



Karina Gevers, M.Sc.

Quantifizierung der mechanischen Belastbarkeit von Infrarot-Schweißverbindungen in zyklisch belasteten Thermoplast-Bauteilen

Effizienter Leichtbau ist in der heutigen Zeit ein Ziel, das in fast allen Entwicklungen im Maschinenbau angestrebt wird. Vor allem im Mobilitätssektor führt bereits eine geringe Masseneinsparung zu erheblichen Einsparungen im Bereich Treibstoffverbrauch und CO₂-Ausstoß. Aber wie langlebig sind solche Leichtbaulösungen im aktiven Gebrauch wirklich? Diese Fragestellung wird in einem Kooperationsprojekt zwischen dem Leibniz-Institut für Polymerforschung in Dresden, dem Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit in Darmstadt und der Kunststofftechnik Paderborn im Rahmen eines geförderten IGF-Vorhabens zum Infrarotschweißverfahren von Thermoplast-Bauteilen erarbeitet.

Konkret verfolgen die einzelnen Forschungsstellen das Ziel, glasfaserverstärkte technische Kunststoffe mittels Infrarotschweißverfahren zu fügen und deren zyklische Belastbarkeit zu ermitteln. Hierbei sollen Handlungsempfehlungen für die Industrie erarbeitet werden, die für den Anwender einen Leitfaden für die Produktion von möglichst schwingfesten Verbindungen darstellen. Daraus ergeben sich zwei zentrale Forschungsfragen:

1. Wie beeinflussen die Prozessparameter beim Infrarotschweißen die Morphologie der Schweißnaht?
2. Wie beeinflusst die Morphologie der Schweißnaht deren Schwingfestigkeit?

Um diese Fragestellungen beantworten zu können, muss ein tiefes mikromechanisches Verständnis der Fügezone in Abhängigkeit zu den Parametern des Infrarotschweißprozesses aufgebaut werden. Da die einzelnen Parameter des Prozesses sich teilweise gegenseitig bedingen, ist in Absprache mit dem projektbegleitenden Ausschuss folgende Herangehensweise erarbeitet worden. Es wird eine anzustrebende Schmelzeschichtdicke von 1 mm festgelegt. Diese wird dann mit beiden Materialien und unterschiedlichen Schweißparametern realisiert. Dabei werden die Schweißparameter geclustert und eine harte und eine weiche Erwärmstrategie definiert. Bei der harten Erwärmstrategie wird die Probe möglichst schnell und mit einer hohen Strahlerleistung plastifiziert. Eine eventuell thermische Schädigung wird akzeptiert. Bei der weichen Erwärmstrategie sollen die Bauteile möglichst schonend mit einer geringen Strahlerleistung und damit einhergehender langen Erwärmzeit plastifiziert werden. Die Rauchbildung ist so minimal wie möglich zu halten. Anschließend werden die Bauteile druckgeregelt gefügt. Der Fügedruck stellt im Projekt einen weiteren zu

variierenden Parameter dar. Das nachstehende Schema in Abbildung 1 visualisiert die Parametervariationen im Projekt.

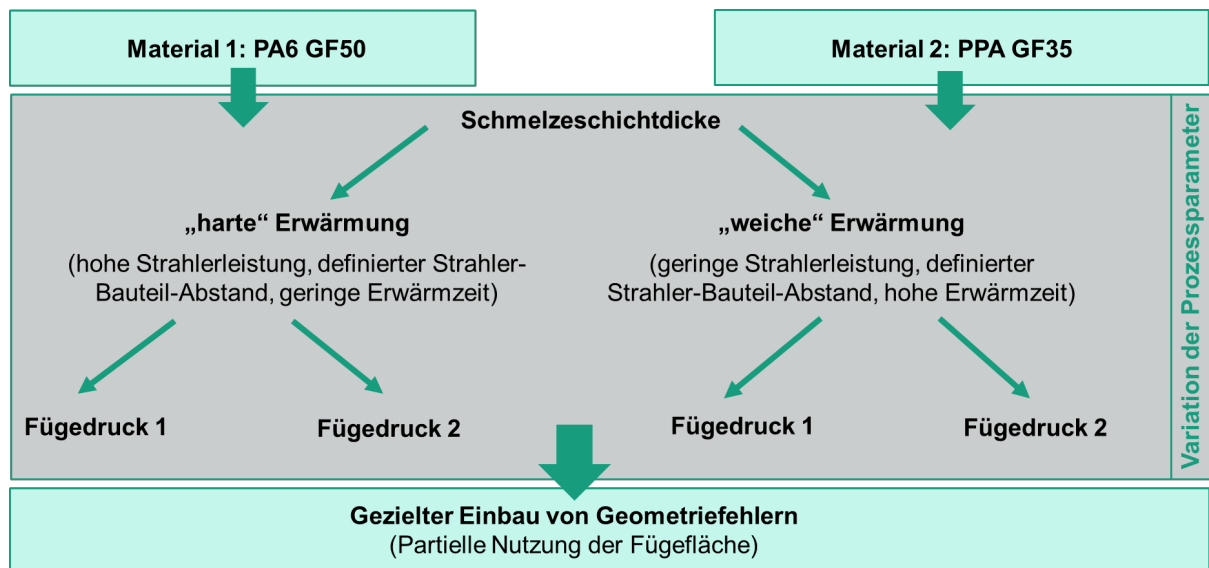


Abbildung 1: Schematischer Ablauf des hier vorgestellten Projekts

Um die Schweißnahtmorphologie ausreichend gut quantifizieren zu können, sind verschiedene Untersuchungen an den geschweißten Proben geplant.

- DSC → Thermische Charakteristika des Werkstoffs
- DMTA → Temperaturabhängige viskoelastische Materialeigenschaften
- CT → Faserorientierungen und Faserlängen in der Schweißnaht
- Nano-Indentation bzw. Nano-Scratch → Lokale Steifigkeitsunterschiede in der Schweißnaht
- Optische Verfahren → Beurteilung der Bruchflächen und der Faser-Matrix-Haftung

Diese Untersuchungen werden zunächst an einfachen Flachproben mit rechteckiger Schweißfläche durchgeführt. Auf Grundlage dieser Ergebnisse wird ein mathematisches Modell aufgebaut, das mit experimentellen Ergebnissen aus den Untersuchungen der Schwingfestigkeit der Schweißnaht verglichen wird. Für die Beurteilung der Schwingfestigkeit sind Wöhlerversuche am Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit geplant. Die vordringlichen Ziele des hier beschriebenen Forschungsvorhabens sind folgende:

1. Ausreichend genaue Beschreibung der Fügezonen-Morphologie in Abhängigkeit zu den individuellen Prozessparametern
2. Verbessertes mikromechanisches Verständnis der Fügezone
3. Korrelation von Werkstoffzustand und Schwingfestigkeit

Die nachstehende Abbildung 2 zeigt exemplarisch den Plastifiziervorgang.

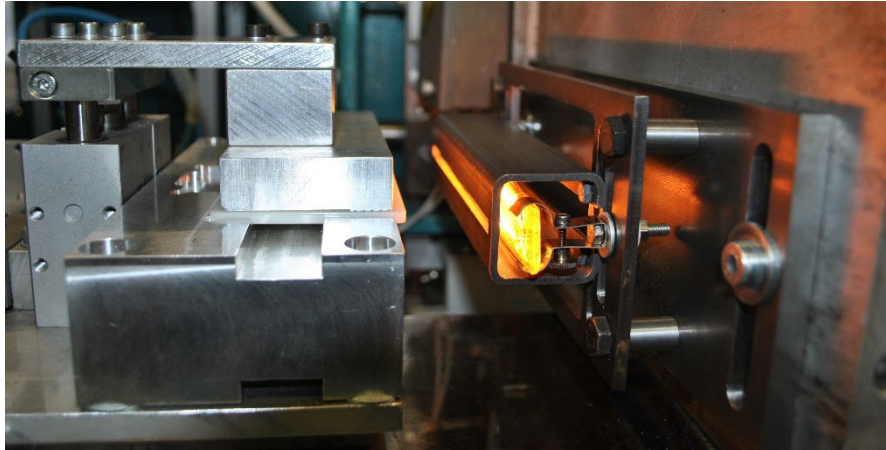


Abbildung 2: Plastifiziervorgang vor dem kurzwelligen Infrarotstrahler

Darüber hinaus sind vergleichende Untersuchungen an einem Demonstratorbauteil geplant. Die genaue Geometrie dieser Fügepartner ist zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht festgelegt. Angelehnt an Bauteile, die in der Industrie üblicherweise mit Infrarotwellen geschweißt werden, sollen die Fügepartner eine kreisförmige Schweißfläche aufweisen.

Damit soll am Ende des Projektes ein Modell existieren, dass die Schwingfestigkeit in zyklisch belasteten Thermoplast-Bauteilen in Abhängigkeit zu den Prozessparametern sicher abbilden kann. Dieses Modell kann dann beispielsweise in der Produktion von Druckluftspeichern in der Automobilindustrie eingesetzt werden. Diese Speicher finden Anwendung in Luftfederungssystemen und werden klassisch aus metallurgischen Werkstoffen gefertigt. Eine Substitution hin zu faserverstärkten Kunststoffen ist in dieser Anwendung nur mit einer Schweißnaht möglich, die hohen Belastungen standhält. Weiterhin sind Faktoren wie Dichtigkeit und Medienbeständigkeit zu berücksichtigen. Stellt sich heraus, dass ein Druckluftspeicher mit Hilfe der Projekterkenntnisse aus Kunststoff gefertigt werden kann, sind Kostenersparnisse von 20 % zu erwarten.

Das hier vorgestellte Projekt ist im Oktober 2020 gestartet. Die Produktion der gefügten Bauteile sowie die Untersuchungen an den Schweißnähten bilden die aktuellen Arbeitspakete ab. In den nächsten Monaten werden dann die geometrischen Fehlstellen eingebaut, um deren Auswirkungen auf die Schweißnahtmorphologie und die Schwingfestigkeit ermitteln zu können.

Danksagung

Wir danken der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e. V. (AiF) (IGF-Nr. 21276 N) für die finanzielle Förderung der Arbeiten, die aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) erfolgt. Zudem bedanken wir uns für die Unterstützung der Unternehmen aus dem projektbegleitenden Ausschuss.