Bericht zum laufenden Forschungsvorhaben, Stand September 2010

Projekt:	AiF-Nr. 15971 DVS-Nr. 11020
Forschungsthema:	Strahlungserwärmung beim Kunststoffschweißen mit Infrarotstrahlung
Forschungsstelle:	TU Chemnitz, Professur Kunststoffe
Leiter der Forschungsstelle:	Prof. Dr.-Ing. M. Gehde
Projektleiter:	Dipl.-Ing. R. Fuhrich

Im vergangenen Zwischenbericht (Februar 2010) wurden die Auswirkungen verschiedener Funktionsfüllstoffe auf das Aufwärm- und Aufschmelzverhalten der Kunststoffe beschrieben sowie erste Schweißversuche mit mittelwelligen Metallbandstrahlern diskutiert.
Die seit dem letzten Bericht erarbeiteten Ergebnisse an den Arbeitspaketen drei bis fünf sind auf den nachfolgenden Seiten thematisch gruppiert dargestellt.

Schweißversuche mit den Versuchsstrahlern und allen Versuchswerkstoffen

Für insgesamt 16 Kunststoffe wurden mit einem mittel- und einem kurzwelligen Infrarotstrahler Schweißversuche durchgeführt und dabei die Anwärmzeit und der Fügedruck variiert. Eine Übersicht über die erreichten Kurzzeit-Schweißfaktoren listet Tabelle 1 für die unterschiedlichen Kunststoffsorten auf.

Tabelle 1: Übersicht über die bei den IR-Schweißversuchen erzielten Kurzzeit-Schweißfaktoren nach DVS 2203-2

	Infrarotstrahlertyp	
Werkstoff	mittelwellig	kurzwellig
PE 100	0,98	1,0
PE 100 schwarz	1,0	0,86
PP-R	0,98	0,96
PP-H	1,0	1,0
PP-H schwarz	0,89	0,80
PA66	0,90	0,90
PA66 schwarz	0,92	0,80
PA66-GF30	0,87	0,64
PA66-GF30 schwarz	0,57	0,54
PC	1,0	1,0
PC schwarz	1,0	1,0

Neben den allgemein sehr hohen Festigkeiten, die für die meisten Kunststoffe auf dem Niveau des Grundmaterials liegen, ist besonders das erreichte Ergebnis des infrarotgeschweißten glasfaserverstärkten Polyamids (PA66-GF30) hervor zu heben. Hinter dem aufgeführten Kurzzeit-Schweißfaktor von 0,87 steht ein gemittelter Festigkeitswert von über 100 N/mm². Die Grundmaterialfestigkeit der unverstärkten Matrix weist eine Zugfestigkeit von 84 N/mm² auf. Das heißt, dass die Faserverstärkung, zumindest teilweise, über die Fügeebene hinweg wirksam ist. Eine fraktographische Untersuchung im Rasterelektronenmikroskop belegt diese Aussage, indem sie aus der Bruchebene der Zugstäbe herausstehende Glasfasern aufzeigt.

Reduzierung der thermooxidativen Werkstoffbelastung in der Erwärmphase durch Schutzgas

Wie im letzten Bericht zum Stand der Forschung diskutiert wurde, kommt es in der Erwärmphase beim Infrarotschweißen zu einer mitunter signifikanten Werkstoffbelastung, bei der Teile der beigemischten Stabilisatoren abgesättigt werden.

Dieses Phänomen prägt sich besonders bei der Bestrahlung von Kunststoffen mit einem hohen Rußgehalt (> 1 Gew.-%) mit kurzwelligen Infrarotstrahlern hoher Flächenleistung aus. Durch den Einsatz von inerten Spülgasen, wie es beim Metallschweißen Standard ist, kann der Kontakt der Kunststoffschmelze mit Luftsauerstoff vermindert und damit der Stabilisatorabbau verringert werden.

Bild 1: Erwärmung von rußgefülltem PE mit einem Quarzglasstrahler unter Schutzgasmantel (Strahlerabstand: 30 mm; Schutzgas: Stickstoff; Volumenstrom: 20 l/min)

Tabelle 2: Einfluss der Erwärmzeit und des Schutzgasvolumenstroms auf die Werkstoffbelastung (Tabellenwerte sind OIT (210°C) in min)

	Erwärmzeit in s					
		0	5	10	12	15
Volumenstrom in l/min	0	52	45	11	13	11
	5				12,5	
	10				16	
	20		52	12	30	19,5

Es zeigt sich, dass der messbare Stabilisatorabbau mit steigender Erwärmzeit zunimmt. Ab einer Bestrahlungszeit von zehn Sekunden liegen die Werte der OIT bei rund zwölf Minuten, ohne die abnehmende Tendenz fortzusetzen. Das ist auf die Probenpräparation (Skalpell) und die damit verbundene minimale Probengröße für die OIT-Messung zurück zu führen. Der geringe Reststabilisatorgehalt der äußersten Randschicht mischt sich der höheren Konzentration des darunter liegenden Werkstoffs und es kommt zu einem gemittelten Stabilisatorgehalt in der Probe.
Die Variation des Stickstoff-Volumenstroms bei einer isochronen Erwärmzeit lässt erkennen, dass der Verbrauch der Stabilisatoren im Kunststoff während der Erwärmphase mit steigendem Volumenstrom reduziert werden kann. Gleiches gilt für die Versuche mit konstantem Schutzgasdurchsatz durch die Düse und unterschiedlichen Bestrahlungszeiten. Lediglich der Messwert bei einer Erwärmzeit von zwölf Sekunden und einem Volumenstrom von 20 l/min stellt hierbei einen Ausreißer dar.

Langzeitfestigkeit von Infrarotschweißverbindungen

Die Zeitstand-Zugversuche wurden an Schweißproben aus homopolymerem Polypropylen und Polyethylen der Klasse PE 100 nach DVS 2203-4 durchgeführt.

Für den vorliegenden druckgeregelten Infrarotschweißprozess liefert DVS 2203-1 Beiblatt 2 einen Mindest-Zeitstand-Schweißfaktor von 0,8 für PP-H. Für PE 100 ist der Schweißfaktor ebenfalls auf 0,8 festgesetzt worden.
Ausgehend von den empfohlenen Prüfspannungen der verwendeten Werkstoffe (DVS 2203-4) bei einer Prüftemperatur von 95°C und einer 2%-i gen, wässrigen Netzmittellösung ergibt sich für die Prüfung der Schweißproben damit eine Zugspannung von 3,2 N/mm².

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass Zeitstand-Brüche bislang nur an Schweißproben mit einem hohen Fügedruck (p = 1 N/mm²) aufgetreten sind. Hier liegen die Standzeiten zwischen 500 und 1000 Stunden. Bei allen weiteren Parameterkombinationen tritt bis zu einer Prüfdauer von 1000 Stunden kein Versagen der Schweißproben auf. Die längste Prüfdauer eines andauernden Versuchs beträgt im September 2010 über 2500 Stunden.
Nach DVS 2203-4 sind für PE eine Mindeststandzeit von 30 Stunden und für PP eine Standzeit von 800 Stunden des Grundwerkstoffs bei gleichen Messbedingungen vorgegeben. Diese Anforderungen werden von den Grundmaterialproben sowie allen geprüften Schweißproben ohne Einschränkung erfüllt.

Weiteres Vorgehen

Das dritte Treffen des projektbegleitenden Ausschusses findet voraussichtlich Anfang Dezember 2010 an der TU Chemnitz statt. Dort wird der Forschungsstand kurz vor Abschluss des Projektes der Industrie vorgestellt und gemeinsam über die erreichten Forschungsziele diskutiert.

Abschließend kann gesagt werden, dass das Vorhaben bislang erfolgreich bearbeitet wurde. Die Verzögerung bei der Medien-Zeitstandprüfung der Schweißproben konnte seit März 2010 vollständig aufgeholt werden.
Der Arbeitsplan kann aller Voraussicht nach weiterhin eingehalten werden.

Anlage: Arbeitsplan

	Laufender Monat																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Zeitraum	2009										2010												2011	
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2
Arbeitsschritte																								
Voruntersuchungen																								
Vorwärmversuche, Systemanalyse																								
Schweißversuche																								
Mechanische Prüfung (Kurzzeitzugversuch)																								
Medien-Zeitstandprüfung																								
Werkstofftechnische Analyse (Thermoanalyse, Mikroskopie)																								
Theoretische Analyse																								
Auswertung, Bericht																								