

Hohe Qualitätsanforderungen für thermoplastische Wickelrohre im industriellen Einsatz

High quality standards for wound thermoplastic pipes for industrial applications

Von Torben KnöB

Bei den im industriellen Rohrleitungsbau eingesetzten Kunststoffrohren gibt es grundsätzlich zwei Arten. Zum Einen die axial- oder strangextrudierten Rohre nach DIN 8074/75 und zum anderen die tangential extrudierten Rohre (Wickelrohre) nach DIN 16961, die hauptsächlich im Nennweitenbereich ab 600 mm eingesetzt werden. Wickelrohre aus Polyethylen (PE) und Polypropylen (PP) sind nach modernen Gesichtspunkten aus dem Industriebereich nicht mehr wegzudenken. Sie sind qualitativ hochwertig und bieten dem Verarbeiter und dem Endkunden ein Höchstmaß an Sicherheit.

The plastic pipes used in industrial pipeline engineering fall into two basic types – axial, or continuously extruded pipes in accordance with DIN 8074/75, on the one hand, and tangentially extruded pipes (“wound pipes”) in accordance with DIN 16961, which are used primarily in the nominal diameter range above 600 mm, on the other. Wound polyethylene (PE) and polypropylene (PP) pipes have, on modern criteria, become an indispensable part of industrial piping engineering – they offer high quality and maximum reliability and safety for both engineers, contractors and the end customer.

fräst. Aufgrund dieses Herstellungsprozesses muss die Produktionsanlage nach jeder Rohrproduktion neu eingestellt und wieder angefahren werden.

Durch mehrlagiges Übereinanderwickeln der Formmasse, sowie das Variieren der Materialmenge und der Trommeldrehgeschwindigkeit können unterschiedliche Wanddicken ausgeführt werden. Dabei liegen die Überlappungsstellen der einzelnen Lagen versetzt zueinander. Die Wanddicke wird bei der Projektierung an die jeweiligen Betriebsbedingungen angepasst. Somit kann ein Wickelrohr produziert werden, das genau den Anforderungen der Kunden entspricht und zusätzlich ausreichende Sicherheitsreserven besitzt. Im industriellen Rohrleitungsbau werden überwiegend Vollwandwickelrohre eingesetzt.

Herstellung von Wickelrohren

Die Herstellung der tangential extrudierten Rohre erfolgt im Wickelverfahren nach DIN 16961. Hierbei wird ein homogenes, plastifiziertes Band spiralförmig auf einen Innenkern (Stahlkern) gewickelt und durch Überlappungen miteinander verbunden. Der Stahlkern dient dabei als Kalibrierung. Dadurch ist ein gleichbleibender Innendurchmesser (DN) auch bei unterschiedlichen Wanddicken bzw. Beanspruchungen gegeben. Die Abkühlung der Rohre erfolgt langsam unter Umgebungstemperatur. So können Eigenspannungen, die durch die Volumenschwindung der Formmasse auftreten, reduziert werden. Ist das Rohr abgekühlt, wird ein Teil des Innenkerns eingedreht und somit der Außendurchmesser des Stahlkerns verringert. Dadurch lässt sich das Wickelrohr vom Stahlkern lösen und ziehen. Danach werden die Ränder des diskontinuierlich hergestellten Wickelrohrs in der Endbearbeitung abgeschnitten und die Stirnflächen plange-



Bild 1: Herstellung der Wickelrohre bei der Frank&Krah Wickelrohr GmbH nach DIN 16961

Fig. 1: Wound-pipe production in accordance with DIN 16961 at Frank & Krah Wickelrohr GmbH

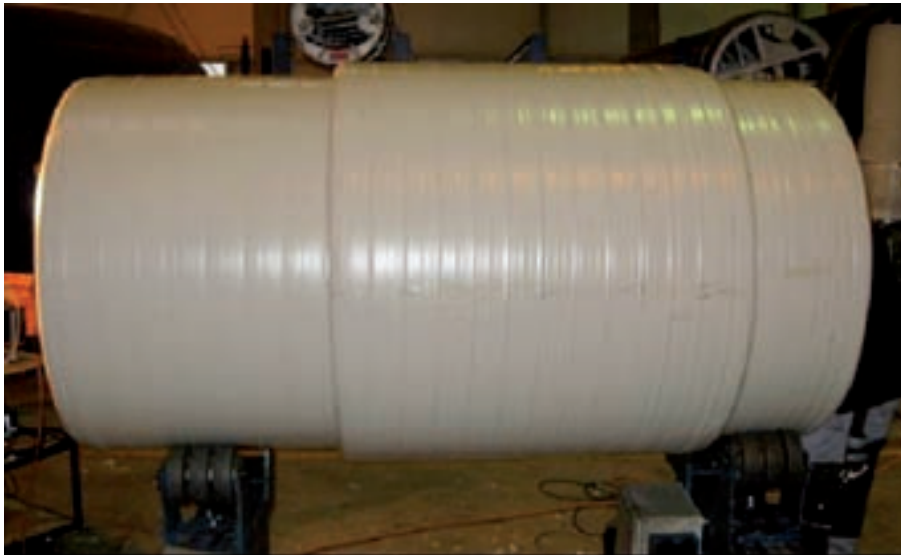


Bild 2: Wickelrohr mit Aufdickung als Halbzeug für ein mechanisch gefertigtes Formteil

Fig. 2: Wound pipe with transitional thickened section as a semi-finished component for a mechanically produced shape

Mit dem Wickelverfahren lassen sich auch Rohlinge (Hohlstäbe) produzieren, die durch ihre sehr große Wanddicke als Halbzeuge für Formteile verwendet werden. Da es in den Nennweiten > da 630 mm keine Standardformteile im Druckbereich gibt, werden aus den Hohlstäben spangebend gefertigte Formteile hergestellt. Bei den Wickelrohren hat man den Vorteil, dass man die für die Formteile notwendige Wanddicke exakt herstellen kann auch wenn sie nicht überall gleich groß sein soll. Bei Rohlingen für T-Stücke kann dadurch z. B. nur in dem Bereich, in dem anschließend der Abgang eingeschweißt wird, eine deutlich höhere Wanddicke produziert werden, als bei dem Rest des Bauteils. Je nachdem, ob später aus dem Hohlstab ein

Festflansch, eine Reduktion o.ä. gefertigt werden soll, sind teilweise Rohlinge mit Wanddicken von bis zu 400 mm erforderlich.

Das diskontinuierliche Herstellungsverfahren ermöglicht Sonderlängen und Sonderabmessungen selbst bei Einzelanfertigungen. Die Länge eines einzelnen Rohres ist durch die Länge des Innenkerns begrenzt (6 m). Längen darüber hinaus können durch eine Schweißung realisiert werden. Der Dimensionsbereich reicht dabei von DN 300 bis DN 3500.

Werkstoffe

Es werden für Wickelrohre aus thermoplastischen Kunststoffen genau dieselben Formmassen eingesetzt, wie bei den strangextrudierten Rohren. Daher gibt es neben Wickelrohren aus den Standardwerkstoffen PE 100, PP-R und PP-H auch welche aus den Sonderwerkstoffen PE-el, PPs und PPs-el (coextrudiert). Dabei erlaubt das Wickelverfahren neben der Coextrusion (Funktionsschicht auf der Innenseite des fertigen Wickelrohres) auch die lagenweise Fertigung von unterschiedlichen Materialien auf der Außenseite des Rohres. Die verwendeten Werkstoffe zeichnen sich durch eine gute Verarbeitbarkeit und gute Widerstandsfähigkeit gegenüber den meisten Säuren und Laugen sowie vielen anderen Medien aus.

Qualitätsrichtlinien

DIBt-Zulassung

Gerade im industriellen Rohrleitungsbau wird ein besonderes Augenmerk auf die Qualität

der einzelnen Formmassen und Rohre gelegt. Viele Unternehmen haben in ihren Werksnormen sogar die Formmassen der strangextrudierten Rohre und Formteile spezifiziert. Um auch bei den tangential extrudierten Rohren eine entsprechende Qualität gewährleisten zu können, gibt es für Wickelrohre ebenfalls Prüfgrundlagen für eine Zulassung vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt). Durch diese DIBt-Zulassung werden für Wickelrohre bestimmte Qualitätsstandards dokumentiert. So verfügt die Frank&Krah Wickelrohr GmbH, deren Entwicklung, Fertigung und Vertrieb nach einem dokumentierten Qualitätsmanagementsystem erfolgt, über eine DIBt-Zulassung für Wickelrohre. Die Produkte werden in regelmäßigen Abständen von einer bauaufsichtlich anerkannten Prüfstelle begutachtet und überprüft. Für gleichbleibende, hervorragende Werkstoffeigenschaften werden nur vom DIBt zugelassene Rohstoffe für die Herstellung der Wickelrohre eingesetzt. Darüber hinaus können alle Ergebnisse der an den Wickelrohren durchgeführten Prüfungen durch ein Abnahmeprüfzeugnis 3.1 nach DIN EN 10204 belegt und auf Wunsch mitgeliefert werden.

PAS 1065

Die heutigen Wickelrohre werden nach DIN 16961 produziert. In dieser Norm werden alle Rohre mit profilierter Wandung und glatter Rohrinnenfläche, also auch korrogierte (strangextrudierte) Rohre, spezifiziert. Daher gibt es bisher noch keine umfassende Norm, die das komplette Anwendungsfeld der Wickelrohre aufgreift und die Qualitätsanforderungen im Behälter- und Anlagenbau sowohl an den Rohstoff als auch an das Endprodukt ausreichend definiert. Aus diesem Grund wurde ein Arbeitskreis, bestehend aus Wickelrohrherstellern, Rohstofflieferanten und Prüfinstituten, gebildet um eine entsprechende PAS (Public Available Specification), eine öffentlich verfügbare Spezifikation für Wickelrohre, zu erstellen. Mit diesem Dokument, das bewusst ausschließlich PE 100 berücksichtigt, werden nun zum ersten Mal ähnlich hohe Qualitätskriterien für den Rohstoff und die Wickelrohre definiert, wie es bei axial extrudierten Gas- oder Trinkwasserleitungen schon lange üblich ist. Dadurch werden die Qualitätskriterien der Wickelrohre, die nicht zuletzt von den unterschiedlichen Anforderungen abhängen, auch für den Kunden transparenter und verständlicher. Die PAS 1065 „Wickelrohre aus Polyethylen (PE 100) -tangential extrudiert-“ wurde vom DIN Deutsches Institut für Normung im November 2007 veröffentlicht.

Neben den üblicherweise definierten Qualitätskriterien, wie Maße, Oberfläche, MFR usw. werden in der PAS 1065 bei den allgemeinen und physikalischen Eigenschaften Anforderungen bezüglich des OIT (Oxidative Induktionszeit) aufgestellt. Diese Prüfung



Bild 3: Hohlstab DN 1200 mit einer Wanddicke von 400 mm

Fig. 3: Hollow DN 1200 rod, wall thickness: 400 mm



Bild 4: Heizelementstumpfschweißen von zwei PP Wickelrohren nach DVS 2207-11

Fig. 4: Heated-tool butt welding of two wound PP pipes in accordance with DVS 2207, Part 11



Bild 5: Wickelrohrbehälter DN 3000 aus PE mit elektrisch leitfähiger Innenschicht

Fig. 5: DN 3000 wound pipe PP vessels with electrically conductive interior coating

ist gerade bei Wickelrohren sinnvoll, da sie durch das spezielle Herstellungsverfahren während der Produktion immer einen sehr hohen Wärmeeintrag erfahren. Anhand der OIT Prüfung wird sichergestellt, dass das fertige Rohr immer noch eine ausreichende thermische Stabilität aufweist und die thermische Alterung nicht vor dem Ende der errechneten Lebensdauer einsetzt.

Bei den mechanischen Eigenschaften sind an den Wickelrohren die Werte für Standardprüfungen wie Streckspannung, Streckdehnung, Reißdehnung und E-Modul nachzuweisen. Je nach Profilaufbau oder Einsatz des Wickelrohres sind ferner die Ringsteifigkeit und das Kriechverhalten zu prüfen. Darüber hinaus wurde der Full Notch Creep Test (FNCT) aufgenommen, da gerade Wickelrohre im industriellen Einsatz häufig bei

spannungsrisssauslösenden Medien eingesetzt werden. Anhand dieser Prüfung lassen sich die teilweise deutlichen Unterschiede bei den einzelnen Formmassen nachweisen. Besonders Wickelrohre deren Formmasse die geforderten Werte dieser Prüfung nicht erfüllen, können beim Einsatz unter härtesten Betriebsbedingungen mit spannungsrisssauslösenden Medien schon nach kurzer Zeit Leckagen aufweisen.

Die einzelnen Eigenschaften sind bei der Erstprüfung eines Rohres und nach einem in der PAS 1065 ebenfalls aufgeführten Prüfplan nachzuweisen. So genügt z.B. beim FNCT nach der Erstprüfung die chargenweise Bescheinigung des Rohstoffherstellers im Rahmen eines Abnahmeprüfzeugnisses 3.1 nach DIN EN 10204, wenn die Wickelrohre aus fertig compoundingten und DIBt zugelassenen Formmassen produziert werden.

Schweißverfahren

Die Verbindungstechnik ist ebenfalls ein entscheidender Qualitätsfaktor, da nicht nur die Eigenschaften des einzelnen Rohrs sondern die des ganzen Rohrleitungssystems ausschlaggebend sind. Daher gilt es, die einzelnen Rohre sicher, gut und dauerhaft dicht zu verbinden. Im Wickelrohrbereich werden daher auch die gleichen Schweißverfahren wie bei den strangextrudierten Rohren angewendet.

Heizwendelschweißung

Bei Wickelrohren für den Abwasserbereich, kommt das Heizwendelschweißverfahren analog DVS 2207 in den Nennweiten DN 300 bis DN 2400 zum Einsatz. Beim Heizwendelschweißen werden die Verbindungszonen

der Rohre durch Widerstandsdrähte erwärmt und geschweißt. Die Energiezufuhr erfolgt mit Hilfe eines Schweißtransformators. Dieses Schweißverfahren hat sich bei Rohren aus Polyethylen in der Gas- und Wasserversorgung durch seine große Verfahrenssicherheit bewährt. Die Heizwendelschweißung zeichnet sich durch die verwendete Sicherheitskleinspannung sowie einen hohen Automatisierungsgrad aus.

Extrusionsschweißung

Im industriellen Bereich ist die Extrusionsschweißung weit verbreitet. Daher wird bei der Herstellung von Bauteilen aus Wickelrohren meistens das Extrusionsschweißverfahren gemäß DVS 2207 Teil 4 angewandt. Selbstverständlich können auch die Rohre un-

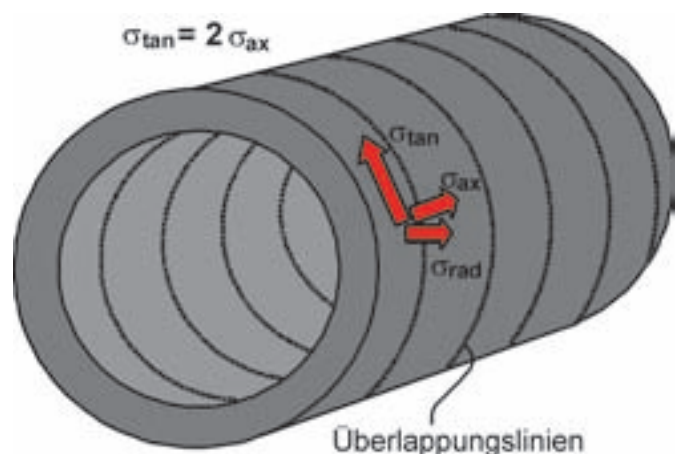


Bild 6: Spannungen im Druckrohr am Beispiel eines Wickelrohres

Fig. 6: Stresses in a pressure pipe, using the example of a wound pipe

Tab. 1: Auszug der geforderten Eigenschaften von Wickelrohren nach PAS 1065
Table 1: Excerpt from the property specifications for wound pipes in accordance with PAS 1065

	Eigenschaft	Anforderungen	Prüfverfahren
Allgemeine und physikalische Eigenschaften	Maße	Abschnitt 6	Visuell zu prüfen, bei geeigneter Lichtquelle
	Farbe	Abschnitt 4.1	
	Oberfläche	Abschnitt 5.1	
	Verhalten nach Warmlagerung	$d_L < 3\%$ (längs und quer)	DIN 8075
	Schmelze-Massefließrate (MFR)	Verfahren MFR 190/5 „T“ $MFR_{Rohr} = MFR_{Formmasse} + 15\%$	DIN EN ISO 1133
	Thermische Stabilität / Oxidations-Induktionszeit (OIT)	> 30 min bei 200°C.	DIN EN 728
Mechanische Eigenschaften	Streckspannung ^{a)}	> 22,0 N/mm ²	DIN EN ISO 6259-3 oder DIN EN ISO 527-2
	Streckdehnung ^{a)}	> 8 %	
	Zug-E-Modul ^{a)}	> 900 N/mm ²	
	Reißdehnung ^{a)}	> 350 %	
	Biege-E-Modul (3- oder 4-Punkt) ^{a)}	> 900 N/mm ²	3-Punkt nach DIN 53457, DIN 54852; 4-Punkt nach Anhang A
	Zugfestigkeit der Verbindungsnaht ^{b)}	> 20 N/mm ²	DIN EN 1979
	Ringsteifigkeit (SR24) ^{c)}	Verformung < 3 %; SR24 > SR24 _{theor.}	DIN 16961-2
	Ringsteifigkeit (SN) ^{c,d)}	> statische Vorgabe	DIN EN ISO 9969
	Kriechverhalten ^{c,d)}	> statische Vorgabe	DIN EN ISO 9967
Kerbempfindlichkeit / Widerstand gegen langsames Risswachstum (FNCT / 2NCT) ^{h)}	> 300 h, bei 4 N/mm ² , 80°C Prüfmedium Arkopal N100	DIN EN 12814-3	

- a) Zu messen an der Grundwand in Extrusionsrichtung, gilt für einlagige und mehrlagig gewickelte Rohre
- b) 90° zur Extrusionsrichtung, gilt für einlagige und mehrlagig gewickelte Rohre, mindestens 1 Überlappungsstelle im Prüfbereich
- c) Nur bei Rohren, die auf Ringsteifigkeit beansprucht werden, zu messen. Es ist die theoretische Ringsteifigkeit anhand des Profil- bzw. Vollwandquerschnitts und dem Mindest-Kriechmodulen zu ermitteln
- d) Kann alternativ zu Ringsteifigkeit SR24 ermittelt werden (bei Extrapolation auf 2000 h)
- h) Schutzschichten gegen Spannungsrisbildung müssen mindestens einen FNCT-Wert > 3300 h erfüllen. Der Wert muss vom Formmassenhersteller im Rahmen der Erstprüfung nachgewiesen werden. Höhere Werte sind bilateral zwischen Lieferant und Verarbeiter zu vereinbaren und sind ebenfalls im Rahmen der Erstprüfung nachzuweisen.

tereinander mit diesem Verfahren verbunden werden, wobei sich die Arbeiten hier durch die Ausführung der Wickelrohre mit Extrusionsmuffe und Spitzende deutlich vereinfachen lassen. Nur mit diesem Schweißverfahren ist es möglich individuelle Konstruktionen zu fertigen. Es ist dabei zu beachten, dass nur das kontinuierliche Extrusionsschweißverfahren einen Mindest-Zeitstandzug-Schweißfaktor f_s von 0,6 gewährleistet.

Heizelementstumpfschweißung

Die Heizelementstumpfschweißung nach DVS 2207 ist ein bewährtes und sicheres Verfahren zur Verbindung von strangextrudierten Rohren. Da die Kunststoffrohrleitungen in immer größeren Dimensionen eingesetzt wer-

den, wird dieses Verfahren auch häufiger im Wickelrohrbereich genutzt. Zum Teil werden die Rohre in der Fertigung geschweißt und so konfektioniert, dass sie auf der Baustelle mittels Extrusionsschweißung installiert werden können. Die Heizelementstumpfschweißung muss mit Maschinen und Geräten durchgeführt werden, die den Anforderungen der DVS 2208 entsprechen. Zu beachten ist dabei allerdings, dass die Wickelrohre aufgrund ihres unterschiedlichen Außendurchmessers nicht in den Standardspannbacken der Schweißgeräte verarbeitet werden können. Gerade für Dimensionen größer DN 600 mm empfiehlt es sich daher Schweißbacken einzusetzen, die sich dem jeweiligen Außendurchmesser anpassen können.

Einsatz von Wickelrohren in unterschiedlichsten Bereichen

Bereits Ende der 50er Jahre wurden Wickelrohre aus PE im industriellen Rohrleitungsbau eingesetzt. Damals wurden sie aber meist nur als Abluftleitungen installiert. Erst mit der Weiterentwicklung der hochwertigeren Werkstoffe sind die Wickelrohre ebenfalls in andere Bereiche vorgedrungen. Heute werden sie neben Abluftleitungen vor allem im Behälter- und Apparatebau eingesetzt. Bei größeren Behältern oder höheren Abminderungsfaktoren durch chemische Medien werden die Wanddicken von thermoplastischen Behältern größer und die Herstellung aus Platten kostenintensiver. Bei den Wickelrohren können die Wanddicken einfacher angepasst und entsprechend abgestuft werden. Dadurch kann die Wanddicke im Bereich des Daches deutlich geringer sein als in Bodennähe, wodurch eine beachtliche Materialeinsparung erreicht werden kann.

Ein weiteres Anwendungsgebiet für Wickelrohre sind doppelwandige Behälter oder Rohrleitungen. Mittels einer Grundlage auf die dann ein Profil und abschließend die Decklage gewickelt wird, erhält man einen quasi doppelwandigen Aufbau bei der Herstellung. Für eine doppelwandige Rohrleitung werden dann nicht mehr zwei sondern nur ein Rohr benötigt. Aufgrund des durchgehenden Profils zwischen den beiden Vollwandlagen kann dieser Zwischenraum mit einem Leckagesensor überwacht werden.

Der sicherlich interessanteste und anspruchsvollste Bereich im industriellen Rohrleitungsbau für Wickelrohre sind Druckerwartungen. Bei diesen Beanspruchungen treten im Rohr drei verschiedene Spannungen auf, die unterschiedlich groß sind. Mit Hilfe der Kesselformel kann man berechnen, dass die tangential Spannung in einem Rohr doppelt so groß ist wie die axiale Spannung. Demzufolge wirkt die größte Spannung (tangential) in Produktionsrichtung der Wickellagen, wodurch Wickelrohre bei gleicher Wanddicke mindestens die gleiche Druckfestigkeit wie strangextrudierte Rohre erreichen. Interne Prüfungen haben sogar gezeigt, dass ein PE 80 Wickelrohr bei der Zeitstandinnendruckprüfung üblicherweise die geforderten Werte für ein PE 100 Rohr erreicht.

Wickelrohre in Rauchgasentschwefelungsanlagen

Im Kraftwerksbereich werden Wickelrohre häufig für Düsenebenen bei Rauchgasentschwefelungsanlagen eingesetzt. Aufgrund der hohen Temperaturen von bis zu 70 °C und der guten chemischen Widerstandsfähigkeit werden hier meist Rohre aus Polypropylen verwendet.

Für die Auslegung der Wickelrohre in Düsenebenen ist neben den üblichen Betriebsbedin-

gungen Druck, Temperatur und Medium auch die hohe Strömungsgeschwindigkeit und die damit verbundene Abrasion ausschlaggebend. Durch die dafür berücksichtigten hohen Sicherheitszuschläge werden Wickelrohre mit Wanddicken von bis zu 100 mm eingesetzt. Dabei liegen die Produktionszeiten von einem Rohr inklusive Abkühlzeit bei mehreren Stunden. Da die Rohre aus grauem PP nicht dauerhaft gegenüber UV-Strahlung stabilisiert sind, werden sie in einer lichtundurchlässigen Folie verpackt, um so auch bei einer Lagerung im Freien eine ausreichende Sicherheit gewährleisten zu können.

Sollen in den Düsenebenen Rohrlängen eingesetzt werden, die größer als 6m sind, werden jeweils zwei Rohre im Heizelementstumpfschweißverfahren zusammengefügt. Der durch das Schweißen entstandene Wulst wird anschließend entfernt um den hydraulischen Widerstand bei diesem abrasiven Medium so gering wie möglich zu halten. Die notwendigen Schweißparameter sind aufgrund der großen Wanddicken nicht mehr in der DVS 2207 aufgeführt, so dass zur Bestimmung der Schweißparameter mehrere Prüfungen an Schweißproben durchgeführt wurden.

Für die Installation der Rohre werden ebenfalls Formteile benötigt um einen Flanschanschluss oder den Übergang zu einer anderen Rohrdimension herstellen zu können. Die dafür benötigten Festflansche oder Reduktionen werden aus den gewickelten Hohlstäben hergestellt. Die mechanisch gefertigten Formteile haben dadurch dieselben Anschlussmaße und Eigenschaften wie das Rohr. Auf der Baustelle können sie somit sofort verarbeitet und müssen nicht noch an die Wickelrohrmaße angepasst werden. Teilweise werden die Stirnflächen der Formteile bereits bei der Herstellung im Werk mit einer Phase versehen, um eine optimale Schweißnahtvorbereitung für die Extrusionsschweißung vor Ort bieten zu können.

Fazit

Thermoplastische Wickelrohre können in vielen verschiedenen Bereichen des industriellen Kunststoffrohrleitungsbaus eingesetzt werden. Gerade für die immer größer werdenden Dimensionsbereiche in denen die Kunststoffrohre installiert werden sollen, hat der Einbau von sehr individuell produzierbaren Wickelrohren viele Vorteile. Nachdem nun mit der PAS 1065 ein umfassendes Dokument für

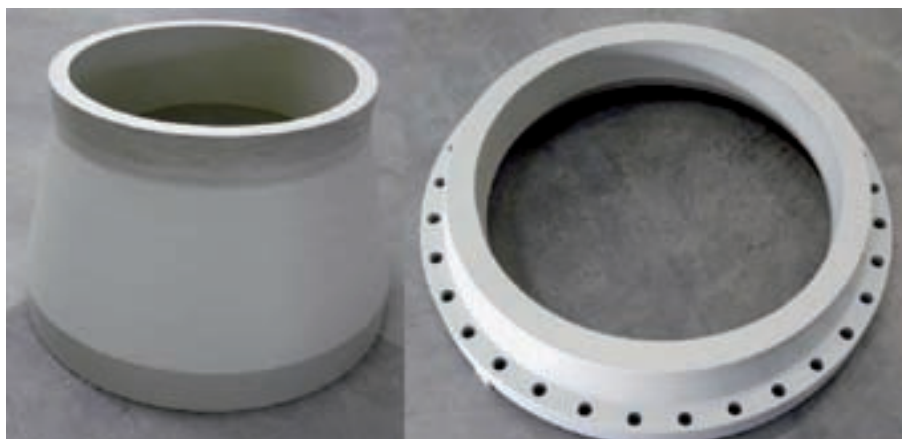


Bild 7: PP Reduktion und Festflansch aus gewickelten Hohlstäben

Fig. 7: PP taper and fixed flange consisting of wound hollow elements

die Qualitätskriterien der Rohstoffe und des fertigen Wickelrohrs vorliegt, sollten sich vor allem die Kunden im industriellen Bereich diese Anforderungen vom Hersteller bestätigen lassen. Nur so hat man bei der Verwendung eines qualitativ hochwertigen Wickelrohrs die gleichen Sicherheiten, die man bei den strangextrudierten Rohren schon seit Jahren gewohnt ist.

Literatur

- [1] DIN 8074 „Rohre aus Polyethylen (PE) – PE 63, PE 80, PE 100, PE-HD – Maße“ (1999-08)
- [2] DIN 16961 „Rohre und Formstücke aus thermoplastischen Kunststoffen mit profilierter Wandung und glatter Rohrlinnenfläche“ (2010-03)
- [3] PAS 1065 „Wickelrohre aus Polyethylen (PE 100) – tangential extrudiert – Abmessung, Technische Anforderungen und Prüfung“ (2007-11)
- [4] DVS 2207-1 „Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen – Heizelementschweißen von Rohren, Rohrleitungsteilen und Tafeln aus PE-HD“ (2005-09)
- [5] DVS 2207-3 „Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen – Wärmegaszieh- und Wärmegasfächelschweißen von Rohren, Rohrleitungsteilen und Tafeln – Verfahren, Anforderungen“ (2005-04)
- [6] DVS 2207-4 „Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen – Extrusionsschweißen von Rohren, Rohrleitungsteilen und Tafeln – Verfahren, Anforderungen“ (2005-04)
- [7] DVS 2208 „Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen – Maschinen und Geräte für das Heizelementschweißen von Rohren, Rohrleitungsteilen und Tafeln“ (2007-03)
- [8] DVS 2207-11 „Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen – Heizelementschweißen von Rohren, Rohrleitungsteilen und Tafeln aus PP“ (2008-08)
- [9] DVS 2210-1 „Industrierohrleitungen aus thermoplastischen Kunststoffen – Projektierung und Ausführung Oberirdischer Rohrsysteme“ (1997-04)
- [10] Firmenbroschüre Frank GmbH, PKS – Profilkanalrohrsystem, Ausgabe 2006-05
- [11] Firmenbroschüre Frank GmbH, Frank Wickelrohre, Ausgabe 2009-04

Autor:

Torben Knöb
FRANK GmbH, Mörfelden-Walldorf



Tel. +49 6105 4085-262
E-Mail: t.knoess@frank-gmbh.de