

Überprüfung des geforderten Zeitstandzug-Schweißfaktors und der Mindestlebensdauer von Schweißverbindungen aus Polyethylen

Checking of the required long-term tensile welding factor and the minimum time of welded joints made of polyethylene

DVS-Arbeitsgruppe AGW 4.04, Leitung: Johannes Grieser, HESSEL Ingenieurtechnik GmbH
DVS working group AGW 4.04, Chairman: Johannes Grieser, HESSEL Ingenieurtechnik GmbH

Zusammenfassung

Die Richtlinie DVS 2203-4 bewertet die Qualität von Schweißverbindungen aus Thermoplasten durch den Langzeit-Schweißfaktor. Das Ergebnis hängt in nicht unerheblichem Maße von der Güte der Präparation ungeschweißter Bezugsproben ab. Die Richtlinie DVS 2203-4 wird durch das Beiblatt 3 ergänzt, indem ein Verfahren zur Überprüfung des geforderten Schweißfaktors und zur Mindestlebensdauer der untersuchten Schweißverbindung beschrieben ist. Der Prüfaufwand ist dem, der bisher zur Bestimmung des Zeitstandzug-Schweißfaktors erforderlich ist, vergleichbar. Das Verfahren bietet jedoch den Vorteil, dass es ohne Prüfung von ungeschweißten Bezugsproben auskommt und zusätzlich die Information der Mindestnutzungsdauer von Schweißverbindungen bei individuellen Anwendungsbedingungen liefert.

Der vorliegende Aufsatz beschreibt Hintergrundinformationen zu den Grundlagen des in Beiblatt 3 der Richtlinie DVS 2203-4 beschriebenen Prüfverfahrens.

Summary

The DVS 2203-4 technical code assesses the quality of welded joints made of thermoplastics using the long term tensile welding factor. The result depends not only on the quality of the welded joint but also on the quality of the preparation of the unwelded reference specimens. The DVS 2203-4 technical code is supplemented by Annex 3 in which a procedure for checking the required welding factor and the minimum creep rupture time of the welded joint is described. The test scope is comparable with that which has been necessary until now to determine the long-term tensile welding factor. However, the procedure offers the advantage that it does not require testing of unwelded reference specimens and, in addition, supplies information about the minimum creep rupture time of welded joints in individual application conditions.

The present essay describes background information about the fundamentals of the test procedure described in Annex 3 to the DVS 2203-4 technical code.

Mitglieder der DVS-Arbeitsgruppe AGW 4.04:
Members of the DVS working group AGW 4.04:

Heiko Below, GERODUR MPM Kunststoffverarbeitung GmbH & Co. KG, Neustadt

Thomas Frank, FRANK GmbH, Mörfelden

Dr. Boris Gibbesch, STEULER Industrieller Korrosionsschutz GmbH, Höhr-Grenzhausen

Holger Hesse, egeplast Werner Strumann GmbH & Co. KG, Greven

Grieser, Johannes, HESSEL Ingenieurtechnik GmbH, Roetgen (Vorsitz)

Dr. Joachim Hessel, HESSEL Ingenieurtechnik GmbH, Roetgen

Winfried Langlouis, SKZ - ToP gGmbH, Würzburg

Werner Rothhöft, BASELL Polyolefine GmbH, Frankfurt

Ulrich Schulte, BASELL Polyolefine GmbH, Frankfurt



Johannes Grieser

Autorenprofil: **Author profile:**
www.fuegen-von-kunststoffen.de/?id=201621
www.joining-plastics.info/?id=201621

Einleitung

Innerhalb des DVS Regelwerks beschreibt die Richtlinie 2203-4 [1] die Qualität von Schweißverbindungen aus Thermoplasten im Verhältnis zum ungeschweißten Material. Durch Prüfung von geschweißten und ungeschweißten Zugproben im Zeitstandversuch wird der Nachweis geführt, ob der geforderte Langzeit-Schweißfaktor erreicht wird. Das Ergebnis hängt in nicht unerheblichem Maße von der Güte der Probekörperpräparation ab. Eine Aussage zur Mindestlebensdauer der Schweißverbindung kann derzeit aus der Richtlinie 2203-4 nicht abgeleitet werden.

Im März 2006 hat sich die DVS Arbeitsgruppe AGW 4.04 mit dem Ziel gebil-

Introduction

Within the DVS set of rules, the DVS 2203-4 technical code [1] describes the quality of welded joints made of thermoplastics in relation to the unwelded material. By testing welded and unwelded tensile test specimens in the creep rupture test, it is proven whether the required long-term tensile welding factor is reached. However, the result also depends on the quality of the test specimen preparation. At the moment, it is not possible to derive a statement about the minimum creep rupture time of the welded joint from the DVS 2203-4 technical code.

In March 2006, the DVS working group AGW 4.04 was formed with the objec-

tive of elaborating an annex to the DVS 2203-4 technical code which is devoted to the following subjects: "Influence of the test specimen preparation" and "Minimum creep rupture time of welded joints". The draft of the annex has progressed so far that it will be possible to submit it to the DVS bodies in the near future. The yellow paper of the annex entitled "Checking of the required tensile creep rupture welding factor and the minimum creep rupture time of welded joints made of polyethylenes (PE 80 and PE 100)" is intended for the end of 2007.

Influence of the test specimen preparation

The DVS 2203-4 technical code stipulates that the test specimens must be manufactured without any notches. Notches or grooves in the cut surfaces of the test specimens constitute potential defects which may initiate a premature crack in the creep rupture test. Notches caused by specimen prepara-

det, ein Beiblatt zur Richtlinie 2203-4 zu erarbeiten, das sich den Themen „Einfluß der Probekörperpräparation“ und „Mindestlebensdauer von Schweißverbindungen“ widmet. Der Entwurf des Beiblattes ist soweit vorangeschritten, dass er in Kürze den Gremien des DVS vorgelegt werden kann. Der Gelbdruck des Beiblattes mit dem Titel „Überprüfung des geforderten Zeitstandzug-Schweißfaktors und der Mindestlebensdauer von Schweißverbindungen aus Polyethylenen (PE 80 und PE 100)“ ist Ende 2007 angedacht.

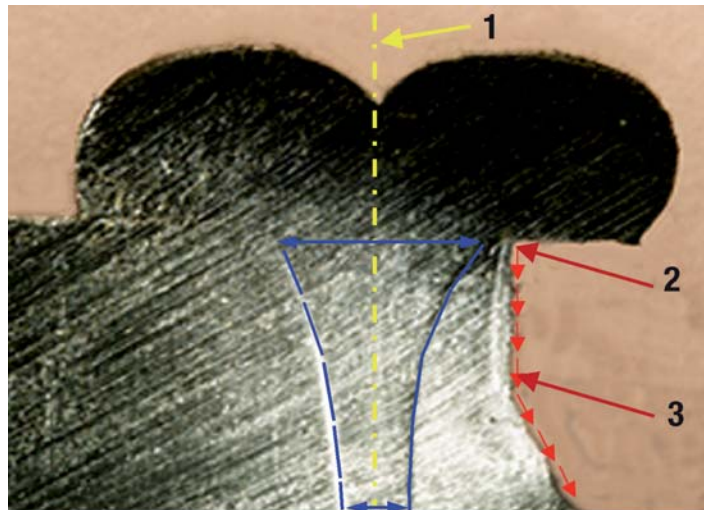
Einfluß der Probekörperpräparation

Die DVS Richtlinie 2203-4 schreibt eine kerbfreie Herstellung der Probekörper vor. Kerben oder Riefen in den Schnittflächen der Probekörper stellen potentielle Fehlstellen dar, die in der Zeitstandprüfung einen vorzeitigen Riss initiieren können. Durch die Präparation (z. B. Sägen, Fräsen, Schneiden oder Schleifen) verursachte Kerben reduzieren die Standzeit im Verhältnis zum kerbfreien Probekörper, sofern keine größeren Störstellen z. B. in Form eines Schweißwulstes vorliegen.

Die Güte der Probenpräparation wirkt sich demzufolge auf geschweißte und ungeschweißte Probekörper unterschiedlich aus. Probekörper aus Stumpfschweißungen zeigen sich gegenüber Präparationsfehlern und Fehlstellen unempfindlich, solange die Kerbe zwischen Schweißwulst und Grundmaterial (Bild 1) rissbestimmend ist. Ungeschweißte Probekörper dagegen erfahren durch Präparationsfehler verkürzte Standzeiten im Zeitstandversuch.

Erfüllen die Probekörper des ungeschweißten Grundwerkstoffes trotz Präparationsfehler die in der DVS Richtlinie 2203-4 vorgeschriebene Mindeststandzeit (Tabelle 1), legen sie die „Messlatte“ für die geschweißten Probekörper fest. In der vereinfachten Methode zum Mindestnachweis eines geforderten Zeitstandzug-Schweißfaktors nach DVS 2203-4 (Bild 2) wird von geschweißten Probekörpern (bei der dem Schweißfaktor abgesenkten Prüfspannung) die gleiche Standzeit gefordert, die von ungeschweißten Probekörpern bei der Bezugsspannung vorgegeben wird.

Werden die Standzeiten von ungeschweißten Probekörper durch Präpa-



1	Fügeebene	Fusion plane
2	Bruchausgang	Crack starting point
3	Rissverlauf	Crack path
4	Breite der aufgeschmolzenen Zone	Width of the melt zone

Bild 1: Typischer Bruchverlauf an einem Probekörper aus einer Heizelement-Stumpfschweißung nach dem Zeitstand-Zugversuch. Bruchausgang von der Kerbe zwischen Schweißwulst und Grundmaterial [2]

Figure 1: Typical rupture path on a test specimen from a heated tool butt weld after the tensile creep rupture test. Crack starting from the notch between the welding bead and the parent material [2]

Tabelle 1: Mindeststandzeiten der Grundwerkstoffe als Voraussetzung zur Bestimmung der Langzeitschweißfaktoren, Tabelle 2 aus [1]
Table 1: Minimum creep rupture times of the parent materials as a prerequisite for determining the long-term tensile welding factors, Table 2 from [1]

Werkstoff / Material	Prüfspannung / Test stress [N/mm ²]	Prüftemperatur / Test temperature [°C]	Mindeststandzeit / Minimum creep rupture time [h]
PP Type 1	4	95	800
PP Type 1	3,5	95	1300
PE	4	95	30
PE	4	80	500

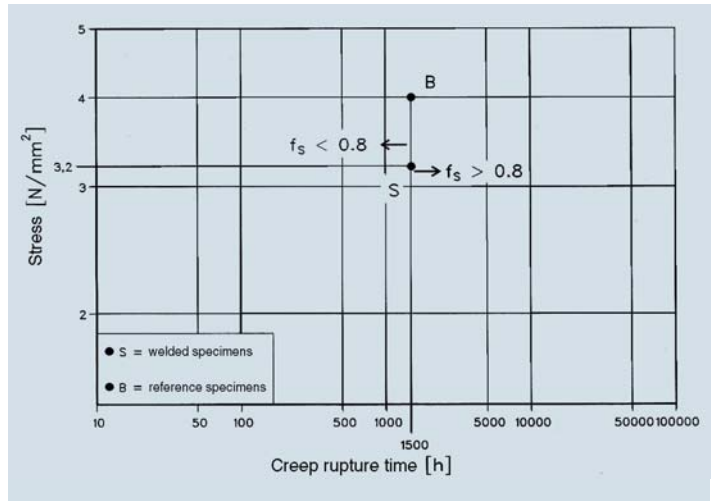


Bild 2: Vereinfachte Methode zum Mindestnachweis eines geforderten Zeitstandzug-Schweißfaktors, Bild 6 aus [1]

Figure 2: Simplified method for the minimum proof of a required long-term tensile welding factor, Fig. 6 from [1]

tion (e.g. sawing, milling, cutting or grinding) reduce the creep rupture time compared to the notch-free unwelded reference test specimen where there are no major imperfections, e.g. in the form of a welding bead.

Consequently, the quality of the specimen preparation exerts different effects on welded and unwelded test specimens. Test specimens consisting of butt welds are shown to be insensitive to preparation mistakes and defects as long as the notch between the welding bead and the parent material (Fig. 1) where the crack initiates. On the other hand, unwelded test specimens have shorter creep rupture times in the creep rupture test if there are any preparation mistakes.

If the test specimens of the unwelded parent material fulfil the minimum creep rupture time stipulated in the DVS 2203-4 technical code (Table 1) in spite of preparation mistakes, they define the "yardstick" for the welded test specimens. In the simplified method for the

minimum proof of a required tensile creep rupture welding factor according to DVS 2203-4 (Fig. 2), the same creep rupture time is required of welded test specimens (at the test stress lowered by the welding factor) as is specified for unwelded test specimens at the reference stress.

If the creep rupture times of unwelded test specimens are decreased by preparation mistakes, this may, for welded joints with a poor quality or for materials sensitive to stress cracks, result in welding factors which apparently satisfy the set requirements. Because of the "worse performance" of the inadequately prepared, unwelded test specimens, the welded joints are rated as more favourable than they actually are.

Since the incorrect preparation of unwelded test specimens may result in an excessively optimistic assessment of the welded joint, it is desirable to introduce a test procedure which dispenses with the testing of unwelded test spec-

rationsfehler herabgesetzt, können sich für qualitativ schlechte Schweißverbindungen oder spannungsrissempfindliche Werkstoffe Schweißfaktoren ergeben, die scheinbar den gestellten Anforderungen genügen. Die Schweißverbindungen werden aufgrund des „schlechteren Abschneidens“ der unzulänglich präparierten, ungeschweißten Probekörper günstiger beurteilt, als sie es tatsächlich sind.

Da aus der fehlerhaften Präparation ungeschweißter Probekörper eine zu optimistische Bewertung der Schweißverbindung resultieren kann, ist es wünschenswert ein Prüfverfahren einzuführen, das zum Nachweis des Zeitstandzug-Schweißfaktors auf die Prüfung von ungeschweißten Probekörpern verzichtet. Dieser Ansatz wird im vorgenannten Beiblatt berücksichtigt.

Mindestlebensdauer von Schweißverbindungen

Das im Beiblatt beschriebene Prüfverfahren verbindet die Überprüfung des Zeitstandzug-Schweißfaktors mit einer Mindestlebensdauervorhersage der untersuchten Schweißverbindung. Das Verfahren basiert auf dem „MAC-Konzept“ (Modified Arrhenius Concept) [3], das die gleichzeitige Änderung von Prüfspannung und Prüftemperatur in der Zeitstandprüfung unter folgenden Voraussetzungen zulässt:

- die Prüfspannung ist proportional der reziproken absoluten Temperatur
- die Aktivierungsenergie darf zu tieferen Spannungen nicht abnehmen
- die Betrachtungsweise gilt innerhalb eines konstanten Bruchmechanismus (z. B. Sprödbruch)

Der Vorteil des „MAC-Konzeptes“ besteht unter den genannten Voraussetzungen in der Wahlfreiheit der Ausgangs- und Zielbedingungen.

Als Ausgangsbedingungen sind die Prüfparameter Temperatur, Spannung und das Prüfmedium auszuwählen, mit denen die Zeitstand-Zugprüfung von geschweißten Probekörpern im Labor durchzuführen ist. Als Zielbedingungen können die tatsächlichen Betriebs- oder Auslegungsbedingungen der Schweißverbindung adaptiert werden. Damit wird durch das MAC-Konzept eine direkte Verbindung zwischen Prüf- und Anwendungsbedingungen hergestellt. Ein Beispiel für die Auswahl von Prüfbedingungen nach dem MAC-Konzept

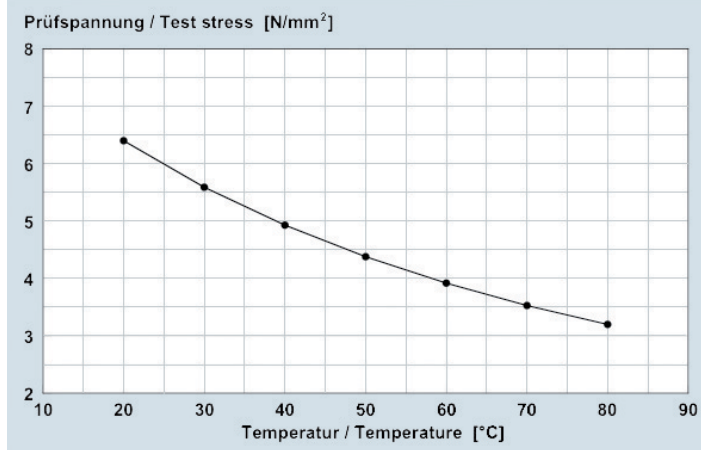


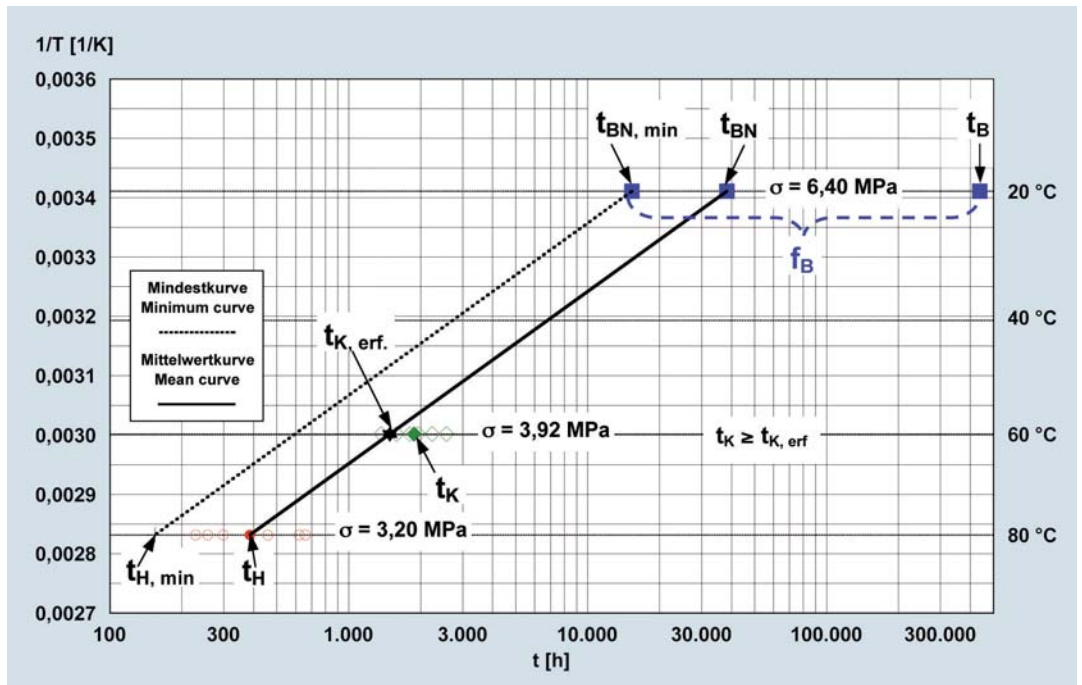
Bild 3: Prüfbedingungen nach dem MAC-Konzept für HS-Schweißverbindungen aus PE 80 [4]

Figure 3: Test conditions according to the MAC for butt welded joints made of PE 80 [4]

imens in order to prove that the long-term tensile welding factor is above the required value. This approach is taken into account in the above annex.

Minimum creep rupture time of welded joints

The test procedure described in the annex combines the checking of the long-term tensile welding factor with a minimum creep rupture time prediction for the welded joint under investigation. The procedure is based on the Modified Arrhenius Concept (MAC) [3] which permits simultaneous changes in the test stress and the test temperature in the creep rupture test subject to the following prerequisites:



- f_B Beschleunigungsfaktor: Verhältnis aus den geometrischen Mittelwerten der Standzeiten von z. B. Schweißproben, FNCT- oder 2NCT-Proben im Betriebs- und im Prüfmedium
Acceleration factor: relationship from the geometrical means of the creep rupture times of (for example) welded specimens, FNCT specimens or 2NCT specimens in the operating medium and in the test medium
- t_B Mindestnutzungsdauer der Schweißverbindung bei Betriebsbedingungen
Minimum creep rupture time of the welded joint in operating conditions
- t_{BN} Mittlere Nutzungsdauer der Schweißverbindung bei Betriebsbedingungen im Prüfmedium
Mean creep rupture time of the welded joint in operating conditions in the test medium
- $t_{BN, min}$ Mindestnutzungsdauer der Schweißverbindung bei Betriebsbedingungen im Prüfmedium
Minimum creep rupture time of the welded joint in operating conditions in the test medium
- t_K Geometrischer Mittelwert der Standzeiten von geschweißten Probekörpern bei der Kontrollbedingung
Geometrical mean of the creep rupture times of welded test specimens in the control conditions
- $t_{K, erf}$ Erforderliche mittlere Standzeit von geschweißten Probekörpern bei der Kontrollbedingung
Required mean creep rupture time of welded test specimens in the control conditions
- t_H Geometrischer Mittelwert der Standzeiten von geschweißten Probekörpern bei der höchsten Prüftemperatur
Geometrical mean of the creep rupture times of welded test specimens at the highest test temperature
- $t_{H, min}$ Mindeststandzeit von geschweißten Probekörpern bei der höchsten Prüftemperatur
Minimum creep rupture time of welded test specimens at the highest test temperature

Bild 4: Darstellung des Prüfkonzeptes im Arrheniusdiagramm

Figure 4: Representation of the test concept on the Arrhenius diagram

für Stumpfschweißverbindungen aus PE 80 ist in Bild 3 dargestellt.

Prüfbedingungen

Im Beiblatt werden für PE 80 und PE 100 Prüfbedingungen empfohlen, mit denen die Zeitstand-Zugprüfung von geschweißten Probekörpern durchzuführen ist. Bei der höchsten Prüftemperatur (z. B. 80°C) sind mindestens 6 Probekörper mit einer um den geforderten Schweißfaktor abgesenkten Prüfspannung in einem spannungsrissfördernden Medium einzusetzen. Aus den Bruchzeiten der 6 Probekörper in der Zeitstandprüfung lassen sich der geometrische Mittelwert (t_H in Bild 4) und die um die Streuung*¹⁾ reduzierte Mindeststandzeit ($t_{H,min}$) ermitteln. Der Mindestwert [5] legt die Schwelle fest, die statistisch von 97,7 % der Proben überschritten wird*²⁾.

Zielbedingungen

Die Zielbedingungen leiten sich aus dem Betriebsdruck, der Systemtemperatur (z. B. 20 °C), dem Betriebsmedium und der Mindestnutzungsdauer (t_B) des Rohrsystems ab. Zum Nachweis langer Nutzungsdauern kann bei heute üblichen Rohrqualitäten eine Prüfung in vertretbaren Zeiträumen in der Regel nur in spannungsrissfördernden Medien durchgeführt werden.

Die Übertragbarkeit auf das Betriebsmedium erfolgt durch den Beschleunigungsfaktor f_B , der die Standzeiten im Betriebs- und im Prüfmedium zueinander ins Verhältnis setzt. Zur Ermittlung des Beschleunigungsfaktors sieht das Beiblatt die Prüfung von geschweißten Probekörpern, FNCT oder 2NCT Proben vor. Die Mindestnutzungsdauer bei Betriebsbedingungen wird mit Hilfe des Beschleunigungsfaktors durch eine äquivalente Mindestnutzungsdauer im span-

*¹⁾ Die Streuung wird durch die doppelte Standardabweichung (2-s) der Logarithmen aus den Einzelstandzeiten der geschweißten Probekörper beschrieben

*²⁾ Übliche Betrachtungsweise in der Zeitstandprüfung

*¹⁾ The scatter is described by double the standard deviation (2-s) of the logarithms from the individual creep rupture times of the welded test specimens

*²⁾ Customary approach in the creep rupture test

$$E_A = 1,9152 \cdot 10^{-2} \frac{\log t_1 - \log t_2}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}} = \frac{1,9152 \cdot 10^{-2}}{m}$$

E_A	Aktivierungsenergie [kJ/mol]
t_1	Standzeit [h] bei T_1
t_2	Standzeit [h] bei T_2
T_1, T_2	Absolute Temperaturen [K]
m	Steigung der Arrheniusgeraden

E_A	Activation energy [kJ/mol]
t_1	Creep rupture time [h] at T_1
t_2	Creep rupture time [h] at T_2
T_1, T_2	Absolute Temperatures [K]
m	Upward slope of the Arrhenius straight lines

Bild 5: Formel zur Berechnung der Aktivierungsenergie

Figure 5: Formula for the calculation of activation energy.

nungsrissfördernden Medium ($t_{BN,min}$) abgebildet.

Die Verknüpfung zur Prüfbedingung (80 °C) wird durch die Mindestkurve in Bild 4 (gestrichelte Linie von $t_{BN,min}$ nach $t_{H,min}$) angegeben. Sie legt die Mindestanforderung an die geschweißten Probekörper im betrachteten Temperaturbereich (hier: 20 bis 80 °C) fest, die statistisch 97,7 % aller Schweißverbindungen überschreiten.

Aus der Mindestkurve wird durch Parallelverschiebung um den Betrag der Streuung die Mittelwertkurve (durchgezogene Linie von t_H nach t_{BN}) generiert. Die Streuung wird als invariant gegenüber der Temperatur betrachtet, woraus sich der parallele Verlauf der Kurven erklärt. Die Mittelwertkurve beschreibt die Anforderung, die eine Stichprobe bei der betrachteten Temperatur im Mittel erreichen muss, um die Anforderungen bei Betriebsbedingungen zu verifizieren.

Prüftechnische Umsetzung

Dieser Ansatz wird prüftechnisch genutzt, um den Nachweis der Mindestlebensdauer der Schweißverbindung bei Betriebsbedingungen zu erbringen. Dazu werden bei mindestens einer Kontrolltemperatur (z. B. 60 °C) 6 weitere geschweißte Probekörper im Zeitstand-Zugversuch eingesetzt und die Forderung erhoben, dass der geometrische Mittelwert aus den Stand- und Prüfzeiten der Proben (t_K) die Mittelwertkurve ($t_{K,erf}$) erreicht (Forderung: $t_K \geq t_{K,erf}$). Ist die Forderung $t_K \geq t_{K,erf}$ erfüllt, liegt die Neigung der Mittelwertkurve durch die Prüferien bei 60 und 80 °C fest. Aus der Neigung der Kurve im Arrheniusdiagramm kann die Aktivierungsenergie abgeleitet werden, die das temperatur- und spannungsabhängige Bruchverhalten der Schweißverbindungen beschreibt. Die Berechnung der Aktivierungsenergie in Anlehnung an Westphal [6] ist in Bild 5 angegeben. Sie ist umgekehrt proportional der Steigung der Arrheniusgeraden und für die parallelver-

- the test stress is proportional to the inverse of absolute temperature
- the activation energy must not drop to lower stresses
- the approach is applicable within a constant rupture mechanism (e.g. brittle rupture)

Subject to the specified prerequisites, the advantage of the "MAC" is to be found in the freedom to choose the starting and target conditions.

For the starting conditions, it is necessary to select the test parameters (temperature, stress and test medium) with which the tensile creep rupture test must be carried out on welded test specimens in the laboratory. The actual operating or design conditions of the welded joint may be adapted as the target conditions. The MAC thus makes a direct connection between the test and application conditions. Fig. 3 shows one example of the selection of test conditions according to the MAC for butt-welded joints made of PE 80.

Test conditions

In the annex, test conditions in which the tensile creep rupture test must be carried out on welded test specimens are recommended for PE 80 and PE 100. At the highest test temperature (e.g. 80°C), at least six test specimens must be used at a test stress lowered by the required welding factor in a medium promoting stress cracks. From the rupture times of the six test specimens in the creep rupture test, it is possible to establish the geometrical mean (t_H on Fig. 4) and the minimum creep rupture time ($t_{H,min}$) reduced by the scatter*¹⁾. The minimum value [5] defines the threshold which is statistically exceeded by 97.7 % of the specimens*²⁾.

Target conditions

The target conditions are derived from the operating pressure, the system temperature (e.g. 20°C), the operating medium and the minimum creep rupture time

(t_B) of the pipe system. In order to prove long creep rupture times, it is generally possible, with the pipe qualities customary today, to perform a test in justifiable periods only in media promoting stress cracks.

The results are transferred to the operating medium using the acceleration factor f_B which relates the creep rupture times in the operating medium and in the test medium. In order to establish the acceleration factor, the annex makes provision for the testing of welded test specimens, FNCT specimens or 2NCT specimens. With the aid of the acceleration factor, the minimum creep rupture time in operating conditions is represented by an equivalent minimum creep rupture time in the medium promoting stress cracks ($t_{BN,min}$).

The link to the test condition (80°C) is specified by the minimum curve on Fig. 4 (dashed line from $t_{BN,min}$ to $t_{H,min}$). It defines the minimum requirement on the welded test specimens in the temperature range under consideration (here: 20 - 80°C) which 97.7 % of all the welded joints statistically exceed. The mean curve (solid line from t_H to t_{BN}) is generated from the minimum curve by means of parallel displacement by the amount of the scatter which is regarded as invariant as far as the temperature is concerned. This explains the parallel course of the curves. The mean curve describes the requirement which a random sample must reach on average at the temperature under consideration in order to verify the requirements in operating conditions.

Implementation in test engineering

This approach is used in test engineering in order to provide the proof of the minimum creep rupture time of the welded joint in operating conditions. For this purpose, six more welded test specimens are utilised in the tensile creep rupture test at a minimum control temperature

laufenden Mindest- und Mittelwertkurven gleich groß.

Mit Kenntnis der Aktivierungsenergie ist die Angabe zur Mindestnutzungsdauer der Schweißverbindungen bei Betriebsbedingungen möglich. Ausgehend von der Mindeststandzeit der geschweißten Probekörper bei 80 °C ($t_{H, \min}$) erfolgt die Extrapolation zur Mindeststandzeit im Prüfmedium ($t_{BN, \min}$) bei 20 °C und über den Beschleunigungsfaktor die Angabe zur Mindestnutzungsdauer bei Betriebsbedingungen. Der Nachweis ist erbracht, wenn die Forderung $t_K \geq t_{K, \text{eff}}$ erfüllt ist.

Fazit

Zur DVS Richtlinie 2203–4 wird zur Zeit ein Beiblatt erstellt, das die Überprüfung des Zeitstandzug-Schweißfaktors mit einer Mindestlebensdauervorhersage der untersuchten Schweißverbindung verbindet. Das Verfahren verzichtet auf die Prüfung von Probekörpern aus unge-

schweißtem Grundmaterial, um mögliche Fehlbewertungen zum Zeitstandzug-Schweißfaktor durch Präparationsfehler auszuschließen.

Mit einem minimalen Prüfaufwand von 12 geschweißten Probekörpern, die nach dem MAC-Konzept bei 2 Prüftemperaturen und Spannungen eingesetzt werden und der Kenntnis des Beschleunigungsfaktors, ist die Angabe zur Mindestnutzungsdauer bei individuellen Anwendungsbedingungen von Schweißverbindungen möglich. Der Prüfaufwand ist dem, der bisher zur Bestimmung des Zeitstandzug-Schweißfaktors nach DVS 2203-4 erforderlich ist, vergleichbar. Nach dem neuen Verfahren erhöht sich jedoch der Nutzen um die zusätzliche Information der Mindestnutzungsdauer.

Das vorgestellte Verfahren wurde erfolgreich an Heizelementstumpf-Schweißverbindungen von Rohren aus PE 80 und PE 100 verifiziert.

(e.g. 60°C) and the requirement is made that the geometrical mean from the creep rupture and test times of the specimens (t_K) reaches the mean curve ($t_{K, \text{eff}}$).

If the $t_K \geq t_{K, \text{eff}}$ is fulfilled, the slope of the mean curve is fixed by the series of tests at 60°C and 80°C. The activation energy which describes the temperature-dependent and stress-dependent rupture behaviour of the welded joints can be derived from the slope of the curve on the Arrhenius diagram. The calculation of the activation energy with reference to Westphal [6] is specified in Fig. 5. It is inversely proportional to the upward slope of the Arrhenius straight lines and is equally high for the minimum and mean curves running in parallel.

With knowledge of the activation energy, it is possible to indicate the minimum creep rupture time of the welded joints in operating conditions. On the basis of the minimum creep rupture time of the welded test specimens at 80°C

($t_{H, \min}$), the value is extrapolated to the minimum creep rupture time in the test medium ($t_{BN, \min}$) at 20°C and the minimum creep rupture time in operating conditions is indicated using the acceleration factor. The proof is provided when the $t_K \geq t_{K, \text{eff}}$ demand is fulfilled.

Conclusion

At the moment, an annex which combines the checking of the long-term tensile creep rupture welding factor with a minimum time prediction for the welded joint under investigation is being elaborated for the DVS 2203–4 technical code. The procedure dispenses with the testing of test specimens made of unwelded parent material in order to exclude any possible incorrect assessments about the tensile creep rupture welding factor due to preparation mistakes.

With a minimal test scope of twelve welded test specimens which are utilised at two test temperatures and stresses according to the MAC and with knowledge of the acceleration factor, it is possible to indicate the minimum creep rupture time in individual application conditions of welded joints. The test scope is comparable with that which has been necessary until now in order to determine the long-term tensile welding factor according to DVS 2203-4. However, according to the new procedure, the benefit is increased by the additional information about the minimum creep rupture time.

The presented procedure was verified successfully on heated tool butt-welded joints between sheets and pipes made of PE 80 and PE 100.

Literatur References

- [1] Deutscher Verband für Schweißtechnik E.V., Richtlinie DVS 2203-4, Prüfen von Schweißverbindungen an Tafeln und Rohren aus thermoplastischen Kunststoffen, Zeitstand-Zugversuch, Juli 1997
- [2] Hessel, J., Erweitertes Anwendungsspektrum für PE-HD Rohrsysteme mit hoher Spannungsrißbeständigkeit, Vortrag, Wiesbadener Kunststoffrohrtage 2001
- [3] Schulte, U.; Hessel, J., Restlebensdauer von Hostalen GM5010 nach einer Betriebszeit von 41 Jahren, 3R INTERNATIONAL, Jg. 45, Nr. 9, 2006
- [4] Interne Verfahrensanweisung der HESSEL Ingenieurtechnik GmbH, akkreditiertes Verfahren für die Festlegung der Prüfbedingungen nach dem MAC-Konzept mit Validierungsnachweis
- [5] Sachs, L., Angewandte Statistik, 9. Auflage, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg 1999
- [6] Westphal, W. H. (Hrsg.), Physikalisches Wörterbuch, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg 1952