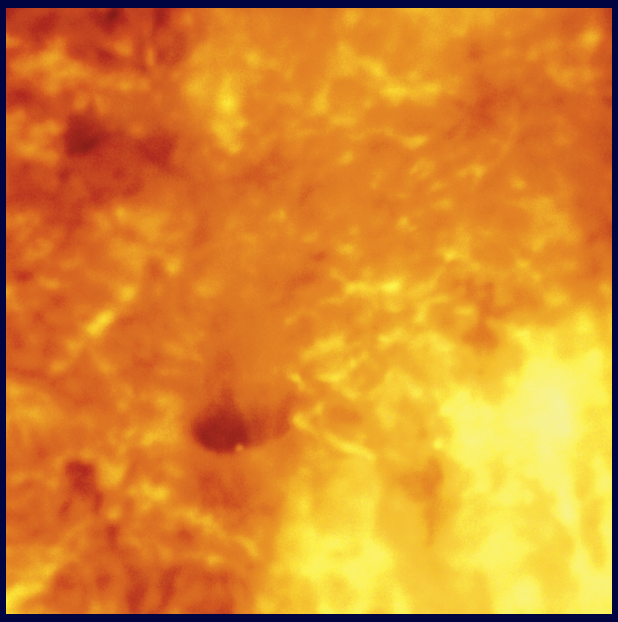
Sascha Krüger

Wärmestrommessung an Membranwänden von Dampferzeugern



TK

Sascha Krüger

Wärmestrommessung an Membranwänden von Dampferzeugern

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Wärmestrommessung an Membranwänden von Dampferzeugern
Sascha Krüger.
– Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009
ISBN 978-3-935317-41-2

ISBN 978-3-935317-41-2 TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

zugleich Dissertation *Wärmestromdichtemessung an Membranwänden von Dampferzeugern* an der Technischen Universität Dresden, Fakultät Maschinenwesen, 2009
Copyright: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

Alle Rechte vorbehalten

Verlag: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky • Neuruppin 2009
Layout: Dipl.-Ing. Sascha Krüger, Dipl.-Des. Susanne Tutein
Druck: Mediengruppe Universal Grafische Betriebe München GmbH, München
Foto: Dipl.-Ing. Sascha Krüger

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien, z.B. DIN, VDI, VDE, VGB Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

Inhaltsverzeichnis

1	**Einleitung**	**1**
2	**Bestehende Techniken zur Wärmestromdichtemessung an Membranwänden**	**4**
3	**Modell zur Bestimmung der Wärmestromdichte auf die Membranwand**	**9**
3.1	Begriffserklärungen	9
3.2	Rippenbetrachtung	12
3.3	Verteilung der Wärmestromdichte im Wandaufbau	17
3.4	Grundlagen für die Modellierung	19
3.5	Wärmeübergang an Membranwänden ohne Zustellung	21
3.6	Modellierung des Wärmedurchgangs am Membranwandaufbau mit Zustellung	27
3.7	Einflüsse bei realen Anwendungen	30
3.7.1	Belagseinflüsse	30
3.7.2	Konstruktive Einflüsse	32
4	**Messtechnik**	**34**
4.1	Erfassung von Temperaturdifferenzen	34
4.1.1	Widerstandssensoren	34
4.1.2	Thermoelemente	34
4.1.3	Grundlagen zur direkten Temperaturdifferenzmesstechnik	35
4.1.4	Kalibrierung des Systems	36
4.1.5	Anwendung der Messtechnik an einer Membranwand	39
4.2	Dynamik der Messtechnik	40
4.2.1	Übergangsverhalten zur Charakterisierung der Dynamik	41
4.2.2	Harmonische Anregung zur Charakterisierung der Dynamik	43
4.2.3	Übertragung der Ergebnisse auf weitere Wandaufbauten und Anwendungen	47
5	**Technikumsanlage**	**50**
5.1	Funktion und Aufbau der Anlage	50
5.1.1	Aufbau der Versuchsanlage	52

5.1.2	Eingesetzte Messtechnik	56
5.1.3	Bilanzierung	57
5.2	Validierung der Messtechnik zur Bestimmung der Wärmestromdichte	61
5.2.1	Einfluss des rohrinnenseitigen Wärmeübergangs	61
5.2.2	Nicht beschichtetes Segment (schwarze Wand)	63
5.2.3	Membranwandsegment mit Auftragsschweißschicht.	64
5.2.4	Membranwandsegment mit Rohrwandplatte aus SiC und Hintergussmasse	65
5.2.5	Membranwandsegment mit Luftspalt zwischen Rohrwandplatte und Membranwand	66
5.3	Prüfstand zur Bewertung von Feuerfestmaterialien hinsichtlich Verformungen	70
5.3.1	Grundlegende Daten für thermomechanische Modellierung	71
5.3.2	Thermomechanische Analyse - System Rohrwandplatte	72
5.3.3	Thermomechanische Analyse - Werkstoffverbund aus Rohrwandplatte und Membranwand	78
5.3.4	Experimentelle Bestimmung der Aufwölbung	82
6	**Praxiseinsatz**	**85**
6.1	Allgemeines zur Anlage	85
6.2	Installationssituation	86
6.3	Makroskopische Betrachtung	87
6.4	Mikroskopische Betrachtungen	90
6.4.1	Online-Reinigung und Belegungszustand	90
6.4.2	Charakterisierung von Belägen	93
7	**Zusammenfassung**	**96**
8	**Quellenverzeichnis**	**99**

Schlagwortverzeichnis

Abreinigungsmuster 91
Aero-Thermodynamik 4
Amplitudenspektrum 92
Anregungsschwingung 45
Arbeitsmedium 4
Ascheansatz 6
Auftragsschweißschicht .... *Siehe* Cladding
Aufwölbung
  Berechnung 76
  messtech. Erfassung 82
Belag
  Belegungszustand 1
  Charakterisierung 93
  Einfluss auf die Wärmestromdichte 30, 31
  Korrosion 11
  Schadstoffreservoir 11
  Wärmeleitfähigkeit 31, 95
Belagsbildung
  Brennstoffzusammensetzung 11
  Prozessparamter 11
Biomasseverbrennungsanlage
  Brennkammer 87
  Systemkennkurven 87
  Wärmestromsensoren 86
  Wasserlanzenbläser 87
Blasensieden 62
Bode-Diagramm 46
Brennkammer 1, 4
charakteristische Temperaturdifferenz .. 5
Chordal-Thermoelement 5
Cladding 9, 87
Dampferzeuger 1, 2, 85
Differenztemperatur 2
Dometer 5, 6
Economiser 86
Einstrahlverhältnis ..... *Siehe* Einstrahlzahl
Einstrahlzahl 21
  abgewickelte Membranwand 24
  experimentelle Bestimmung 25
  grafische Methode 21
  polare Darstellung 25
  Siederohr 21
  Steg 23
Elastizitätsmodul 71
Enthalpiedifferenz
  Arbeitsmedium 4, 50
Ersatzschaltbild 27
Feuerlage 1
Flossenwand ..... *Siehe* Membranwand
Fluxprobe 5
Fluxtube 5
Fourieranalyse 92
Fouriersche Wärmeleitungsgleichung 5
Gasturbine 4
Glasseide 39
Grenzabweichung 35
Grundwertereihe 37
harmonische Anregung 43
Hauptwärmeentbindungszone 10, 89
Heizflächenbelastung 9, 89
Hook'sches Gesetz 74
kalorimetrische Verfahren 2, 4
keramische Spritzschicht 9
konduktive Verfahren 1, 4
Konstantandraht 36
Konvektion 9
Leerzug 1, 86
lokale Wärmeabgabe 1
Membranwand 1, 9
Messsignal
  Belagsbildung 90
  Belagssituation 91
  Dynamik 92
  feuerungsbedingte Ereignisse 87
  Interpolation 89
  makroskopische Betrachtung 87, 90
  Mittelwert 88
  Online-Reinigung 90
  Stützbrennerbetrieb 87
Messtechnik 2, 34
  Befestigung 36, 39
  dynamisches Verhalten 40
  Einflüsse auf die Dynamik 41
  Einsatz an Brennkammer 41

Empfindlichkeit 38
Kalibrierung 36
Kennlinie 37
Kontaktwärmewiderstand 39
Linearitätsfehler 38
Nichtlinearität 39
Temperaturdifferenz 36
Thermospannung 37
Übergangsverhalten 42
Wärmeableitungsfehler 40
Messzelle 1, 4
metallische Spritzschicht 9
Mindestverbrennungsbedingung 9
periodisch veränderliches Temperaturfeld 44
Potenzreihe
cosh 14
tanh 16
Querkontraktion 74
Querkontraktionszahl 71
Reinigungszyklus 91
reversible Dehnung 70
Rippe 2, 12
einseitig beheizt 5
mittlere Wärmestromdichte 13
Temperaturverlauf 13
Rohrwand ..... *Siehe* Membranwand
Rohrwandplatte
Aufwölben 76, 77
freie Verformung 76
Gesamtverformung 75
Verformungsgleichheit 75
Wärmespannung 73
Rohrwandtafeln ..... *Siehe* Membranwand
Rost 1
Seebeck-Effekt 35
Siederohr 2, 9
Spreaderluft 86
Sprühreinigungssystem 11
Sprungverhalten ..... *Siehe* Übergangsverhalten
Steg 2
Stegfuß 12
Stegmitte 13
Stoker-Zuteilsystem 85
Strahlung 9
Strahlungswärmeübergangsfläche 1
Strahlungszug ..... *Siehe* Leerzug
Systemkennkurve 17
Belagseinfluss 32
Ersatzschaltbild 28
konstruktive Einflüsse 32
Membranwand mit Cladding, Versuch 64
Membranwand mit Zustellung 29
Membranwand mit Zustellung, Versuch 65
Membranwand ohne Zustellung 27
Rohrwandplatte mit Hinterlüftung, Versuch 67
schwarze Membranwand, Versuch 63
Technikumsanlage. *Siehe* Versuchsanlage
Temperaturdifferenz
Bestimmung 34
Erfassung 2
Temperaturfeld 6
Temperaturgradient 1
Temperaturleitfähigkeit 45
Temperaturprofil 1, 2
Temperaturwechselverhalten 45
Cladding 48
schwarze Membranwand 48
thermischer Längenausdehnungskoeffizienten 71
thermoelektrischer Effekt 2, 36
Thermoelement 34
Thermomechanik
allgemein 70
Rohrwandplatte 72
Thermowell 7
Totzeit 40
Turbomaschine 4
Übergangsverhalten 41
Überhitzer 86
Verbrennungsanlage 9
Verbrennungsrechnung 59
Verbundsystem Rohrwandplatte - Membranwand
Spannung 78

Verformungskompatibilität 79
Verdampfungsprozess 9
Verfahrenstechnik 4
Verformung
Normalspannung 74
thermisch 74
Verformungssensor 82
Verschmutzungszustand ..... *Siehe* Belag
Versuchsanlage 2, 50
Abgasinjektor 53
Aufbau 50
Bestimmung eff. Wärmeleitfähigkeit 51
Brennkammer 53
Energiebilanz 59
Fließbild 52
Heizkreislauf 54
Heizsystem 53
Kalibrierbetrieb 58
kalorimetrisches Verfahren 50
Kreislaufströmung 54
Kühlkreislauf 56
Massenbilanz 59
Membranwandsegment 54
Quenchleitung 58
Stoffstromdiagramm 58
Strahlungskammer 53
Temperaturdifferenzmesstechnik 57
Temperaturmesstechnik 56
Thermomechanik 51
Verlustleistung 59
Versuchsbetrieb 59
Wandbläser 11
Wärmedurchgang
Membranwandaufbau mit Zustellung 27
Wärmeleitfähigkeit
keramische Werkstoffe 19
metallische Werkstoffe 19
Wärmestrom 1
Wärmestromdichte
auf den Steg 2
auf die Membranwand 4
aus dem Temperaturgradient 66, 68
Belagseinfluss 10
charakteristische Temperaturdifferenz 17
Definition 1
maximal 30
nicht zugestelle Membranwand 18
Online-Reinigung 10
Spannungszustände im Wandaufbau 10
Temperaturdifferenz 8
Temperaturdifferenz Steg-Scheitel 17
Temperaturprofil im Wandaufbau 10, 18
Verbundsystem Rohrwandplatte - Membranwand 80
Verteilung im Wandaufbau 17
vorgegeben (Randbedingung 2. Art) 28
zugestellte Membranwand 18
Wärmestromsensor
Praxiseinsatz 85
Wärmeübergang
hinterlüftete Platte 68
Konvektion und Strahlung 26
Membranwand ohne Zustellung 21
Wärmeübergang zum Siedewasser 20, 62
Wasserlanzenbläser 11, 90
Widerstandssensor 34
Windkanal 4
Winkelverhältnis ..... *Siehe* Einstrahlzahl
Wirbelschicht 4, 7
Zeitkonstante 40
Bestimmung 43, 47