

**Inhalt:**

- 1 Geltungsbereich
- 2 Verfahrensbeschreibung
- 3 Beschreibung der zu schweißenden Werkstoffe
  - 3.1 Polyamid-Typen
  - 3.2 Zusatzstoffe
  - 3.3 Schweißrelevante Eigenschaften von Polyamiden
- 4 Werkstoffbezogene Einflussfaktoren auf das Schweißverhalten
  - 4.1 Erweichungs- und Plastifizierverhalten (Fließverhalten)
  - 4.2 Zusatzstoffe
  - 4.3 Recyclate, Regenerate, Regenerate
  - 4.4 Einfluss der Feuchtigkeit
- 5 Konstruktionsmerkmale der Fügeteile
  - 5.1 Schweißnahtgestaltung
  - 5.2 Toleranzen und Formgestaltung
  - 5.3 Fügezonengeometrien
  - 5.4 Aufnahmewerkzeuge
    - 5.4.1 Rotationsmitnehmer
    - 5.4.2 Aufnahmewerkzeug
- 6 Qualitätsanforderungen an die zu schweißenden Fügeteile
- 7 Wahl und Überwachung der Schweißparameter
  - 7.1 Schweißparameter
  - 7.2 Einstellparameter
  - 7.3 Folgeparameter
  - 7.4 Verfahrensoptimierung
- 8 Maßnahmen zur Qualitätssicherung
- 9 Sicherheitsvorschriften
- 10 Normen und Richtlinien
- 11 Ausgewählte Anwendungsbeispiele

**1 Geltungsbereich**

Diese Richtlinie gilt für das Rotationsreibschweißen (Kurzbezeichnung FR) von Formteilen und Halbzeugen aus Polyamiden, im Weiteren als PA bezeichnet.

**2 Verfahrensbeschreibung**

Die Grundlagen des Rotationsreibschweißens werden in DVS 2218-1 und 2218-2 beschrieben. Um hohe Schweißnahtqualitäten zu erzielen, werden Schweißmaschinen eingesetzt, die Mehrstufendrucke (unterschiedliche Drücke während der Schweiß- und Kühlphase) sowie eine Triggerung ermöglichen.

Die Maschinen der neueren Generation bieten weitere technische Möglichkeiten mit folgenden Betriebsarten:

- konstante Drehzahl, konstante Schweißkraft
- konstante Drehzahl, variable Schweißkraft
- variable Drehzahl, konstante Schweißkraft
- variable Drehzahl, variable Schweißkraft.

Hierdurch können Material und Schweißnaht unter spezifischen Aspekten besser berücksichtigt und Schweißnahtqualitäten weiter optimiert werden.

Außerdem verfügen moderne Reibschweißmaschinen über ein Diagnosesystem (Information über Fehlerquellen in der Maschine) zur

- Erfassung der Betriebsdaten
- Erfassung der Prozessdaten
- Bearbeitung der Prozessdaten bis hin zur statistischen Qualitätskontrolle
- Erstellung einer Datendokumentation.

**3 Beschreibung der zu schweißenden Werkstoffe****3.1 Polyamid-Typen**

Polyamide (PA) sind hochwertige Thermoplaste, die vorwiegend bei technischen Bauteilen eingesetzt werden. Es sind harte bis zähelastische Kunststoffe, die zur Verbesserung der mechanischen und thermischen Eigenschaften mit Verstärkungs- und/oder Füllstoffen oder anderen Zusätzen modifiziert werden können.

Es muss unterschieden werden zwischen teilkristallinen Polyamiden und amorphen (teilaromatischen) Polyamiden. Teilkristalline PA liegen als Homo- oder Copolyamide und als Gusspolyamide vor, wobei letztere hauptsächlich für dickwandige Formteile und Halbzeuge Verwendung finden. Amorphe PA sind transparent und zeichnen sich durch eine geringere Verarbeitungsschwindigkeit, gute Dimensionsstabilität, teilweise höhere Glasübergangstemperatur und etwas geringere Feuchtigkeitsaufnahme aus. Zu ihnen werden auch Polymermischungen (Blends) und Modifizierungen aus Polyamiden gezählt.

Zur Verbesserung z. B. der Schlagzähigkeit, der Wärmeformbeständigkeit oder Steifigkeit, können die Polyamide mit einer Reihe anderer Kunststoffe oder Elastifikatoren gemischt werden. Je nach Anteil der fremden Komponenten spricht man von modifizierten Polyamiden oder bei höherem Fremdanteil von Polyamidmischungen (Blends). Mit der Veränderung der oben genannten Eigenschaften wird auch das Schweißverhalten beeinflusst.

**3.2 Zusatzstoffe**

Zusatzstoffe beeinflussen, je nach Art und Menge, das Schweißverhalten und die Fügenaftfestigkeit. Zu den Zusatzstoffen zählen Füll- und Verstärkungstoffe, z. B.:

- Glas- oder Kohlenstofffasern
- Glasvliese oder -matten
- Glaskugeln
- Kreide
- Glimmer
- Quarzmehl
- Metallpulver

Diese Veröffentlichung wurde von einer Gruppe erfahrener Fachleute in ehrenamtlicher Gemeinschaftsarbeit erstellt und wird als eine wichtige Erkenntnisquelle zur Beurteilung empfohlen. Der Anwender muss jeweils prüfen, wie weit der Inhalt auf seinen speziellen Fall anwendbar und ob die ihm vorliegende Fassung noch gültig ist. Eine Haftung des DVS und derjenigen, die an der Ausarbeitung beteiligt waren, ist ausgeschlossen.

DVS, Ausschuss für Technik, Arbeitsgruppe „Fügen von Kunststoffen“

Weitere Zusatzstoffe sind z. B.:

- Additive
- Farbmittel, (Pigmente, Farbstoffe, Ruß)
- Nukleierungsmittel
- Schmiermittel
- Stabilisatoren
- Elastifikatoren
- Entformungshilfen (Trennmittel)

### 3.3 Schweißrelevante Eigenschaften von Polyamiden

Tabelle 1 zeigt Eigenschaften von unverstärkten Polyamiden, die für das Schweißen herangezogen werden können. Lediglich bei PAMXD6 wurden die Werte von einem mit 30% Glasfaser verstärktem Material aufgenommen, da dieser Werkstoff nur als verstärktes Material im Handel ist.

## 4 Werkstoffbezogene Einflussfaktoren auf das Schweißverhalten

### 4.1 Erweichungs- und Plastifizierverhalten (Fließverhalten)

Polyamide weisen hohe Schmelztemperaturen und relativ geringe Reibungskoeffizienten auf. Die beim Reibschweißen entstehende Wärme ist dem Produkt aus Reibzeit, -druck und Umfangsgeschwindigkeit proportional. Dieses Produkt muss einen Mindestwert erreichen, um die Materialoberfläche zu plastifizieren. Nach Abschluss der Anreibphase ändert sich die Schmelztemperatur nur noch wenig.

Die möglichen Reibschweißgeschwindigkeiten liegen in einem weiten Bereich, jedoch gehört zu einer bestimmten Drehzahl nur

ein enger Fügedruckbereich. Druck und Drehzahl sollten so gewählt werden, dass sich sehr schnell plastifizierte Schmelze bildet und nur eine geringe Abriebmenge entsteht. Ein zu hoher Fügedruck bewirkt ein Verdrängen der Schmelze aus der Füge-naht und eine steigende Abschmelzgeschwindigkeit. Polyamid bildet aufgrund der niedrigen Viskosität nur eine sehr dünne Schmelzeschicht.

Tabelle 2. Einfluss der Viskosität auf das Fließverhalten

PA niedrigviskos	Steilkegel-naht	Doppelkegel-naht
Umfangsgeschwindigkeit [m/s]	1,0 – 1,6	1,6 – 2,6
Fügedruck in der Schweißnaht [MPa]	1,5 – 1,8	0,6 – 1,2
Fügeweg [mm]	0 – 4,0	1,0 – 2,0
PA mittelviskos		
Umfangsgeschwindigkeit [m/s]	1,0 – 1,6	2,0 – 2,6
Fügedruck in der Schweißnaht [MPa]	1,0 – 2,2	0,6 – 1,2
Fügeweg [mm]	1,0 – 2,0	2,0 – 3,0

### 4.2 Zusatzstoffe

Für Zusatzstoffe gelten die in DVS 2218-1 und 2218-2 gemachten Angaben, sowie die unter Abschnitt 3.2 aufgeführten Zusatzstoffe.

### 4.3 Recycelte, Regranulate, Regenerate

Tabelle 1. Eigenschaften von Polyamidtypen für das FR-Schweißen.

PA-Typ	Chemischer Aufbau	Gruppe <sup>1)</sup>	Dichte g/cm <sup>3</sup>	Modul <sup>2)</sup> MPa	Wasseraufnahme <sup>3)</sup> %	Schmelztemperatur °C	Schmelzeviskosität MVR (275°C/5 kg)
6	Polycaprolactam	t	1,10 – 1,11	1100 – 3500/ 1000 – 2500	2,5	220	6 – 350
66	Polyhexamethylenadpinamid	t	1,13 – 1,14	2700 – 3600/ 1000 – 2800	2,5	255	10 – 150
610	Polyhexamethylen-sebacinamid	t	1,06 – 1,03	2400/ 1500	1,4	215	30 – 120
612	Polyhexamethylen-dodecanamid	t	1,01 – 1,02	2300/ 1500	1,3	210	60 – 200
11	Poly-11-aminoundecanamid		1,01 – 1,04	1600/ 1000	1,0	175 – 187	172 – 186
12	Polylaurinlactam	t	1,01 – 1,02	1300 - 1600/ 1200	0,9 – 1,8	172 – 180	36 – 160
46	Polytetrametylendipamid	t	1,18	3300/ 1000	3,7	295	
6/66	Copolymer aus PA6 und 66	t	1,13	2200/ 1000	3,2	296	60
66/6	Copolymer aus PA66 und 6	t - a	1,13	3000/ 1100	1,8	243	110
6/6T	Copolymer aus PA6 und Polyhexamethylen-terephthalamid	t	1,18	3500/ 3500		295	20 – 30 <sup>4)</sup>
PAMXD6-GF30	Poly-1,4-Xylylendipamid	t	1,22	4800/ 1000	0,2	235 - 245	

1) t = teilkristallin, a = amorph

2) Wert trocken, 2. Wert konditioniert

3) Normklima (23°C / 55% rel. Feuchtigkeit)

4) 10 min / 365°C / 5 kg