






Oberflächenvorbehandlung vor dem Kleben

Adil El Mernissi

Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb
Technische Universität Berlin
Prof. Dr.-Ing. Eckart Uhlmann

Inhalt

-  **Einleitung**
Problemstellung, Ziel, Vorgehensweise
-  **Grundlagen der Klebtechnik**
Vor- und Nachteile, Bindungskräfte in Klebungen, Vorbehandlungsverfahren,
Beschichtungsreakagenzien, Klebstoffe
-  **Versuchsbedingungen**
Versuchsstand, Strahlgutwerkstoff, Versuchsprogramm, Messtechnik
-  **Ergebnisse**
Oberflächenrauheit, Oberflächentopographie, Chemische Zusammensetzung,
Klebfestigkeit
-  **Zusammenfassung und Ausblick**

Einleitung

- Problemstellung**
- Neue gesetzliche Rahmenbedingungen
 - Zunehmende Bedeutung der Klebtechnik insbesondere in der Automobil- und Luftraumfahrtindustrie
- Ziel**
- Ermittlung des Klebverhaltens von Epoxidharz- und Polyurethanklebstoffen auf mikrolegierten höherfesten sowie auf Dual-Phasen-Stahloberflächen nach dem Trockeneisstrahlen
- Vorgehensweise**
- Trockeneisstrahlen der Strahlgutwerkstoffe unter Variation der Einstellparameter Pelletsgröße PG und Vorschubgeschwindigkeit v_f
 - Analyse der Strahlgutproben hinsichtlich Oberflächenrauheit, Oberflächentopographie und chemische Zusammensetzung
 - Ermittlung der Klebfestigkeit

Grundlagen der Klebtechnik



Vor- und Nachteile

- + Verbinden gleichartiger sowie unterschiedlicher Werkstoffe
- + Keine Werkstoffbeeinflussungen durch Ausglühen, Aushärten oder Oxidieren
- + Keine bzw. geringe thermische Werkstoffbeanspruchung und damit nur geringer Wärmeverzug
- + Dichte, spaltfreie, isolierende Verbindungen möglich
- + Keine Kontaktkorrosion
- + Kerbfreies Verbinden der Bauteile
- + Gleichmäßige Kraft- und Spannungsverteilung
- + Schwingungsdämpfend
- Meist aufwändige Oberflächenbehandlung der Fügeteile notwendig
- Z. T. lange Abbindezeiten bis zur Endfestigkeit der Verbindung
- Meist Flächendruck und Wärme zum Abbinden notwendig
- Kriechneigung bei Langzeitbeanspruchung
- Geringe Schäl-, Warm- und Dauerfestigkeit
- Empfindlich gegen Schlag- und Stoßbelastung

Grundlagen der Klebtechnik

Bindungskräfte in Klebungen

Adhäsion

-  Mechanische Adhäsion: Verklammerung der ausgehärteten Klebschicht in den Poren und Kapillaren
-  spezifische Adhäsion: Auf chemisch und physikalisch beruhende Haftmechanismen Freilegung chemisch bzw. physikalisch reaktiver Stellen an der Oberfläche

Kohäsion

Innere Festigkeit eines Klebstoffs
Haupt- und Nebervalenzbindungen, Van-der-Waals-Kräfte und Dipol-Dipol-Wechselwirkungen

Grundlagen der Klebtechnik

Vorbehandlungsverfahren nach DIN EN 13887


Physikalisch / Mechanisch


Gleichzeitiges Reinigen und Vergrößern der wirksamen Oberfläche.
(Schleifen, Bürsten und Strahlen)

Physikalisch / Nicht mechanisch

Chemische Modifizierung der Oberfläche, insbesondere von Kunststoffen durch physikalisch eingeleitete Oxidationsprozesse. (Beflammen, Plasmaentladungsverfahren, Laserstrahlen)

Chemisch

 **Nichtoxidierende Säuren:** Es erfolgt eine Metalloxid-Säure-Reaktion, durch die Oxidschichten und bei längerer Einwirkung die oberen Metallschichten entfernt werden. (Salzsäure, verdünnte Schwefelsäure)

 **Oxidierende Säuren:** Es werden alte Oxidschichten abgetragen und neue, definierte, der Oberfläche fest anhaftende Metallverbindungen generiert. Es handelt sich u. a. um Phosphat-, Chromat- oder Oxidschichten. (Salzpetersäure, Konz. Schwefelsäure, Phosphorsäure)

Grundlagen der Klebtechnik

Beschichtungsreagenzien

➤ Primer

Primer bestehen aus einer verdünnten Lösung der Klebstoffgrundstoffe, die für die Klebung verwendet werden. Durch diesen Schutzbezug kommt es im Vergleich zum Auftrag höher viskosen Klebstoffes zu einer gleichmäßigeren und vollständigeren Benetzung der Oberfläche.

➤ Haftvermittler

Haftvermittler sind aus einer metallspezifischen Haftgruppe, einem Spacer und einem gut zu verklebenden Molekülteil aufgebaut. Sie zeichnen sich dadurch aus, dass sie mit der metallspezifischen Gruppe eine chemische Bindung zur Metalloberfläche ausbilden können.

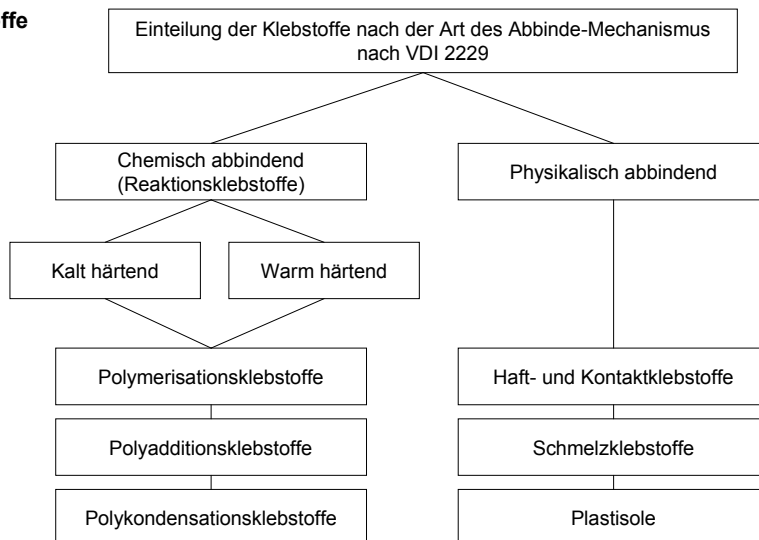
➤ Kopplungsreagenzien

Kopplungsreagenzien tragen zusätzlich zu einer metallspezifischen auch eine polymerspezifische Gruppe.

Es lassen sich für jede Kombination aus Klebstoff und Füge teil durch Wahl geeigneter polymer- und metallspezifischer Gruppen individuelle Kopplungsreagenzien synthetisieren.

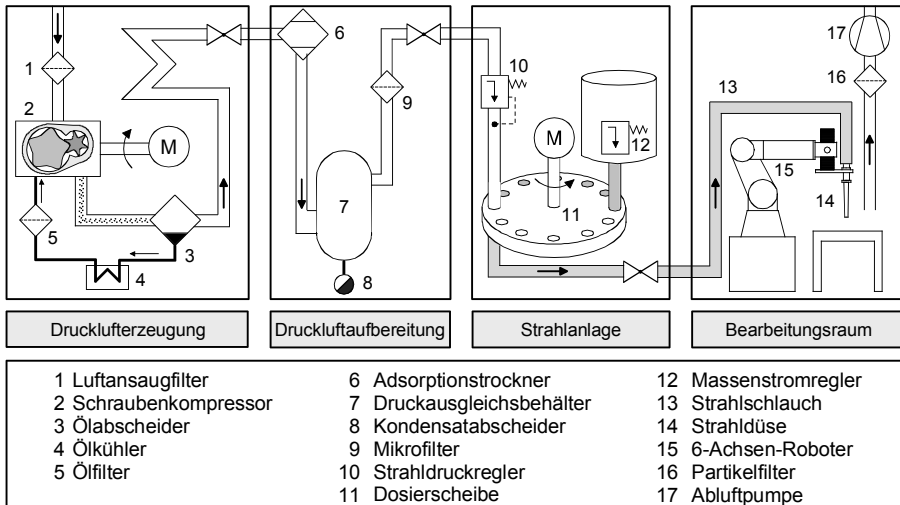
Grundlagen der Klebtechnik

Klebstoffe



Versuchsbedingungen

Versuchsstand



Versuchsbedingungen

Strahlgutwerkstoffe


Stahlsorte		DP600	ZStE340	ZStE300BH
Mechanische Eigenschaften	$R_{p0,2}$ [MPa]	340-410	340-440	300-360
	R_m [MPa]	≥ 600	410-530	400-480
	A_{80} [%]	≥ 20	≥ 20	≥ 26
Chemische Zusammen- setzung (Schmelz- analyse in %)	C	$\leq 0,14$	$\leq 0,10$	$\leq 0,015$
	Si		$\leq 0,50$	$\leq 0,50$
	Mn	$\leq 2,0$	$\leq 1,00$	$\leq 0,70$
	P	$\leq 0,06$	$\leq 0,03$	$\leq 0,10$
	S	$\leq 0,015$	$\leq 0,03$	$\leq 0,02$
	Cr	$\leq 1,0$		
	Sonst.		Nb+Ti+V $\leq 0,22$	

Versuchsbedingungen


Verwendete Klebstoffe

Klebstoffbasis	Zweikomponenten-Epoxidharz		Einkomponenten-Epoxidharz	Zweikomponenten-Polyurthan
Hersteller	Ciba Spez. Chemie	Permabond	Permabond	Tivoli
Handelsname	Araldite 2011	Permabond E32	ESP 109	Tivopur 1667
Kurzbezeichnung	EP 1	EP2	EP3	PU
Harz A	Araldite 2011°	Harz A	ESP 109	Tivopur 1667
Härter B	2011B	Härter B	-	Tivopur 1600/07
Mischungsverhältnis A:B	100:80 (Gew. Teile)	1:1 (Vol. Teile)	einkomponentig	100:30 (Gew. Teile)
Topfzeit	85 min bei 30 °C	120 min bei RT		14 min bei RT
Verarbeitung	Manuell	Manuell	Manuell	Manuell
Aushärtebedingungen	30 min bei 80 °C	45 min bei 60 °C	90 min bei 120 °C	48 h bei RT + 3 h bei 100 °C


Versuchsbedingungen

Versuchprogramm  Einstellparameter


- Strahlabstand $a = 150 \text{ mm}$
- Auftreffwinkel $\beta = 90^\circ$
- Strahldruck $p = 11 \text{ bar}$
- Massenstrom $\dot{m} = 125 \text{ kg/h}$

 Einstellparametervariation


- $v_f = 0,1 / 1,0 \text{ m/min}$
- $PG = 0,1 / 0,5 \text{ mm}$

Messprogramm  Oberflächenrauheit

Tastschnitt-Messsystem Talysurf-120L, Rank Taylor Hobson GmbH
gemittelte Rautiefe R_{zDIN} nach DIN 4762

 Chemische Zusammensetzung

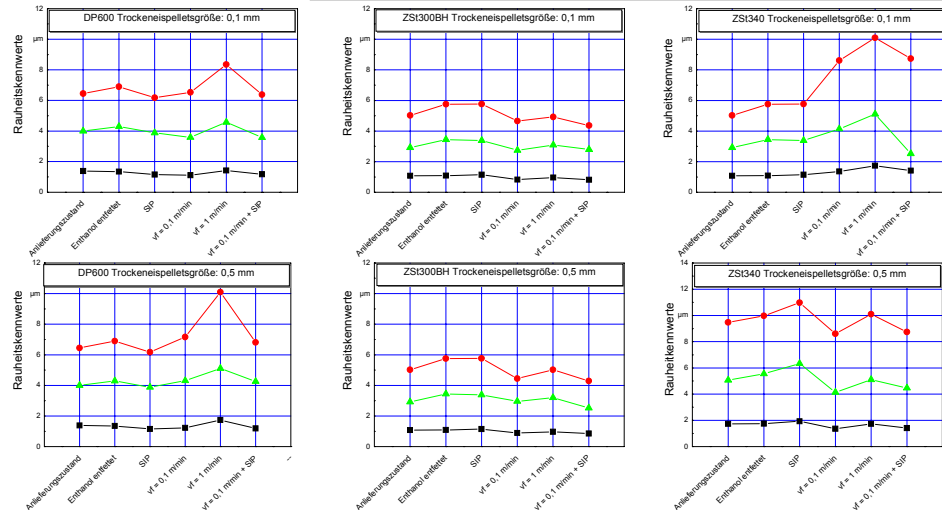
Rasterelektronenmikroskop Hitachi S-4000 mit EDX-Analyse

 Oberflächentopographie

Rasterelektronenmikroskop DSM 950, Carl Zeiss AG

Ergebnisse

Oberflächenrauheit



Ergebnisse

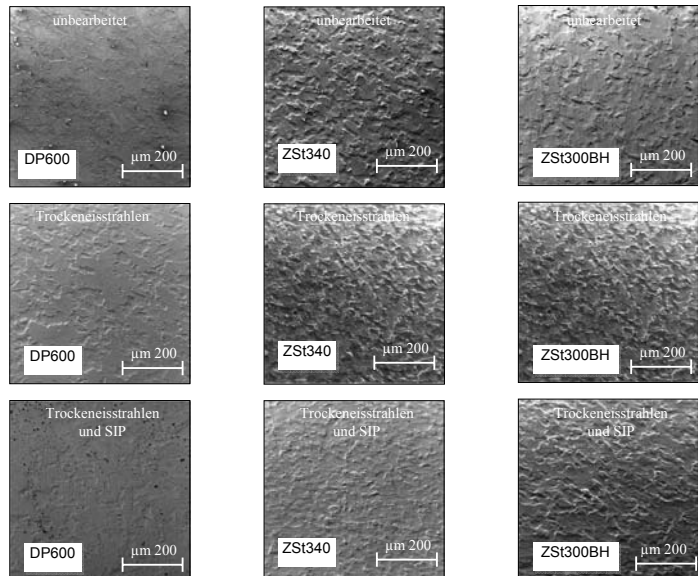
Oberflächentopographie

Strahlsystem
Strahlanlage MICRO JET Green Tech
Hochleistungsrunddüse, Linde: d = 13 mm

Messsystem
Rasterelektronenmikroskop: DSM 950, Carl
Zeiss AG

Beschichtungsreagenz
SIP-Haftvermittler

Einstellparameter
Vorschubgeschwindigkeit: v = 0,1 m/min
Arbeitsabstand: a = 150 mm
Strahlauftreffwinkel: $\alpha = 90^\circ$
Strahlrdruck p = 11 bar
Pelletsgröße: PG = 0,5 mm



Ergebnisse

Chemische Zusammensetzung

Strahlsystem
Strahlanlage MICRO JET Green Tech
Hochleistungsrunddüse,
Linde: d = 13 mm

Beschichtungsreagenz:
SIP-Haftvermittler

Messsystem
Rasterelektronenmikroskop:
Rasterelektronenmikroskop: Hitachi
S-4000 mit EDX-Analyse

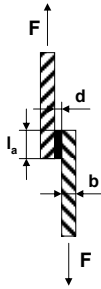
Einstellparameter
Vorschubges.: v = 0,1 m/min
Arbeitsabstand: a = 150 mm
Strahlauftreffwinkel: $\alpha = 90^\circ$
Strahlrdruck p = 11 bar
Pelletsgröße: PG = 0,5 mm

Elemente	Werkstoffe	Anlieferung	Trockeneis	Trockeneis+SIP
Kohlenstoff	DP600		ähnlich	6 fache
	ZSt340		- 5 fache	- 4,5 fache
	ZSt300BH		- 3 fache	- 3 fache
Sauerstoff	DP600		ähnlich	10 fache
	ZSt340		10 %	11 %
	ZSt300BH		- 8 %	- 8 %
Eisen	DP600		ähnlich	8 fache
	ZSt340		15 %	14 %
	ZSt300BH	nicht nachweisbar	nicht nachweisbar	nicht nachweisbar
Aluminium	DP600		ähnlich	4 fache
	ZSt340	nicht nachweisbar	nicht nachweisbar	nicht nachweisbar
	ZSt300BH	Spuren	nicht nachweisbar	nicht nachweisbar
Phosphor	DP600	nicht nachweisbar	nicht nachweisbar	Spuren
	ZSt340	nicht nachweisbar	nicht nachweisbar	nicht nachweisbar
	ZSt300BH	nicht nachweisbar	nicht nachweisbar	nicht nachweisbar
Silizium	DP600	Nicht nachweisbar	Nicht nachweisbar	Spuren
	ZSt340	Spuren	Nicht nachweisbar	Spuren
	ZSt300BH		- 8 %	- 10 %
Mangan	DP600	nicht nachweisbar	nicht nachweisbar	nicht nachweisbar
	ZSt340		15 %	13 %
	ZSt300BH	nicht nachweisbar	nicht nachweisbar	nicht nachweisbar
Zink	DP600		ähnlich	- 20 % bis -23 %
	ZSt340		- 8 %	-7 %
	ZSt300BH	nicht nachweisbar	nicht nachweisbar	nicht nachweisbar

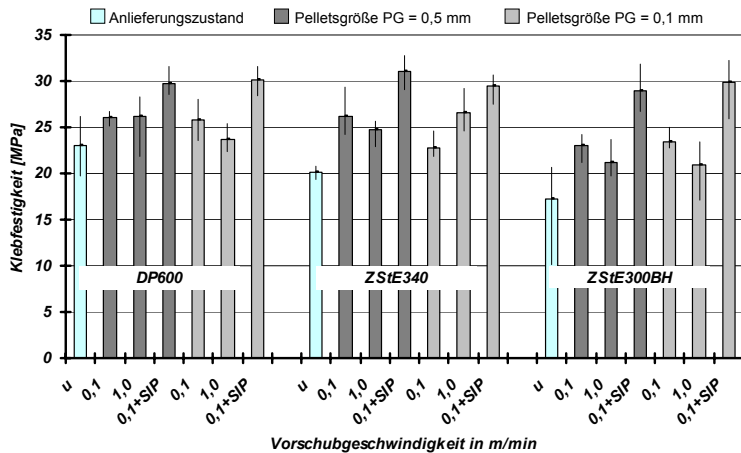
Ergebnisse

Klebfestigkeit von EP1

Zugscherfestigkeit
nach DIN EN 1465



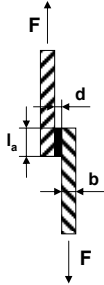
F: Zugkraft
b: Probenbreite
d: Klebstoffdicke
 l_a : Überlappungslänge



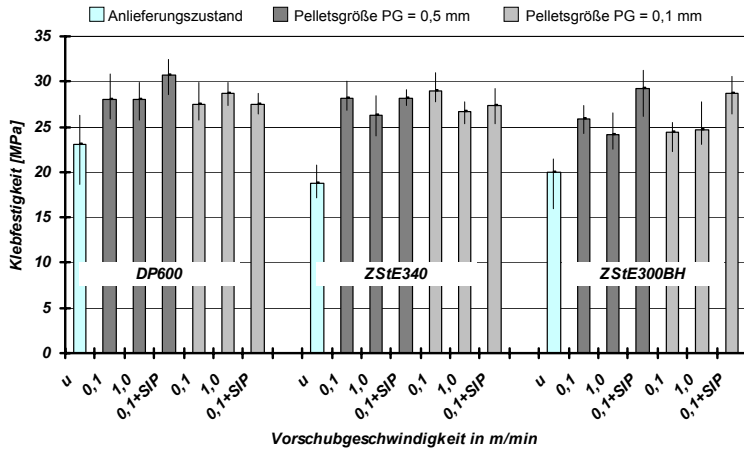
Ergebnisse

Klebfestigkeit von EP2

Zugscherfestigkeit
 nach DIN EN 1465



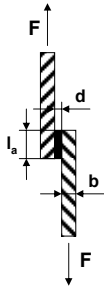
F: Zugkraft
 b: Probenbreite
 d: Klebstoffdicke
 l_a: Überlappungslänge



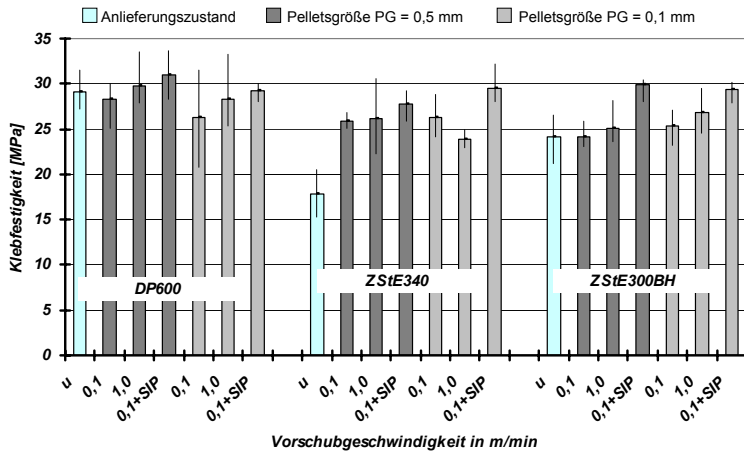
Ergebnisse

Klebfestigkeit von EP3

Zugscherfestigkeit
 nach DIN EN 1465



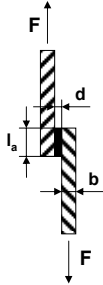
F: Zugkraft
 b: Probenbreite
 d: Klebstoffdicke
 l_a: Überlappungslänge



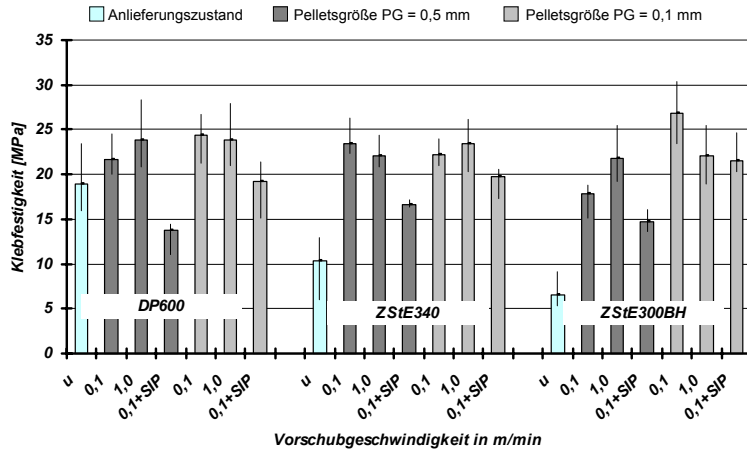
Ergebnisse

Klebfestigkeit von UP

Zugscherfestigkeit
nach DIN EN 1465



F: Zugkraft
b: Probenbreite
d: Klebstoffdicke
l_a: Überlappungslänge



Zusammenfassung

Oberflächenrauheit, -topographie und chemische Zusammensetzung

- Keine signifikante Veränderung der Oberflächenrauheit und -topographie sowohl nach dem Trockeneisstrahlen als auch nach dem Trockeneisstrahlen und anschließender Behandlung mit SIP-Haftvermittler
- Starke Zunahme der Kohlenstoff-, Sauerstoff-, Eisen- und Aluminiumkonzentration bei DP600 nach dem Trockeneisstrahlen mit anschließender Behandlung mit SIP-Haftvermittler
- Starke Abnahme der Kohlenstoff bei ZSt340 und ZSt300BH sowohl nach dem Trockeneisstrahlen als auch nach dem Trockeneisstrahlen mit anschließender Behandlung mit SIP-Haftvermittler

Maximal erzielte Klebfestigkeitsteigerung ggü. Anlieferungszustand in %

		EP1	EP2	EP3	PU
DP600	Trockeneisstr.	14	24	2	29
	Trockeneisstr.+SIP	31	33	6	1
ZSt340	Trockeneisstr.	32	55	48	127
	Trockeneisstr.+SIP	54	51	66	90
ZSt300BH	Trockeneisstr.	36	29	11	308
	Trockeneisstr.+SIP	73	46	24	235

Ausblick

- Untersuchung und Qualifizierung von CO₂-Schneestrahlen und Laserstrahlen zur Vorbehandlung
- Entwicklung eines hybriden Vorbehandlungssystems mit Trockeneisstrahlen und Laser
- Untersuchung neuer Werkstoffe, Klebstoffe und Beschichtungsreagenzien

