

Inhaltsverzeichnis

0. Vorwort

1. Historische Vorbemerkungen

2. Theorie der Fourier'schen Wärmeleitung und des Fick'schen Stoffaustausches

- 2.1 Fourier'sches Gesetz der Wärmeübertragung
- 2.2 Thermische Zeitkonstante
- 2.3 Bestimmen der Wärmekapazität und der Wärmeübergangszahl
- 2.4 Zusammenhang zwischen den Kenngrößen Fourier-, Biotzahl und thermischer Zeitkonstante
- 2.5 Wärmeeindringkoeffizient und Eindringtiefe
- 2.6 Wärmeübergangszahl
- 2.7 Fick'sches Gesetz der Diffusion

3. Lösungen der Fourier'schen Wärmeleitung für Kubus, Zylinder und Kugel

- 3.1 Lösung der eindimensionalen DGL in kartesischen Koordinaten
- 3.2 Lösung der eindimensionalen DGL für den unendlichen Zylinder
- 3.3 Lösung der eindimensionalen DGL für die Kugel
- 3.4 Aufheizen mit konstanter Temperaturdifferenz
- 3.5 Zulässige Heizrate
- 3.6 Größenordnung der Biotzahl und der thermischen Zeitkonstanten
- 3.7 Bestimmen der Temperaturleitfähigkeit als Funktion der Temperatur

4. Stationäre Theorien der Wärmeexplosion

- 4.1 Formulierung von Wärmequellen
 - 4.1.1 Einführung in die Reaktionskinetik
 - 4.1.2 Wärmequelle nach Arrhenius
 - 4.1.3 Allgemeine Formulierung der Reaktionsgeschwindigkeit
- 4.2 Theorie von Semenov
 - 4.2.1 Wärmebilanz von Semenov
 - 4.2.2 Modifizierte Wärmebilanz
 - 4.2.3 Iterationsvorschrift für kritische Umgebungstemperatur
 - 4.2.4 Graphische Wärmebilanz
 - 4.2.5 Wärmebilanz mit van't Hoff Wärmequelle
 - 4.2.6 Wärmebilanz von Semenov mit Verbrauch
 - 4.2.7 Wärmebilanz von Semenov mit konstanter, externer Wärmezufuhr
(neu)
 - 4.2.8 Wärmebilanz von Semenov mit konstanter Rührerleistung
(neu)
- 4.3 Theorie von Frank-Kamenetskii
 - 4.3.1 Stationäre Theorie
 - 4.3.2 Zünden und Löschen einer durchgehenden Reaktion
 - 4.3.3 Beziehung zwischen dem Semenov und dem F.-K. Parameter
 - 4.3.4 Spezialfälle des F.-K. Parameters
 - 4.3.5 Arrhenius oder F.-K. Diagramm
 - 4.3.6 Iterationsvorschrift mit dem F.-K. Parameter
 - 4.3.7 Vergleich zwischen Semenov und Frank-Kamenetskii
 - 4.3.8 Modifizierte Theorie von Frank-Kamenetskii
- 4.4 Lösung von Thomas

- 4.4.1 Temperaturprofile nach Semenov, Frank-Kamenetskii und Thomas
- 4.5 Exakte Theorie der Wärmeexplosion
 - 4.5.1 Exakte stationäre DGL der Wärmeexplosion
 - 4.5.2 Vergleich der stationären Theorien
 - 4.5.3 Trends der thermischen Stabilität
 - 4.5.4 Stationäre Wärmeexplosion mit Wärmequelle nach van't Hoff
 - 4.5.5 Einfluß der Zersetzung neu
- 4.6 Wärmeexplosion von abgelagerten Staubschichten
 - 4.6.1 Lösungen nach Frank-Kamenetskii und Thomas
 - 4.6.2 Exakte Theorie für abgelagerte Staubschichten
 - 4.6.2.1 Zündung dünner Schichten auf heißer Unterlage
 - 4.6.2.2 Zündung dünner Schichten durch konstanten Wärmestrom
 - 4.6.3 Vergleich mit experimentellen Untersuchungen
- 4.7 Wärmexplosion von aufgewirbelten Staubschichten
- 4.8 Wärmeexplosion mit fremder Wärmequelle(senke)
 - 4.8.1 Zündung durch HOT SPOT
 - 4.8.2 Löschen mit COLD SPOT
 - 4.8.3 Zündung von dünnen Schichten mit HOT SPOT
- 4.9 Zusammenfassung der stationären Theorien

5. Instationäre Theorien der Wärmeexplosion

- 5.1 Adiabatische Differentialgleichung
 - 5.1.1 Adiabatisches Diagramm
 - 5.1.2 Näherungslösung der adiabatischen DGL
 - 5.1.3 Scheinbare Aktivierungsenergie aus mehreren adiabatischen Versuchen
 - 5.1.4 Vereinfachte Näherungslösung
- 5.2 Instationäre Wärmeexplosion
 - 5.2.1 Instationäre Wärmebilanz
 - 5.2.1.1 Modifizierte adiabatische DGL
 - 5.2.2 Instationärer gekoppelter Temperatur-Stofftransport
 - 5.2.2.1 Transiente Fourier'sche Wärmeleitung
 - 5.2.2.2 Instationärer Stoffaustausch
 - 5.2.2.3 Formale Reaktionskinetik
 - 5.2.2.4 Mehrstufige Reaktionen
 - 5.2.2.5 Numerik für das gekoppelte System
 - 5.2.3 Instationäre Wärmeexplosion mit Reaktion Null-ter Ordnung
 - 5.2.3.1 Instationäre Wärmeexplosion mit überhöhter Randtemperatur
 - 5.2.3.2 Instationäre Wärmeexplosion mit überhöhter Anfangstemperatur neu
 - 5.2.4 Physikalische Induktionszeit
 - 5.2.4.1 Time-to-Explosion Test
 - 5.2.5 Vergleich zwischen adiabatischer und physikalischer Induktionszeit
 - 5.2.6 Löschen und Zünden durchgehender Reaktionen
 - 5.2.7 Transport- und Lagerzeiten
- 5.3 Temperatur-Zeit-Profile

6. Identifikation von kinetischen Parametern und Stoffwerten

- 6.1 Warmlagerungsversuche
 - 6.1.1 Abkühlversuch zur Bestimmung der thermischen Zeitkonstanten
 - 6.1.2 Schlußfolgerungen auf weitere Stoffwerte
- 6.2 Adiabatischer Warmlagerungsversuch

- 6.2.1 Adiabatischer Warmlagerungsversuch mit variabler Heizrate
- 6.2.2 Korrektur des adiabatischen Versuches
- 6.2.3 Verifikation der kinetischen Parameter
- 6.2.4 Validierung der Arrhenius Wärmequelle
- 6.2.5 Aufheizen mit inertem Anteil
- 6.2.6 Heat – Wait - Search Modus
- 6.2.7 Adiabatischer Warmlagerungsversuch für eine Flüssigkeit
- 6.2.8 Fragen des adiabatischen Versuches
- 6.3 Isoperiboler Warmlagerungsversuch
 - 6.3.1 Isoperibole Versuche
 - 6.3.2 Isoperibole Versuchsauswertung
 - 6.3.2.1 Auswertung nach Frank-Kamenetskii
 - 6.3.2.2 Auswertung nach der exakten Theorie
 - 6.3.2.3 Verifikation der Versuchsergebnisse
 - 6.3.3 Auswertung von isoperibolen Versuchen mit durchgehenden Reaktionen
 - 6.3.4 Reaktionswärme des isoperibolen Versuchs
 - 6.3.5 Temperatur und Masse
 - 6.3.6 Fehlerabschätzung nach Frank-Kamenetskii
 - 6.3.7 Zusammenfassung der isoperibolen Versuchsauswertung
- 6.4 Warmlagerung mit konstanter Heizrate
 - 6.4.1 Temperatur und Masse
- 6.5 Meßdaten aus Warmlagerungsversuchen
- 6.6 ARC Versuch mit DTBP (Di-tert-butylperoxid)
 - 6.6.1 Auswertung des Druckes
 - 6.6.2 Korrektur der Messwerte mit dem Phi-Faktor
- 6.7 VSP (PhiTec) Versuch
 - 6.7.1 Gasentwicklung und Gasentwicklungsrate

7. Regelwerke, Normen, Vorschriften und Sonderfälle

- 7.1 Bestimmung der SADT nach UN H.1 Test
 - 7.1.1 Stationäre Bestimmung der SADT
 - 7.1.2 Instationäre Bestimmung der SADT
- 7.2 Bestimmung der SADT nach UN H.4 Test
- 7.3 Berechnung von Wärmeübergangszahlen
 - 7.3.1 Wärmeübergangszahl Luft – Container
 - 7.3.2 Wärmeübergangszahl Container - Flüssigkeit / Feststoff
 - 7.3.3 Wärmeübergangszahl Container
- 7.4 Lineare Inter(Extra)polation nach VDI Richtlinie 2263 und EN 15188
 - 7.4.1 Berechnung von kritischen Temperaturen nach Frank-Kamenteskii
 - 7.4.2 Berechnung von kritischen Temperaturen nach der exakten Theorie
- 7.5 Vergleich kritischer Umgebungstemperaturen
- 7.6 Definition von Lösch- und Transportzeiten
- 7.7 Einordnung in UN Gefahrgutklasse 4.2
- 7.8 Untergang der Titanic
- 7.9 Zündung durch Solarstrahlung

8. Chemische Stabilität, Zersetzung und Alterung

- 8.1 Verschiedene Formulierungen der Reaktionsgeschwindigkeit
 - 8.1.1 Reaktionsgeschwindigkeit nach Berthelot
 - 8.1.2 Reaktionsgeschwindigkeit nach Arrhenius
 - 8.1.3 Reaktionsgeschwindigkeit nach van't Hoff

- 8.1.4 Zusammenhang zwischen Arrhenius Ansatz und van't Hoff Regel
- 8.1.5 Beziehung zwischen Arrhenius und van't Hoff Parametern
- 8.2 Isoperibole chemische Stabilität
- 8.3 Transiente chemische Stabilität
- 8.4 Reaktionszeiten mit formaler Kinetik
- 8.5 Reaktion 1. Ordnung mit Autokatalyse
- 8.6 Instationärer gekoppelter Temperatur-Stoffaustausch
 - 8.6.1 Transiente Fourier'sche Wärmeleitungsgleichung
 - 8.6.2 Transiente Fick'sche Diffusionsgleichung
- 8.7 Numerik für das gekoppelte System
- 8.8 Funktionen der Reaktionskinetik
- 8.9 Alterung und Zersetzung

9. Sicherheitstechnische Kennwerte und internationale Normen

neu

(**Dr. rer. nat. Werner Wildner**)

- 9.1 Physikalisch-chemische Gefahren
 - 9.1.1 Problematische Stoffe
 - 9.1.2 Problematische Prozesse
- 9.2 Experimentelle Untersuchungsmethoden
 - 9.2.1 Vorgeschriebene Einstufungsprüfungen
 - 9.2.2 Sonstige geeignete Sicherheitsuntersuchungen
 - 9.2.3 Beispiele, Anwendungen

10. Methoden der thermischen Analyse : Mikrokolorimetrie

- 10.1 Versuchstechniken
- 10.2 Konstante Heizrate
- 10.3 Theorie zur Interpretation der Meßergebnisse
- 10.4 Kinetische Parameter aus der Reaktionswärme
 - 10.4.1 Grundprinzip
 - 10.4.2 Methode von Kissinger
 - 10.4.3 Auswertung nach ASTM E698
 - 10.4.4 Methode von Friedman
 - 10.4.5 Methode von Flynn, Wall und Ozawa
 - 10.4.6 Modellfreie Friedman Analyse
 - 10.4.7 Isoconversional Method
 - 10.4.8 Friedman und OFW Analyse für Nitropenta
 - 10.4.9 Kritische Betrachtung der Methode mit konstantem Umsatz
- 10.5 Formale Reaktionskinetik
 - 10.5.1 Kinetik aus Massenverlust
- 10.6 Versuchsergebnisse aus der Literatur
 - 10.6.1 Dissertation
 - 10.6.2 Messungen mit TG, MS und FTIR
 - 10.6.3 Messungen mit TG, DTA und DSC
 - 10.6.4 Vergleich und Beurteilung der Methoden

11. Ermittlung der Selbstentzündungstemperatur (SET) benetzter Strukturen

neu

(**Prof. Dr.-Ing. Werner Witt**)

- 11.1 Grundlagen
- 11.2 Fallstudien
- 11.3 Spezifische Untersuchungen

Anhang

- A1 Definitionen und Begriffe
- A2 Berechnung des Gaußschen Fehlerintegrals
- A3 UN SADT H.4 Test
- A4 Bernoulli'sche Differentialgleichung
- A5 Beziehungen zwischen den Zeitkonstanten
- A6 Besselfunktionen
- A7 Mehrstufige Reaktionskinetik für Explosivstoffe
- A8 Schreibweisen des Frank-Kamenetskii Parameters
- A9 Spezialfall der Selbsterwärmung : Hydratation
- A10 Numerische Lösung der stationären DGL mit dem Differenzenverfahren