

Inhalt:

1	Geltungsbereich
2	Verfahrensbeschreibung
3	Kurzbeschreibung der zu schweißenden Werkstoffe
3.1	Polyethylen (PE)
3.1.1	Ethylen-Homopolymere
3.1.2	Ethylen-Copolymere
3.1.3	Polymergemische
3.1.4	PE mit Zusatzstoffen
3.2	Polypropylen (PP)
3.2.1	Propylen-Homopolymere
3.2.2	Propylen-Copolymere
3.2.3	Elastomermodifiziertes PP
3.2.4	PP mit Füll- und Verstärkungsstoffen
3.2.5	PP mit Zusatzstoffen
4	Werkstoffbezogene Einflußfaktoren auf das Schweißverhalten
4.1	Fließverhalten
4.2	Zusatzstoffe
4.3	Füll- und Verstärkungsstoffe
4.4	Recyclate, Regnulate, Regenerate
4.5	Einfluß der Feuchtigkeit
5	Forderung an die Herstellungsqualität der Fügeteile
6	Konstruktive Gestaltung der Fügeteile
7	Schweißanlagen
7.1	Bauarten
7.2	Ausführungsformen
7.3	Anforderung an das Heizelement
7.4	Temperaturbereich
7.5	Temperaturgenauigkeit auf der Arbeitsfläche
7.6	Aufnahmewerkzeuge
7.7	Halterungen und Fixierhilfen – Sondereinrichtungen
7.8	Besonderheiten beim Hochtemperaturschweißen
7.9	Besonderheiten beim Schweißen mit Strahlungswärme
8	Schweißbedingungen
8.1	Erwärmverfahren
8.2	Angleichdruck
8.3	Angleichzeit/Angleichweg
8.4	Erwärmdruck
8.5	Erwärmzeit
8.6	Umstellzeit
8.7	Fügedruck
8.8	Abkühlzeit
8.9	Kriterien beim Hochtemperaturschweißen
9	Einflußfaktoren auf die Schweißqualität
9.1	Konstruktive Hinweise
9.2	Schmelzverhalten
9.3	Verschmutzungen
9.4	Einfluß von Oberfläche, Behandlung und Beschichtung
9.5	Mehrschichtverbindungen
10	Prüfen der geschweißten Fügeteile
10.1	Zerstörungsfreie Prüfungen
10.1.1	Visuelle Prüfung
10.1.2	Ultraschall- und Röntgenprüfung
10.1.3	Dichtheitsprüfung
10.1.4	Thermographie
10.2	Zerstörende Prüfungen
10.2.1	Mechanische Prüfungen
10.2.2	Mikroskopische Untersuchung
11	Maßnahmen zur Qualitätssicherung im Fertigungsprozeß

11.1	Konstruktions- und Prozeß-FMEA
11.2	Maschinen- und Prozeßfähigkeitsuntersuchung
11.3	Eingangsprüfung der Fügeteile
11.4	Qualitätsregelkarte in der laufenden Fertigung
11.5	Statistische Prozeßkontrolle
12	Sicherheitsvorschriften
13	Normen und Richtlinien
14	Anhang: Ausgewählte Anwendungsbeispiele

1 Geltungsbereich

Diese Richtlinie gilt für das Heizelementschweißen von Formteilen untereinander wie auch für Kombinationen von Formteilen und Halbzeugen aus Polyethylen, Homo- und Copolymeren sowie deren Blends (verstärkt, gefüllte, elastomermodifizierte, brandgeschützte und Sonderanordnungen aus diesen Kunststoffen).

Das Heizelementschweißen von Rohren mit Formteilen ist nicht Gegenstand dieser Richtlinie. Hierfür gelten die Richtlinien DVS 2207-1, -2 und -11.

Diese Richtlinie ist im Zusammenhang mit der Richtlinie DVS 2215-1 zu sehen, in welcher die allgemeinen Grundlagen für das Heizelementschweißen von Formteilen aus thermoplastischen Kunststoffen in der Serienfertigung beschrieben sind.

2 Verfahrensbeschreibung

Siehe Richtlinie DVS 2215-1.

3 Kurzbeschreibung der zu schweißenden Werkstoffe PE, PP

Polyolefine sind teilkristalline Kunststoffe, die sich durch ein besonders günstiges Heizelementschweißverhalten auszeichnen. Aufgrund ihres breiten Schmelzbereichs finden diese Kunststoffe eine vielseitige Anwendung im Bereich des Heizelementschweißens, besonders bei der Halbzeugverarbeitung sowie in der Serienfertigung von Formteilen. In nahezu allen Fachsparten werden die Polyolefine durch das Heizelementschweißverfahren weiter verarbeitet. Die Auswahl des Materials oder des Typs soll daher nicht nur nach dem Anforderungsprofil des späteren Einsatzgebietes, sondern auch nach dem typspezifischen Schweißverhalten erfolgen.

Vernetzte Polyolefine sind schlecht bis nicht schweißgeeignet.

Werkstoffkennwerte sowie typspezifische Eigenschaften können den Produktdatenblättern sowie den Datenbanken der Rohstoffhersteller und Institute entnommen werden.

3.1 Polyethylen (PE)

Nach ISO 1872-1 (DIN 16 776-1) sind PE-Formmassen thermoplastische Formmassen auf Basis von Ethylen-Homopolymeren und/oder Ethylen-Copolymeren. Sie enthalten, wenn keine zusätzlichen Angaben gemacht werden, die für die Verarbeitung notwendige Ausrüstung. Falls erforderlich, können auch Füll- und/oder Verstärkungsstoffe enthalten sein.

Diese Veröffentlichung wurde von einer Gruppe erfahrener Fachleute in ehrenamtlicher Gemeinschaftsarbeit erstellt und wird als eine wichtige Erkenntnisquelle zur Beachtung empfohlen. Der Anwender muß jeweils prüfen, wie weit der Inhalt auf seinen speziellen Fall anwendbar und ob die ihm vorliegende Fassung noch gültig ist. Die Haftung des Deutschen Verbandes für Schweißtechnik e.V. und derjenigen, die an der Ausarbeitung beteiligt waren, ist ausgeschlossen.

DVS, Technischer Ausschuß, Arbeitsgruppe „Fügen von Kunststoffen“

3.1.1 Ethylen-Homopolymere

Polyethylene entstehen in Abhängigkeit von den Polymerisationsbedingungen mit unterschiedlichem Verzweigungsgrad. Mit abnehmender Verzweigung der Moleküle nehmen der kristalline Anteil und die Dichte zu.

Mit steigender Dichte und molarer Masse nehmen Schmelztemperatur und Schmelzviskosität zu. Mit steigender Schmelzviskosität ist Polyethylen einfacher zu schweißen, da die Klebneigung am Heizelement abnimmt. Dichte und molare Masse beeinflussen auch die mechanischen und thermischen Eigenschaften des Polyethylens.

PE-LD (Dichte 0,915 bis 0,934 g/cm³) wird im Hochdruckverfahren polymerisiert und besitzt eine langkettenverzweigte Struktur. Dagegen weist das – linear aufgebaute – PE-HD (Dichte 0,935 bis 0,97 g/cm³) höhere Steifigkeit, Härte und Wärmeformbeständigkeit auf. Es wird im Niederdruckverfahren produziert und enthält wenige Kurzkettenverzweigungen.

Mit zunehmender molarer Masse – gekennzeichnet durch abnehmende MVR/MFR-Werte – steigt bei PE die Schlagzähigkeit und Spannungsrißbeständigkeit; letztere steigt zusätzlich mit abnehmender Dichte, d. h. mit zunehmendem Verzweigungsgrad.

Weiterhin hat die Molmassenverteilung (MMV) einen erheblichen Einfluß auf Eigenschaften und Verarbeitung. Enge MMV fördert Schlagzähigkeit und Verzugsarmut, breite die Spannungsrißbeständigkeit und die Fließfähigkeit.

3.1.2 Ethylen-Copolymere

Die Copolymerisation des Ethylens führt zu verzweigten Kettenstrukturen. Dadurch werden der kristalline Anteil verringert und die Schmelztemperatur, Dichte und Steifigkeit herabgesetzt, die Spannungsrißbeständigkeit erhöht. Beim Niederdruck-Prozeß können hierzu nur apolare Comonomere wie 1-Buten, 1-Hexen, 1-Octen verwendet werden. Hierbei entstehen Polyethylene niedriger Dichte wie PE-ULD, PE-VLD und PE-LLD (Dichte 0,88 bis 0,93 g/cm³) und PE-MD mittlerer Dichte (Dichte 0,93 bis 0,94 g/cm³), welche eine lineare Struktur mit Kurzkettenverzweigungen aufweisen. Der Verzweigungsgrad und die Flexibilität steigen mit dem Comonomerengehalt.

Beim Hochdruck-Prozeß sind es polare Comonomere wie Vinylacetat (VA), Acrylsäure (A), Acrylester (EA), die neben der flexibilisierenden Wirkung zusätzlich andere Eigenschaften, zum Beispiel höhere Haftung zu Fremdmaterialien, aufweisen.

Die Copolymere (EVA, EAA, EEA) werden außer durch Dichte und MVR/MFR* noch zusätzlich durch Art und Menge der Comonomeren charakterisiert.

3.1.3 Polymergemische

Polymergemische entstehen durch mechanische Verarbeitung von anderen Polymeren (z.B. PA). Da Qualität, Art und Konzentration der zweiten Komponente im wesentlichen die Qualität der Schweißverbindung beeinflussen können, müssen Versuche zur Klärung der Schweißneigung durchgeführt werden.

3.1.4 PE mit Zusatzstoffen

Polyethylene enthalten die verschiedensten Zusatzstoffe wie Stabilisatoren, Farbstoffe, Antistatika, Verarbeitungshilfsmittel, Brandschutzmittel sowie teilweise Füll- und/oder Verstärkungsstoffe. Da diese Zusatzstoffe die Schweißneigung beeinflussen können, ist die Schweißneigung durch Versuche zu klären.

3.2 Polypropylen (PP)

PP-Formmassen sind nach ISO 1873-1 (DIN 16 774-1) thermoplastische Formmassen auf der Basis von Propylen-Homopolymeren und/oder Propylen-Copolymeren. Es gibt Homopolymere mit hohen und niedrigen kristallinen Anteilen, Blockcopolymeren, Randomcopolymeren, elastomermodifizierte sowie gefüllte und/

oder verstärkte Typen. Polypropylen bietet gute Voraussetzungen für das Heizelementschweißen. Wie beim Fügen von Halbzeug (zum Beispiel Richtlinie DVS 2207-11 Rohre) werden auch bei Formteilen gute Schweißqualitäten erreicht.

3.2.1 Propylen-Homopolymere

Aus Homopolymeren hergestellte Formteile zeichnen sich durch hohe Steifigkeit, Härte und Wärmeformbeständigkeit aus. Der Schmelzbereich beginnt bei 160°C. Zu beachten ist die Abnahme der Zähigkeit bei Temperaturen unter 0°C. Die unterschiedlichen Typen sind jeweils durch ihren MVR/MFR-Wert gekennzeichnet.

3.2.2 Propylen-Copolymere

Bei Copolymeren unterscheidet man zwischen Blockcopolymeren (PP-B) und Randomcopolymeren (PP-R). Copolymeren besitzen höhere Zähigkeiten als Homopolymere, erreichbarer MVR/MFR-Werte. Bei den Blockcopolymeren gilt dieses besonders für Temperaturen unterhalb etwa 5°C. Randomcopolymeren zeigen eine höhere Transparenz und einen herabgesetzten breiteren Schmelzbereich.

Die unterschiedlichen Typen sind jeweils durch ihren MVR/MFR-Wert bzw. ihre Zähigkeit gekennzeichnet.

3.2.3 Elastomermodifizierte Typen

Die elastomermodifizierten PP-Formmassen enthalten meistens als Elastifizierungsmittel Ethylen-Propylen-Kautschuk (EPM, EPDM). Sie zeichnen sich besonders durch die gute Schlagzähigkeit in der Kälte, ausreichende Steifigkeit in der Wärme, Verträglichkeit mit Füll- und Verstärkungsstoffen sowie durch die gute Verarbeitbarkeit aus.

3.2.4 PP mit Füll- und Verstärkungsstoffen

Glasfasern, Kreide- oder talkumgefüllte Polymere zeigen eine höhere Steifigkeit, Härte und Formbeständigkeit in der Wärme, jedoch meistens eine geringere Schlagzähigkeit als das ungefüllte Grundmaterial.

Glasfaserverstärkte Typen mit chemischer Kopplung zeichnen sich durch besonders hohe mechanische Festigkeit, Steifigkeit und Wärmeformbeständigkeit aus. Orientierungen der Glasfasern im Fertigteil beeinflussen die Eigenschaften und den Verzugsverhalten. Aus diesem Grund müssen diese Typen auch auf ihre Schweißneigung überprüft werden.

3.2.5 PP mit Zusatzstoffen

Zusatzstoffe wie Fremdpolymere, Farbstoffe, Stabilisatoren, Antistatika, Verarbeitungshilfsmittel und Brandschutzmittel beeinflussen die Eigenschaften von PP, insbesondere wenn sie in großen Mengen zugegeben werden oder wenn sie den kristallinen Aufbau verändern. Es ist deshalb notwendig, die Schweißneigung durch Vorversuche zu klären.

4 Werkstoffbezogene Einflußfaktoren auf das Schweißverhalten

4.1 Fließverhalten

Das Fließverhalten der Schmelze von Polyolefinen wird durch die Schmelzefließrate (MFR) oder Volumenfließrate (MVR) nach DIN 53 735/ISO 1133 charakterisiert. In der Norm sind die Kombinationen von Masse und Temperatur festgelegt, bei der die Schmelzefließrate zu bestimmen ist. Es können nur Werte miteinander verglichen werden, die bei gleichen Prüfbedingungen (Belastungsgewicht und Temperatur) gemessen wurden.

Das Plastifizierverhalten der Fügezone wird entscheidend von der Molmasse und damit vom Schmelzefließverhalten des zu schweißenden Werkstoffes beeinflusst.

In der Regel gilt:

Leichtfließende PE- und PP-Typen mit hoher MFR plastifizieren schneller als zähfließende mit niedriger MFR und neigen dadurch leichter zum Haften der Schmelze auf dem Heizelement. Das gilt

* siehe Tabelle 1