 have been reported so far. Hence, for PA 6 and PA 6.10, respectively, the transferability to this alternative processing technique has not yet been shown in the literature.

The reasons for this project to focus on PA 6 and PA 6.10 (instead of PA 12) are the advantageous mechanical behavior and the smaller powder price (PA 6) as well as improved sustainability with similar mechanical behavior and less water absorption (PA 6.10).

This development of industrially useable high speed ThermoMelt processes includes furthermore:

- (1) The development of the manufacturing process of specifically adapted polymer powders (via (cryo) milling of the pre-compounded materials)
- (2) Process simulation to estimate temperatures and temperature gradients to optimize the process with regard to minimum residual stresses and warpage especially of topology-optimized light weight structures
- (3) Post processing through the application of functional and highly wear resistant coatings with low friction. Thick films of compounds made of PA 6 and PA 6.10, respectively, and integrated solid lubricants with lowest friction coefficient (PTFE, MoS₂) will be used. They will be applied through cost-efficient large-area techniques. Simultaneously, the rough SLS surfaces will be smoothened with an innovative atmosphere-pressure plasma-coating using the patented Inocon-Plasma-Jet ("Cold-Plasma-Spray").

The overall goals of the Austrian consortium are the development of the crucial process know-how for the ThermoMelt process and its cost-efficient integration in a complete Hybrid Manufacturing production chain including proper pre- and post-processing steps. Moreover, highly functional demonstrator components and construction guidelines for cost-efficient manufacturing are aimed at (TRL 4). The consortium consists of a SLS / ThermoMelt machine producer and patent owner (LSS), a SLS process developer and -user (RPD) and key competence partners in the field of 3D printing process simulation (SinusPro), and Plasma-Jet development (Inocon) and the scientific partners PCCL (polymer physics and material testing), JR (highly advanced coatings) and TCKT (compounding and processing of polymers).

Endberichtkurzfassung

Im Rahmen des Projekts "ThermoMelt4PA" wurde das sogenannte ThermoMelt-Verfahren (ein Niedrigtemperatur-Lasersinterverfahren, das vom ursprünglichen Projektpartner LSS GmbH gemeinsam mit dem späteren Projektpartner DISTech GmbH und weiteren Partnern für das Lasersintern von Polyetheretherketon (PEEK) entwickelt wurde) für die Verwendung mit Polyamid Pulvern abgewandelt. Im Fokus standen dabei unverstärkte und später auch Kohlefaser-verstärkte PA 6 Pulver. Weitere Hauptaspekte des Projekts waren die Entwicklung und Herstellung von eigenen PA 6 Pulvern innerhalb des Konsortiums (unverstärkt später auch Kohlefaser-verstärkt), die Unterstützung der ThermoMelt-Prozessentwicklung durch entsprechende Prozesssimulation und die Entwicklung von Polyamidpulver-basierten Gleitschichten im Atmosphärendruck-Plasmaverfahren für das Post-Processing. Die Entwicklungen der einzelnen Projektteile wurden am Ende in Form eines Demonstrators zusammengeführt.

Projektkoordinator

- Polymer Competence Center Leoben GmbH

Projektpartner

- JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH
- Transfercenter für Kunststofftechnik GmbH
- DISTECH Disruptive Technologies GmbH
- INOCON Technologie GmbH
- RPD Rapid Product Development GmbH