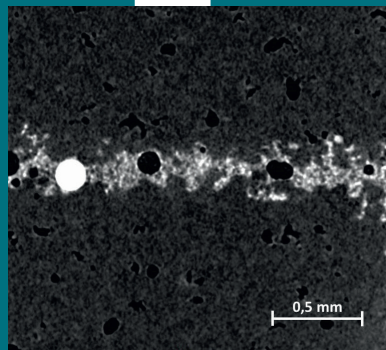
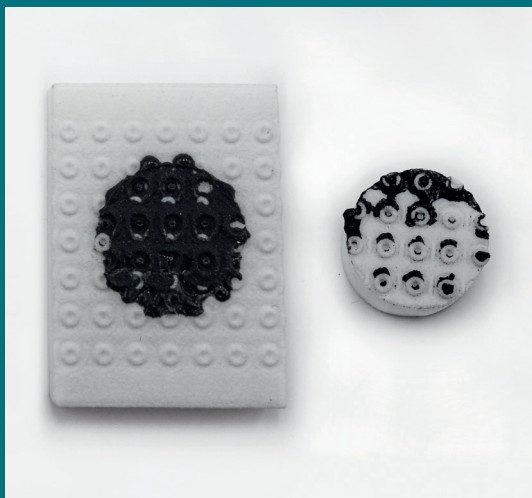


Kleben additiv gefertigter Kunststoffbauteile



**Lasergesinterte PA12-Bauteile und TPU-Bauteile
aus dem Strangablageverfahren**

Julian Hesselbach, Eduard Kraus, Benjamin Baudrit, Thomas Hochrein, Martin Bastian

SKZ – Das Kunststoff-Zentrum (Herausgeber)

Kleben additiv gefertigter Kunststoffbauteile

Lasergesinterte PA12-Bauteile und TPU-Bauteile aus dem Strangablageverfahren

1. Auflage

SKZ – Forschung und Entwicklung

SKZ – Das Kunststoff-Zentrum (Hrsg.)

Kleben additiv gefertigter Kunststoffbauteile

Lasergesinterte PA12-Bauteile und TPU-Bauteile
aus dem Strangablageverfahren

Shaker Verlag
Düren 2020

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Die Autoren:

Julian Hesselbach
Dr. Eduard Kraus
Dr. Benjamin Baudrit
Dr. Thomas Hochrein
Prof. Dr.-Ing. Martin Bastian

Copyright Shaker Verlag 2020

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-7468-0

ISSN 2364-754X

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren
Telefon: 02421 / 99 0 11 - 0 • Telefax: 02421 / 99 0 11 - 9
Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Danksagung

Das IGF-Vorhaben Nr. 19629 der Forschungsvereinigung FSKZ e.V. wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Die Forschungseinrichtung SKZ-KFE gGmbH dankt dem BMWi und der AiF für die Förderung sowie der Forschungsvereinigung für die Unterstützung bei der Durchführung des Vorhabens.

Darüber hinaus dankt die Forschungseinrichtung den Mitgliedern des projektbegleitenden Ausschusses für die Unterstützung bei der Bearbeitung des Projektes und für die konstruktive Diskussion zu diversen Fragestellungen.

Kurzfassung

Bei additiven Fertigungsverfahren entsteht aufgrund der limitierten Größe des Bauraums häufig die Herausforderung, dass Bauteile nachträglich verbunden oder an andere Baugruppen angebunden werden müssen. Es stellt sich dann die Frage, ob additiv gefertigte Kunststoffbauteile eine vergleichbare Klebeignung wie konventionell hergestellte Kunststoffbauteile aufweisen.

Den Fokus dieses Forschungsvorhabens bildete der Erkenntnisgewinn über die Klebeignung und die Klebstoffauswahl für Klebungen an additiv gefertigten Kunststoffbauteilen. Es wurden erstmals Wissensdefizite über die Materialsubstitution von z. B. spritzgegossenen zu additiv gefertigten Kunststoffbauteilen im Hinblick auf die resultierende Verbindungsqualität geschlossen. Zudem wurden Design- und Fertigungskriterien für bestehende und zukünftige Anwendungen erschlossen.

Hierfür wurden Klebungen an lasergesinterten (LS) Kunststoffbauteilen aus PA12- sowie an TPU-Bauteilen aus dem Strangablageverfahren betrachtet. Der Schwerpunkt lag dabei auf den lasergesinterten Proben, da sie die größte industrielle Relevanz aufweisen. Es wurde daran der Einfluss von Glättungsverfahren zur Oberflächenachbehandlung, als auch von geeigneten Vorbehandlungsmethoden auf die Verbundfestigkeit untersucht. Weiterhin wurden Strukturierungen der Fügefläche und die hydrothermale Alterung der Klebungen untersucht.

Die Klebversuche erzielten vielversprechende Ergebnisse für eine branchenübergreifende Anwendung verklebter und additiv gefertigter Kunststoffbauteile. So lässt sich festhalten, dass LS-Bauteile aus PA12 bereits ohne spezielle Behandlung mit den richtigen Klebstoffen eine gute Klebeignung aufweisen. Es konnte auch gezeigt werden, dass diese sich auch durch gezielte Vorbehandlung steigern lässt. An TPU-Bauteilen aus dem Strangablageverfahren zeigte sich dagegen, dass eine Vorbehandlung für höhere Klebfestigkeiten notwendig ist. Des Weiteren konnten auch Handlungsempfehlungen z.B. in Bezug auf die Klebstoffauswahl gegeben werden.

Abstract

In the additive manufacturing processes, the limited size of the printing chamber often results in the challenge that components have to be subsequently connected or linked to other assemblies. The question then arises if additive manufactured plastic components have a comparable adhesive suitability to conventionally manufactured plastic components.

The focus of this research project was to get knowledge about the adhesive suitability and the selection of adhesives for bonding additively manufactured plastic components. For the first time, knowledge deficits regarding the material substitution of e.g. injection-moulded plastic components to additive-manufactured plastic components with regard to the resulting joint quality were closed. In addition, design and manufacturing criteria for existing and future applications were developed.

For this purpose, bondings of laser-sintered (LS) plastic components made of PA12 as well as of TPU components from the fused filament fabrication process were considered. The focus was on the laser-sintered samples, because they have the greatest industrial relevance. The influence of smoothing processes for surface treatment as well as of suitable pretreatment methods on the composite strength was investigated. Furthermore, the structuring of the joining surface and the hydrothermal aging of the bondings were investigated.

The bonding tests achieved promising results for a cross-sector application of bonded and additive manufactured plastic components. It could be stated that LS components made of PA12 already show a good adhesive suitability without special treatment with the right adhesives. It has also been shown that this suitability can also be increased by specific pretreatment. On TPU components from the fused filament fabrication process, on the other hand, it was shown that pretreatment is necessary for higher adhesive strength. Furthermore, recommendations for action could also be given, e.g. with regard to the choice of adhesive.

Abkürzungsverzeichnis	3
1 Einleitung.....	4
1.1 Anlass für das Forschungsvorhaben	4
1.2 Problemstellung	5
1.3 Zielsetzung.....	6
2 Stand der Technik.....	7
2.1 Additive Fertigung.....	7
2.1.1 Selektives Laser-Sintern.....	8
2.1.2 Strangablageverfahren.....	10
2.2 Kleben von additiv gefertigten Kunststoffen.....	11
3 Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels	12
4 Durchgeführte Arbeiten	13
4.1 Verwendete Klebstoffe	13
4.2 Probekörperherstellung	14
4.2.1 Selektives Laser-Sintern.....	14
4.2.2 Strangablageverfahren.....	15
4.2.3 Plattenpressen	15
4.2.4 Spritzguss	16
4.3 Bestimmung der thermischen Eigenschaften.....	16
4.4 Rauheit der Oberfläche	16
4.5 Computertomographie	17
4.6 Messung von Kontaktwinkeln und Oberflächenenergien.....	17
4.7 Oberflächenvorbehandlung.....	17
4.7.1 Beflammen	17
4.7.2 Atmosphärendruck-Plasma.....	18
4.7.3 Primern	19
4.8 Herstellung der Klebungen	19
4.9 Strukturierung der Oberfläche	20
4.10 Mechanische Prüfungen und Probekörper	21
4.10.1 Zugprüfungen mittels LUMiFrac	21
4.10.2 Zugscherprüfungen.....	22
4.10.3 Druckscherprüfung.....	23
4.10.4 Zugprüfung von Stumpfstoß-Verbindungen	24
4.11 Beschleunigte Alterungsverfahren.....	26
4.11.1 Cataplasmatest.....	26
4.11.2 Klimawechseltest.....	26

5	Diskussion der Ergebnisse.....	28
5.1	Selektives Laser-Sintern.....	28
5.1.1	Analyse der Probekörper.....	28
5.1.2	Klebungen an unterschiedlichen Bauraumorientierungen	33
5.1.3	Parameterfindung zur Vorbehandlung	36
5.1.4	Klebungen an vorbehandelten Probekörpern.....	39
5.1.5	Klebungen an geglätteten Probekörpern	45
5.1.6	Klebungen an konventionell gefertigten Probekörpern	47
5.1.7	Charakterisierung der Klebschicht.....	50
5.1.8	Klebungen an strukturierten Probekörpern	55
5.1.9	Beschleunigte Alterung der Klebungen	63
5.2	Strangablageverfahren.....	81
5.2.1	Klebungen an TPU-Proben	81
5.2.2	Klebungen an PEEK-Proben.....	89
6	Zusammenfassung.....	92
7	Literaturverzeichnis.....	95
8	Abbildungsverzeichnis.....	98
Anhang		106

Abkürzungsverzeichnis

1K	Einkomponentig
2K	Zweikomponentig
ADP	Atmosphärendruck-Plasma
AF	Adhäsiiver Bruch
CF	Kohäsiiver Bruch (im Klebstoff)
CSF	Kohäsiiver Substratbruch
CT	Computertomographie
DF	Delaminationsbruch
DSC	Differential scanning calorimetry
LS	Laser-Sintern
MMA	Methylmethacrylat
o-CSF	Oberflächennahes kohäsives Versagen
PA12	Polyamid 12
PU	Polyurethan
SAV	Strangablageverfahren
SCF	Substratnaher kohäsiiver Bruch (im Klebstoff)
SF	Substratbruch