

Technisches Programm

Numerische Analysen zum Versagensverhalten von Mischverbindungen in Kesselrohren unter flexibler Fahrweise





Inhalt

1	Hintergrund	3
2	Programmziel.....	4
3	Aufgabenstellungen des beauftragten Dienstleisters	5
3.1	AP 1 FE-Modellerstellung und Aufbereitung der Materialmodelle.....	5
3.2	AP 2 Durchführung numerischer Analysen und Bewertung des Versagensverhaltens	6
4	Rahmenbedingungen	7
5	Teilnahmegebühr	7
6	Compliance	8
7	Ansprechpartner	8



1 Hintergrund

Hintergrund zu diesem Technischen Programm ist, dass in dem Vorgängerprojekt „Numerische Untersuchungen zur Rissentstehung und zum Risswachstum in einem Kesselrohr mit Mischnaht unter zyklischer Belastung“ Methoden zur Bewertung von Mischnähten unter zyklischer Belastung erarbeitet wurden, die sich auf andere Geometrien, Werkstoffpaarungen, Beanspruchungen und Randbedingungen übertragen lassen.

Zur Abfrage des Interesses und zur Erfassung der in deutschen Kraftwerken vorkommenden Mischschweißverbindungen in Kesselrohren oder Sammleranschlüssen wurde im Vorfeld eine Umfrage durchgeführt. Auf Basis der Umfrage und weiterer Online-Sitzungen mit potenziell interessierten Projektteilnehmern ist nachfolgendes Arbeitsprogramm entstanden. Es sollen folgende Werkstoff- und Geometrievarianten mit direktem Übergang von austenitischem zu ferritisch/martensitischem Kesselrohr unter Verwendung eines Nickelbasisschweißguts betrachtet werden. Insbesondere sind numerische Analysen zu folgenden Werkstoff- und Geometriekombinationen geplant (siehe Tabelle 1):

Tabelle 1: Zu bewertende Werkstoff- und Geometrievarianten

Variante	Werkstoff 1	Schweißgut	Werkstoff 2	Anmerkung
V1	Super 304H 42,4 x 8,0 mm	NiCro82	T92 42,4 x 8,0 mm	RWE Geometrie: wd T92 = wd 304H
V2	Super 304H 50,8 x 12,3 mm	NiCro82	T91 50,8 x 11,0 mm	Trianel Geometrie: wd T91 < wd 304H
V3	Super 304H 50,8 x 12,3 mm	NiCro82	T91 50,8 x 12,3 mm	Mod. Trianel Geometrie: wd T91 = wd 304H

Zu den oben genannten martensitischen Grundwerkstoffen (T91 und T92) und deren typischen Wärmeeinflusszonen liegen aus Vorgängervorhaben bereits Ergebnisse aus Werkstoffuntersuchungen vor, die für die geplanten numerischen Analysen verwendet werden können. Für den austenitischen Werkstoff Super 304H liegen aus Vorgängervorhaben lediglich zyklische Versuche bei 650 °C vor, weshalb einzelne zusätzliche Versuche zur Charakterisierung des zyklischen Werkstoffverhaltens auch bei anderen Temperaturen durchgeführt werden müssen. Für das Schweißgut NiCro82 liegen am



Fraunhofer IWM bisher keine Erfahrungswerte vor, sodass auf die Erfahrungen der Projektpartner zurückgegriffen werden muss. In jedem Fall können jedoch die am Fraunhofer IWM vorhandenen Erfahrungswerte zum NiCr20Nb- oder Alloy 617-Schweißgut herangezogen werden.

Derzeit wird angenommen, dass das Versagen der Schwarz/Weiß-Verbinder maßgeblich durch die komplex auf die Verbindung einwirkenden Zusatzlasten bedingt ist. Folgende Lastszenarien wurden mit den potenziell interessierten Projektteilnehmern vorab abgestimmt, müssen aber zu Beginn des Vorhabens noch einmal konkretisiert werden:

- S1: typisches Kaltstart-Szenario;
- S2: typisches Heißstart-Szenario;
- S3-1 und S3-2: Zusatzlast längs zum Rohr – variiert zwischen zwei Extremwerten;
- S4-1 und S4-2: Zusatzlast 90° quer zum Rohr – variiert zwischen zwei Extremwerten.

Dabei sind insbesondere Betrag und Einwirkungsrichtungen der Zusatzlasten auf die Mischverbindungen noch festzulegen. Gleichzeitig ist das zu bewertende, typische Kaltstart- und Heißstart-Szenario (Temperatur- und Druckzeitverlauf) noch festzulegen.

Folgende Simulationsmatrix wird für das vorliegende Angebot zugrunde gelegt, wobei in Summe 10 Variantenrechnungen vorgesehen werden (siehe Tabelle 2):

Tabelle 2: Geplante Simulationsmatrix

	S1	S2	S3-1	S3-2	S4-1	S4-2
V1	X	X	X	X	X	X
V2	X		X (ungünstigster Lastfall aus S3 und S4)			
V3	X		X (ungünstigster Lastfall aus S3 und S4)			

2 Programmziel

Ziel der Arbeiten ist die Durchführung einer Simulationskampagne zum Versagensverhalten von Mischschweißverbindungen in Kesselrohren in unterschiedlichen Ausführungen und unter zyklischen Beanspruchungen, wobei das Augenmerk auch auf den Einfluss von Systemkräften auf das Versagen gelegt werden soll.



3 Aufgabenstellungen des beauftragten Dienstleisters

3.1 AP 1. FE-Modellerstellung und Aufbereitung der Materialmodelle

Vorbereitend für die numerischen Analysen zum Versagensverhalten sind zunächst die jeweiligen FE-Modelle der Mischverbindungen aus Tabelle 1 zu erstellen. Diese sollten idealerweise eine realistische Schweißnahtgeometrie, einschließlich Schweißnahtwurzel und Decklagen, sowie die einzelnen Zonen der WEZ des T91 bzw. T92 (WEZ1, WEZ2 und WEZ3) berücksichtigen.

Weiterhin sind die aus Vorgängervorhaben vorliegenden Modellanpassungen zu den Grundwerkstoffen Grade 91 und Grade 92 sowie zu deren Wärmeeinflusszonen für die Anwendung im Rahmen der FEMethode aufzubereiten. Außerdem ist zu prüfen, ob die im Vorgängerprojekt verwendeten Modellanpassungen für das Alloy 617-Schweißgut auch das Verhalten des NiCr20Nb-Schweißguts in guter Näherung abbilden können oder ob sie beispielsweise durch Skalierung einzelner Modellparameter so modifiziert werden können, dass die mechanischen Eigenschaften des NiCr20Nb-Schweißguts adäquat beschrieben werden.

Da für den austenitischen Werkstoff Super 304H aus Vorgängervorhaben lediglich Versuche bei 650 °C vorliegen, sind einzelne Versuche zur Charakterisierung des zyklischen Werkstoffverhaltens auch bei anderen Temperaturen erforderlich. Folgende ergänzende Versuche an Super 304H sind geplant:

- je 1 LCF-Versuch bei 200 °C, 400 °C und 600 °C mit Ziellebensdauern von 3000 bis 10000 Zyklen;
- 1 LCF-H Versuch bei 600°C mit einer Haltezeit von 10 min im Zug und Druck;
- 1 anisothermer Versuch (TMF-Versuch) im betriebsrelevanten Temperaturbereich, z.B. zwischen 300 °C und 600 °C, mit $\dot{\epsilon} = 10^{-4}$ 1/s.

Der dafür notwendige Werkstoff liegt aus Vorgängervorhaben bereits vor. Die Modellanpassungen zum Super 304H aus dem abgeschlossenen IGF-Vorhaben „VGB-GrobkornAustenit“ sind anschließend um die Temperaturstützstellen zu erweitern, zu denen LCF-Versuche vorliegen, und anhand des TMF-Versuchs zu validieren.

Das Ergebnis dieses Arbeitspakets sind FE-Modelle sowie aufbereitete Materialmodelle für Verformung und Lebensdauer für alle relevanten Bestandteile der Mischverbindungen aus Tabelle 1.



3.2 AP 2. Durchführung numerischer Analysen und Bewertung des Versagensverhaltens

Zur eigentlichen numerischen Analyse des Versagensverhaltens der Mischverbindungen aus Tabelle 1 sind zunächst die zu betrachtenden Lastszenarien (T(t)-, p(t)-Verläufe für S1 und S2, sowie Betrag und Richtung der Zusatzlasten für die Szenarien S3-1, S3-2, S4-1 und S4-2 zu konkretisieren.

Das Arbeitspaket beinhaltet die Durchführung von insgesamt 10 Variantenrechnungen. Zur Bewertung des Versagensverhaltens jeder einzelnen Variante (Geometrie, Werkstoffe, Lastfall) sind folgende Arbeitsschritte durchzuführen:

- Aufbringung der jeweiligen Lasten und Randbedingungen auf das FE-Modell;
- FE-Rechnung mit, für die einzelnen Werkstoffe / Schweißnahtzonen, geeigneten viskoplastischen Materialmodellen;
 - Ergebnis der FE-Rechnung sind Spannungen und Dehnungen durch Lastwechsel (Temperatur und Innendruck) und ggf. Zusatzlasten, sowie deren Umlagerung unter statischer Last (reiner Innendruck bei T_{max}) als Input für eine Schädigungsbewertung;
- Abschätzung der Anzahl an Lastwechseln bzw. der Zeit bis zur Bildung eines Anrisses in der Größenordnung von 1 mm (technischer Anriss bzw. technische Rissinitiierung) mit dem DFCLebensdauermodell für Kriechermüdung. Für eine Vorhersage zum Rissentstehungsort wird die FE-Rechnung außerdem mit dem DTMF-Postprozessor ausgewertet;
- Untersuchungen zum Versagensverhalten der rissbehafteten Mischverbindung, also zur Frage, wie das weitere Risswachstum nach erfolgter Rissinitiierung erfolgt.

Das Ergebnis dieses Arbeitspakets sind Aussagen zum Versagensverhalten der betrachteten Mischverbindungen unter vorgegebener zyklischer Belastung (Innendruck, Temperatur und ggf. Zusatzlasten). Die Variantenrechnungen der Zusatzlasten sollten dem Betreiber außerdem helfen, die besonders kritischen Bereiche am Dampferzeuger zu identifizieren. Für den Anlagenbauer sollte sich daraus ableiten lassen, wo und in welcher Ausrichtung solche Verbinder eingebaut werden können und wo sie besser nicht installiert werden sollten.



4 Rahmenbedingungen

An dem Technischen Programm sind sowohl vgbe-Mitglieder als auch Nicht-Mitglieder zugelassen.

Die Sprache im TP ist Deutsch.

Das Programm wird durchgeführt, wenn sich mindestens 4 Unternehmen beteiligen.

Die Gesamtlaufzeit des TP beträgt 6 Monate ab Beauftragung der Forschungsinstitute.

5 Teilnahmegebühr

Die Kosten des Technischen Programms pro Programmteilnehmer sind tabellarisch, bezogen auf die Anzahl der Programmteilnehmer, wie folgt aufgeführt:

Für vgbe Mitglieder:

Anzahl Teilnehmer	Kosten* [€]
4	10.000,00 €
5	8.000,00 €
6	6.700,00 €
7	5.700,00 €

Für vgbe NICHT-Mitglieder:

Anzahl Teilnehmer	Kosten* [€]
4	10.200,00 €
5	8.200,00 €
6	6.900,00 €
7	5.900,00 €

* zuzüglich der gesetzlich vorgeschriebenen Mehrwertsteuern



6 Compliance

vgbe energy, die Vertragspartner von vgbe energy bezogen auf dieses Technische Programm und beteiligte Unternehmen verpflichten sich zu fairen Geschäftspraktiken und lehnen jegliche Form von Korruption und Bestechung ab. Auf der Grundlage dieses Verständnisses verpflichten sich vgbe energy, die Vertragspartner von vgbe energy und die beteiligten Unternehmen, ihre jeweiligen internen Compliance-Regeln und Compliance-Verfahren sowie die gesetzlichen Antikorruptionsvorschriften strikt einzuhalten. vgbe energy, die Vertragspartner von vgbe energy und die beteiligten Unternehmen und deren Mitarbeiter verpflichten sich daher, im Zusammenhang mit dem Abschluss und der Durchführung dieses Vertrages sowie auch des sich daraus ergebenden Vertragsverhältnisses weder unberechtigte Vorteile gleich welcher Art anzubieten, zu versprechen oder zu gewähren noch zu fordern, zu versprechen oder anzunehmen. vgbe energy, die Vertragspartner von vgbe energy und die beteiligten Unternehmen erwarten auch von Dritten, die an der Durchführung dieses Vertrages beteiligt sind, ein entsprechendes Verhalten und verpflichten sich, diese auf die Einhaltung der Gesetze hinzuweisen.

7 Ansprechpartner



Tel.: +49 201 8128 295

Mobil: +49 151 18248007

Mail: Jens.Ganswind@vgbe.energy



Tel.: +49 201 8128 232

Mail: Diana.Ringhoff@vgbe.energy

vgbe energy e.V.

Deilbachtal 173

45257 Essen

Germany

www.vgbe.energy



**Registrierungsformular zur Teilnahme am
Technischen Programm des vgbe energy e.V.**

Technisches Programm	„Numerische Analysen zum Versagensverhalten von Mischverbindungen in Kesselrohren unter flexibler Fahrweise“
Firma:	
Name:	
Funktion	
Anschrift	
Telefon:	
E-Mail:	
Sonstige Bemerkungen:	

Mit meiner Unterschrift erkläre ich meine verbindliche Bereitschaft zur Teilnahme an dem o. g. Technischen Programm und leiste somit einen Finanzierungsanteil entsprechend der Angaben in Kapitel 5.

Ort, Datum

Unterschrift

Ort, Datum

Unterschrift

Bitte schicken sie das ausgefüllte Formular an: jens.ganswind@vgbe.energy



vgbe energy e.V.
Deilbachtal 173
45257 Essen
Deutschland

t +49 201 8128-0
e info@vgbe.energy