

Renneberg · Schneider

Kunststoffe im Anlagenbau

**Werkstoffe, Konstruktion,
Schweißprozesse, Qualitätssicherung**

HLuHB Darmstadt



14211152

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Anwendungsbereich | 1 |
| 1.1 | Allgemeines | 1 |
| 1.2 | Apparatebau | 2 |
| 1.3 | Rohrleitungsbau | 2 |
| 1.4 | Einsatzgrenzen | 3 |
| 1.5 | Voraussetzung für die Dimensionierung | 4 |
| 2 | Werkstoffe und Eigenschaften | 5 |
| 2.1 | Einleitung | 5 |
| 2.2 | Thermoplaste (Plastomere) | 5 |
| 2.2.1 | Polyvinylchlorid (PVC) | 7 |
| 2.2.2 | Polyethylen (PE) | 8 |
| 2.2.3 | Polypropylen (PP) | 10 |
| 2.2.4 | Polyvinylidenfluorid (PVDF) | 12 |
| 2.3 | Duroplaste (Duromere) | 13 |
| 2.3.1 | Ungesättigte Polyesterharze (UP-Harze) | 14 |
| 2.3.2 | Vinylesterharze (VE-Harze) | 15 |
| 2.3.3 | Epoxidharze (EP-Harze) | 16 |
| 2.3.4 | Technologie von UP- und EP-Harzen | 16 |
| 2.3.5 | Glasfaserverstärkungsmaterial | 18 |
| 2.3.6 | Sonstige Fasern | 24 |
| 2.3.7 | Vorimprägnierte Fasernerzeugnisse | 24 |
| 2.3.8 | Glasfaserverstärkte Kunststoffe (GFK) | 25 |
| 2.3.9 | Glasfaserverstärkter Kunststoff mit thermoplastischer Auskleidung (GFK/Thermoplast) | 29 |
| 2.3.10 | Glasfaserverstärkter Kunststoff mit Chemieschutzschicht | 32 |
| 2.4 | Untersuchungen von Werkstoffeigenschaften | 34 |
| 2.4.1 | Ermittlung der Eigenschaften von handelsüblichen PVC-Tafeln | 34 |
| 2.4.2 | Festigkeitsuntersuchungen an glasfaserverstärkten Kunststofflaminaten | 36 |
| 2.4.3 | Zeitstandverhalten des Werkstoffes GFK/PP | 38 |
| 2.4.4 | Werkstoffmechanische Analyse von glasfaserverstärkten Duroplasten mit fertigungs- und umweltbedingten Fehlstellen bei Hand- und Wickellaminaten | 39 |
| 3 | Verhalten der Kunststoffe unter Einwirkung von Chemikalien (chemische Widerstandsfähigkeit) | 44 |
| 3.1 | Einleitung | 44 |
| 3.2 | Vorgänge bei Medieneinwirkung | 44 |
| 3.3 | Einflußfaktoren auf die Widerstandsfähigkeit von Kunststoffen | 45 |
| 3.3.1 | Werkstoffspezifische Faktoren | 46 |
| 3.3.2 | Herstellungs- und verarbeitungsbedingte Faktoren | 46 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 3.3.3 | Einflüsse der natürlichen Umgebung | 46 |
| 3.3.4 | Temperatur | 46 |
| 3.3.5 | Einwirkzeit | 46 |
| 3.3.6 | Konzentration des Mediums | 47 |
| 3.3.7 | Mechanische Spannungen | 47 |
| 3.4 | Definition der Widerstandsfähigkeit | 47 |
| 3.5 | Prüfung und Beurteilung des Werkstoffverhaltens | 48 |
| 3.5.1 | Immersionsversuch | 48 |
| 3.5.2 | Zeitstand-Innendruckversuch | 49 |
| 3.5.3 | Praxistests und Erfahrungen | 50 |
| 3.6 | Beständigkeitslisten | 50 |
| 3.7 | Untersuchungen über Chemikalieneinwirkung auf Kunststoffe | 50 |
| 3.7.1 | Schwefelsäureleitung DN 80/PN 10 aus dem Werkstoff GFK/PP | 50 |
| 3.7.2 | Lagerungsversuche von geschweißten PVC- und PVDF-Proben in Abfallschwefelsäure | 53 |
| 3.7.3 | Praxiserfahrung mit dem Werkstoff PVDF bei Natronlauge | 55 |
| 3.7.4 | Versagen eines PE-Rohres bei Beanspruchung durch Natronbleichlauge | 56 |
| 3.7.5 | Lagerung von Flexoauswaschmittel in PE- und PP-Versuchsbehältern | 57 |
| 3.7.6 | Eingehängte Biegeproben in einem Wäscher der Düngerproduktion | 58 |
| 4 | Richtlinien für die Konstruktion und Ausführung | 61 |
| 4.1 | Einleitung und Voraussetzung | 61 |
| 4.2 | Bauteile aus Thermoplasten | 63 |
| 4.2.1 | Kennwerte für Thermoplaste | 63 |
| 4.2.2 | Berechnungen von Apparaten und Behältern aus Thermoplasten | 68 |
| 4.2.2.1 | Stehende, zylindrische Flachbodenbehälter aus Thermoplasten | 69 |
| 4.2.2.2 | Berechnungsbeispiel eines stehenden, zylindrischen Flachbodenbehälters aus thermoplastischem Kunststoff | 80 |
| 4.2.2.3 | Fertigungs- und Konstruktionshinweise für stehende, zylindrische Flachbodenbehälter aus Thermoplasten | 90 |
| 4.2.2.4 | Rechteckbehälter aus Thermoplasten | 94 |
| 4.2.2.5 | Berechnungsbeispiel eines Rechteckbehälters aus thermoplastischem Kunststoff | 95 |
| 4.2.2.6 | Fertigungs- und Konstruktionshinweise für Rechteckbehälter aus Thermoplasten | 99 |
| 4.2.3 | Flanschverbindungen | 101 |
| 4.2.4 | Berechnungsbeispiel eines Apparate-Festflansches aus Thermoplasten | 104 |
| 4.2.5 | Berechnungsbeispiel einer Losflanschverbindung für eine Thermoplast-Rohrleitung | 106 |
| 4.2.6 | Konstruktionshinweise für Flansche aus Thermoplasten | 110 |
| 4.2.7 | Berechnen und Verlegen von Rohrleitungen aus Thermoplasten | 110 |
| 4.2.7.1 | Berechnung von Rohrleitungen aus Thermoplasten | 112 |
| 4.2.7.2 | Konstruktionshinweise bei der Verlegung von thermoplastischen Rohrleitungen .. | 126 |
| 4.2.7.3 | Normen | 131 |
| 4.3 | Untersuchungen an Thermoplastbehältern | 131 |
| 4.3.1 | Überdruck bei einem zylindrischen Flachbodenbehälter aus Polyethylen | 131 |
| 4.3.2 | Ermittlung der Verformungen und Dehnungen an einem Rechteckbehälter aus Polypropylen | 132 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 4.4 | Bauteile aus Duroplasten | 135 |
| 4.4.1 | Kennwerte für GFK | 135 |
| 4.4.1.1 | Ermittlung der Kennwerte bei glasfaserverstärkten Kunststoffen GFK | 135 |
| 4.4.1.2 | Darstellung von zwei typischen GFK-Laminaten | 141 |
| 4.4.1.3 | Schnittgrößen für Lamine | 144 |
| 4.4.1.4 | Materialkennwerte aus einem Prüfbescheid | 147 |
| 4.4.1.5 | Zulässige Spannung | 150 |
| 4.4.1.6 | Abminderungsfaktoren und deren Auswirkung für den GFK-Verarbeiter | 150 |
| 4.4.2 | Berechnungen von Behältern und Apparaten aus glasfaserverstärkten Kunststoffen | 155 |
| 4.4.2.1 | Berechnungsbeispiel für einen Druckbehälter mit innerem Überdruck nach AD-Merkblatt N1 | 155 |
| 4.4.2.2 | Berechnungsbeispiel für einen Druckbehälter mit äußerem Überdruck nach AD-Merkblatt N1 | 174 |
| 4.4.2.3 | Berechnungsbeispiel eines liegenden Lagerbehälters | 179 |
| 4.4.2.4 | Berechnung von stehenden, zylindrischen Flachbodenbehältern aus GFK | 194 |
| 4.4.2.5 | Berechnungsbeispiel eines stehenden Flachbodenbehälters aus GF-UP | 203 |
| 4.4.3 | Konstruktionsbeispiele für Behälter und Apparate aus GFK | 209 |
| 4.4.4 | Berechnungs-, Planungs- und Konstruktionshinweise von Rohrleitungen aus glasfaserverstärkten Kunststoffen | 220 |
| 4.4.4.1 | Berechnungshinweise | 223 |
| 4.4.4.2 | Planungshinweise | 229 |
| 4.4.4.3 | Konstruktionshinweise bei der Verlegung | 238 |
| 4.4.4.4 | Normen und Unterlagen | 248 |
| 4.5 | Untersuchungen an GFK-Behältern und Rohrleitungen | 249 |
| 4.5.1 | Druckbehälter aus GFK/PP | 249 |
| 4.5.2 | Konstruktive Ausführung der Verbindung Behälterwand und Stutzen im GFK-Apparatebau | 253 |
| 4.5.3 | Laminatverbindungen von GFK-Rohren | 254 |
| 4.5.4 | Ermittlung der Axialkraft bei verhinderter Längenausdehnung einer GFK/PP-Rohrleitung | 258 |
| 4.6 | Sonderbetrachtungen bei Kunststoffrohrleitungen | 260 |
| 4.6.1 | Wärmespannungen im Verbund GFK/PP-Rohr | 260 |
| 4.6.2 | Spannungsverlauf des PP-Auskleidungsrohres bei Temperaturwechselbeanspruchung | 268 |
| 4.6.3 | Dichtungen bei Kunststoff-Flanschverbindungen | 268 |
| 4.6.4 | Einsatzdrücke und Schraubenanzugsmomente | 270 |
| 4.6.5 | Relaxation | 271 |
| 5 | Technologie | 275 |
| 5.1 | Verarbeitung und Fertigung von thermoplastischen Kunststoffen | 275 |
| 5.1.1 | Spanlose Formgebung | 275 |
| 5.1.2 | Spanabhebende Formgebung | 284 |
| 5.1.3 | Schweißen | 291 |
| 5.1.3.1 | Warmgasschweißen | 292 |
| 5.1.3.2 | Heizelementschweißen | 297 |
| 5.1.3.3 | Reibschweißen | 305 |
| 5.1.3.4 | Heizstrahlschweißen | 307 |
| 5.1.4 | Kleben | 309 |
| 5.1.5 | Auskleidungen | 315 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 5.1.6 | Untersuchungen bei der Verarbeitung von Thermoplasten | 320 |
| 5.1.6.1 | Herstellen von Großrohrbogen aus Polyolefinen | 320 |
| 5.1.6.2 | Einziehen von Polyethylen-Rohren | 321 |
| 5.1.6.3 | Zerspanungsversuche | 322 |
| 5.1.6.4 | Warmgasschweißen von PVDF mit gefärbtem Schweißdraht | 324 |
| 5.1.6.5 | Heizelement-Stumpfschweißen von Rohren 400 x 25 aus PP-R | 325 |
| 5.1.6.6 | Ver schweißen verschiedener PP-Sorten mit- und untereinander | 329 |
| 5.1.6.7 | Schweißversuche mit dem Auskleidungswerkstoff E-CTFE | 330 |
| 5.1.7 | Sicherheitsmaßnahmen bei der Verarbeitung von Thermoplasten | 331 |
| 5.2 | Verarbeitung und Fertigung von glasfaserverstärkten Duroplasten | 332 |
| 5.2.1 | Verarbeitungsverfahren | 333 |
| 5.2.1.1 | Handwerkliche Verfahren | 333 |
| 5.2.1.2 | Maschinelle Verfahren | 337 |
| 5.2.2 | Mechanische Bearbeitung | 343 |
| 5.2.3 | Reparaturarbeiten | 345 |
| 5.2.4 | Kleben | 346 |
| 5.2.5 | Untersuchungen bei der Verarbeitung von GFK | 348 |
| 5.2.5.1 | Tränkungsversuche beim Handlaminiere n | 348 |
| 5.2.5.2 | Handlaminiere n von dickwandigen GFK-Flanschen | 348 |
| 5.2.5.3 | Verbesserung des Klebverbundes GFK/PVC | 350 |
| 5.2.5.4 | Untersuchung von Klebverbindungen mit ungesättigten Polyesterharzen | 352 |
| 5.2.6 | Sicherheitsmaßnahmen bei der Verarbeitung von GFK | 353 |
| 6 | Prüfung und Qualitätssicherung | 357 |
| 6.1 | Einleitung und Einführung | 357 |
| 6.2 | Güteüberwachung | 357 |
| 6.2.1 | Eigenüberwachung | 357 |
| 6.2.2 | Fremdüberwachung | 358 |
| 6.2.3 | Kennzeichnung der Überwachung | 358 |
| 6.3 | Anforderungsklassen | 359 |
| 6.4 | Vorschriften, Verordnungen, Gesetze | 359 |
| 6.4.1 | Wassergefährdende Stoffe | 360 |
| 6.4.2 | Fachbetrieb nach § 19 I WHG | 360 |
| 6.4.3 | Personelle Voraussetzung/Fachkräfte | 360 |
| 6.4.4 | Prüfrichtlinien für Kunststoffschweißer | 361 |
| 6.5 | Prüfmittel-Überwachung | 361 |
| 6.6 | Nachweise, Dokumentation | 361 |
| 6.7 | Kennzeichnung des Bauteils | 362 |
| 6.8 | Qualitätssicherung für Bauteile aus Thermoplasten | 362 |
| 6.9 | Qualitätssicherung für Rohrleitungen aus Thermoplasten | 366 |
| 6.10 | Verarbeitungs-, Anforderungs- und Prüfrichtlinien bei Thermoplasten | 367 |
| 6.11 | Qualitätssicherung für Bauteile aus textilglasverstärkten Duroplasten mit und ohne Auskleidung | 368 |
| 6.12 | Qualitätssicherung für Rohrleitungen aus textilglasverstärkten Duroplasten mit und ohne Auskleidung | 374 |
| 6.13 | Verarbeitungs-, Anforderungs- und Prüfrichtlinien bei GFK | 377 |

| | | |
|------------------------------|--|---------|
| 6.14 | Qualitätssicherung für metallische Bauteile mit Beschichtungen oder Auskleidungen | 379 |
| 6.15 | Transport- und Aufstellungshinweise für Behälter aus GFK | 379 |
| 6.15.1 | Transport | 379 |
| 6.15.2 | Auflagerung, Fundament | 380 |
| 6.15.3 | Aufstellung eines liegenden Behälters | 380 |
| 6.15.4 | Aufstellung eines Flachbodenbehälters | 382 |
| 6.15.5 | Aufstellung eines stehenden Behälters | 383 |
| 6.15.6 | Endmontage | 383 |
| 6.16 | Untersuchung der Qualität von Kunststoffbauteilen | 383 |
| 6.16.1 | Zeitstand-Innendruckversuch einer Apparateflanschverbindung aus Polyethylen | 384 |
| 6.16.2 | Prüfung von PVDF-Bunden | 385 |
| 6.16.3 | Ermittlung der Qualität einer GFK/PP-Rohrleitung | 386 |
| Schrifttum | | 389 |
| Sachverzeichnis | | 393 |