

Schmidl, W.; Klotz, S.; Molitor, D.; Müller, M.; Schneider, D. (2022)

**Schweißplattierungen in
Abfallverbrennungsanlagen –
Korrosion an verschiedenen
Einsatzorten und Sonderpositionen**

In: Thiel, S.; Thomé-Kozmiensky, E.; Quicker, P., Gosten, A. (Hrsg.):
Energie aus Abfall, Band 19
Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH, Neuruppin, 2022
S. 589-600

Abstract

Cladding in WtE-plants – Corrosion at different application sites and special positions

Authors: Dipl.-Geol. Werner Schmidl, Dipl.-Geogr. Susanne Klotz, Dipl.-Ing. (FH) Dominik Molitor, M. Sc. Markus Müller, Dipl.-Ing. (FH) Dominik Schneider

Over the past 25 years, nickel-based weld-overlays have been continuously improved in the corrosion-wear scenario of thermal treatment of waste and related fuels such as waste wood and RDF. CheMin has been able to witness and also influence this development of "cladding" in waste incineration boilers in the European market and outside Europe since the end of the 1990s. The development in this market led to a consolidation of the technical features that a weld-overlay must offer. But other factors in waste-fired boilers have also evolved, both in terms of design and firing technology as well as fuel. The quality of a weld-overlay is specified in various guidelines such as VdTÜV-Merkblatt 1166 or VGB-Standard 013. These guidelines differ, for example, in the cladding thickness required as a minimum on a weld-clad membrane wall or single tube [4, 5]. Also the products available on the market offer an even wider range of "claddings" in different thicknesses, as in some applications a thinner cladding may be sufficient. This makes sense due to certain factors such as the extent of the corrosion attack, the resulting wear rate, material costs and weight, etc. The conditional basis for this argumentation and the consideration of the cladding thickness as a design feature is a high quality of the weld cladding, especially a smooth surface and homogeneity of the cladding thickness [2, 3]. If the depletion rate of unprotected membrane walls in an old boiler is known, an estimate of the expected corrosion attack on claddings can be made. An estimate can also be made for new buildings from comparative scenarios. Since a boiler has very different wear zones due to corrosion, this also becomes a question of design and construction. This article describes some zones with increased wear and some considerations on the geometry of a membrane wall with regard to activation of corrosion potentials as well as the possibility to observe the wear progress with probes. The focus of this article is on positions in the radiation passes of WtE-boilers. Phenomena alike occur in a convective determined heat transfer scenario but the consideration would break the mould of this article and might be in the focus of a following one.

Schweißplattierungen in Abfallverbrennungsanlagen – Korrosion an verschiedenen Einsatzorten und Sonderpositionen

Autoren:

Dipl.-Geol. Werner Schmidl, Dipl.-Geogr. Susanne Klotz, Dipl.-Ing. (FH) Dominik Molitor,
M. Sc. Markus Müller, Dipl.-Ing. (FH) Dominik Schneider

1.	Korrosionsangriff.....	3
2.	Qualität einer Schweißplattierung	3
3.	Einflussfaktoren auf die Korrosion	4
4.	Zonen mit erhöhtem Verschleiß.....	6
5.	Lebensdauer und Instandhaltung.....	8
6.	Zusammenfassung und Ausblick	9
7.	Literatur:.....	11

In den vergangenen 25 Jahren wurden Schweißplattierungen mit Nickelbasislegierungen im Korrosionsverschleißszenario der thermischen Behandlung von Abfall und verwandten Brennstoffen wie Altholz und EBS kontinuierlich verbessert. CheMin konnte diese Entwicklung von *Cladding* in MVA-Kesseln im europäischen Markt und im außereuropäischen Raum seit dem Ende der 90er Jahre miterleben und auch beeinflussen. Die Entwicklung in diesem Markt führte zu einer Konsolidierung der technischen Merkmale, die eine Schweißplattierung bieten muss. Aber auch andere Faktoren bei abfallgefeuerten Kesseln haben sich weiterentwickelt, sowohl was die Konstruktion und die Feuerungstechnik als auch den Brennstoff betrifft. Die Qualität einer Schweißplattierung ist in verschiedenen Richtlinien wie dem VdTÜV-Merkblatt 1166 oder dem VGB-Standard 013 festgelegt. Diese Richtlinien unterscheiden sich z.B. in der Plattierungsdicke, die im Minimum auf einer schweißplattierten Membranwand oder Einzelrohr gefordert ist [4, 5]. Die auf dem Markt erhältlichen Produkte bieten eine noch größere Auswahl an *Claddings* in verschiedenen Schichtdicken, da in manchen Anwendungsfällen auch ein dünneres Cladding ausreichend sein kann. Dies ist aufgrund bestimmter Faktoren wie Ausmaß des Korrosionsangriffs, resultierende Abzehrung, Materialkosten und Gewicht etc. sinnvoll. Bedingende Grundlage für diese Argumentation und die Betrachtung der Schichtdicke als Designmerkmal ist eine hohe Qualität der Schweißplattierung, insbesondere eine glatte Oberfläche und Homogenität der Schichtdicke [2, 3]. Ist die Abzehrungsrate von ungeschützten Membranwänden in einem Altkessel bekannt, kann eine Abschätzung des zu erwartenden Korrosionsangriffs auf Plattierungen vorgenommen werden. Auch bei Neubauten kann aus Vergleichsszenarien eine Abschätzung getroffen werden. Da ein Kessel sehr unterschiedliche Verschleißzonen durch Korrosion aufweist, wird dies auch zu einer Frage des Designs und der Konstruktion. Dieser Artikel beschreibt einige Zonen mit erhöhtem Verschleiß und einige Überlegungen zur Geometrie einer Membranwand im Hinblick auf Aktivierung von Korrosionspotentialen sowie die Möglichkeit mit Sonden den Abzehrungsfortschritt zu beobachten. In den Blick genommen werden in diesem Artikel vor allem Positionen in den Strahlungszügen. Betrachtungen zum gleichen Thema im konvektiv betonten Wärmeübergangsszenario werden in einem folgenden Artikel angeschnitten.

1. Korrosionsangriff

Hochtemperaturchlorkorrosion und durch Salzschnmelzen induzierte Korrosion, vor allem durch Chloride, sind die Korrosionsmechanismen, die an den meisten rauchgasexponierten Oberflächen auftreten. Sie führen zu einer deutlichen Abzehrung von ferritisch-perlitischem Stahl und auch von Nickelbasislegierungen, dort jedoch in weit geringerem Maße. Dies ist der Grund für den Einsatz der Hochleistungsschweißplattierung auf Nickelbasis, meist vom Typ Alloy 625 (2.4831) und Alloy 686 (2.4606). Beide Korrosionsmechanismen werden durch eine Reihe von Kationen und Anionen hervorgerufen, die in allen Arten von Abfall zu finden sind, nämlich Alkali-Elemente (Natrium, Kalium) sowie Calcium und Magnesium und Schwermetalle. Das Anion Chlorid ist der Hauptakteur bei all diesen Formen des Angriffs, auch Schwefel spielt eine große Rolle, teils bei der Hemmung bestimmter Mechanismen, aber auch bei der Verstärkung anderer. Der grundsätzliche Mechanismus für Abzehrung durch Korrosion sind chemische und mineralogische Reaktionen innerhalb der gebildeten Beläge, die auf allen Wärmetauscherflächen zu finden sind. Blanke Oberflächen treten so gut wie nirgendwo auf und weisen die „Erosionskomponente“ in den Hintergrund. Der Belag wird von Aerosolen (Salze, hoher Anteil) und einigen inerten Flugaschepartikeln (silikatische Schmelzen, geringer Anteil) gebildet. Die Reaktionen innerhalb des Belages ermöglichen die Korrosion der Wärmetauscheroberfläche. Eine wichtige Rolle in diesem Prozess spielt die Wärmestromdichte und deren Veränderung im Belag vom Rauchgas zur "kalten" Oberfläche des Wärmetauschers.

2. Qualität einer Schweißplattierung

In den meisten europäischen abfallgefeuerten Anlagen, die das Unternehmen regelmäßig begleitet, ist eine Mindestschichtdicke der Plattierung von 2,0 mm üblich und umgesetzt. Dies ist eine verlässliche Grundlage für eine nachhaltige Verlangsamung der Chlorkorrosion und die Vermeidung einer hohen Abzehrung. Die Oberflächenglätte und eine enge Verteilung der Schichtdickenvarianz sind ebenfalls sehr wichtig für eine langfristige Standzeit. Nach unseren Beobachtungen haben die meisten der werkstattplattierten Paneele in den ersten Betriebsperioden ein allgemein gutes Standverhalten. Die Beobachtungen von CheMin weisen jedoch auch darauf hin, dass längerfristig (Betriebszeit mehr als 5 Jahre) ein erheblicher Verlust der Claddingdicke in bestimmten Bereichen auftritt. Eine Mindestdicke des Cladding von 2,5 mm gemäß VGB-S-013-00-2017-04-DE kann in bestimmten Regionen, in denen ein erhöhter Verschleiß durch Korrosionsmechanismen zu erwarten ist, eine verlängerte Lebensdauer bieten, wenn sie in denselben engen Toleranzen und mit einer vergleichbaren Oberflächenglätte wie ein 2 mm-Cladding aufgebracht wird [2]. Auch Schweißplattierungen mit weniger als 2 mm bis hin zu <1 mm sind verfügbar und sollten in Betracht gezogen werden, wenn über ein "smartes Design zum Korrosionsschutz mit Schweißplattierungen" nachgedacht wird. Eine homogene und enge Verteilung der Schichtdicke sollte an Membranwandpaneelen und auch an Einzelrohren realisiert werden.

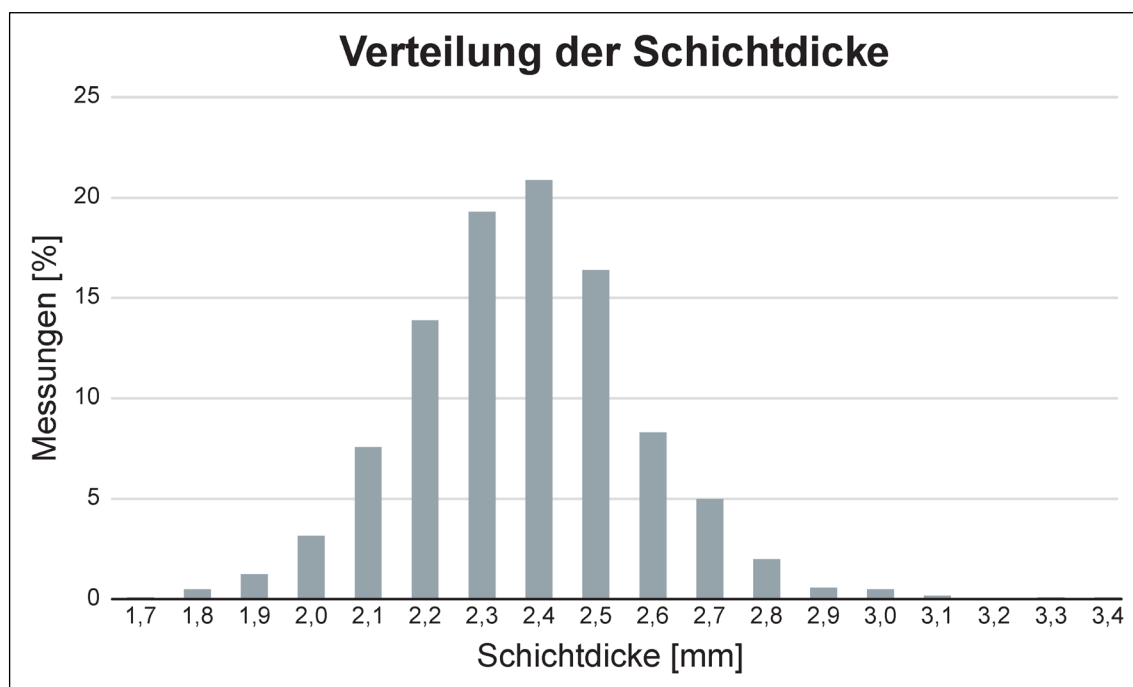


Abbildung 1: Verteilung der Schichtdicke (sehr homogene Häufigkeitsverteilung der Schichtdicke eines 2 mm Cladding: die Anzahl der Messpunkte betrug ca. 1.200)

Ein konservierendes Strahlen mit Glasperlen kann der Inconel-Oberfläche helfen, indem die offene dendritische Struktur an der Oberfläche einer mechanischen Gefügeverdichtung unterzogen wird und damit Korrosionswege in das Gefüge reduziert werden [1]. Auch andere Oberflächenbeeinträchtigungen wie z.B. ferritische Schweißspritzer aus späteren Arbeitsgängen, wie Richten, Transportbefestigungen, Montage, dürfen nicht zu finden sein. Ist dies der Fall, sollten sie entfernt werden. Diese Maßnahme ist auch im VGB-S-013-00-2017-04-DE, Abschnitt 20.12. festgehalten.

Das Unternehmen inspiziert etwa 50 MVA-Kessel und verwandte Feuerungen regelmäßig bei Stillständen, führt eine Verschleißkartierung durch und gibt Ratschläge für die Wartung und Austauschplanung von feuerfesten und metallischen Wärmetauscherflächen. Fast alle sind in Teilbereichen durch eine Schweißplattierung geschützt. In den Begleitungsbefunden ist oft zu sehen, dass gecladete Paneele in Teilbereichen spätestens nach etwa 40.000 Betriebsstunden gewartet werden müssen. Bereiche mit erhöhtem Verschleiß liegen z.B. an der Zünddeckenbiegung in Richtung Vorderwand, um die Eintrittszone der Sekundärluft, an gekröpften Rückwänden im 1. Zug oder an der Decke des 1. Zugs. Weitere Zonen können der Eintrittsbereich in den 2. Zug (Sammler, Gitterrohre, angeströmte Schottrohre); sowie einige Zonen der "thermochemischen Friktion" an den Seitenwänden und der Rückwand sein. Zonen mit ausgebogenen Rohren an Kesselöffnungen und alle Positionen mit manuellem Cladding stehen ebenfalls im Abzehrungsfokus.

3. Einflussfaktoren auf die Korrosion

Weitere Faktoren haben Einfluss auf die Standzeiterwartung einer Schweißplattierung. Dies sind der chemische und kalorische Input des Abfalls. Selbst wenn der Heizwert in einem Bereich um 10 MJ/kg gehalten wird, sind der chemische Input, die Menge an Chloriden, Schwermetallen und Alkalielementen sowie deren Mobilisierung in der Feuerung von Bedeutung, da sie in bestimmten Anteilen und Verhältnissen die meisten Korrosionsmechanismen auslösen. Von großer Bedeutung ist auch die Feuerführung in puncto Homogenität und Vermeidung von

"Hot Spots". Diese sind nicht nur als einfache Temperaturkonzentrationen zu verstehen, sondern beeinflussen auch die Rauchgasgeschwindigkeit, die Wärmestromdichte, das chemische Inventar im Rauchgas und insbesondere die Belagsbildung in einer Kesselzone. Ein weiterer Aspekt ist auch die Größe und Geometrie des Kessels, die sich auf die Verteilung und das Gleichgewicht der oben genannten Faktoren über die Zeit auswirkt. Auch eine erhöhte Druckstufe, verglichen mit vielen Anlagen die die klassischen Parameter (40 bar 400°C o.ä.) verwenden, wird sich im Abzehrverhalten widerspiegeln. Eine breite Kesselgeometrie an Vorder- und Rückwand, mit vergleichsweise kurzen Seitenwänden im 1. und 2. Zug wird sich anders verhalten als ein eher quadratischer Zugquerschnitt. Die konstruktive Auslegung erzeugt verstärkten Wärmefluss in bestimmten Bereichen und löst auch in den aufliegenden Belägen einen erhöhten „Korrosionsdruck“ aus. Die Kesselgeometrie ist nicht die einzige korrosionsrelevante Konstruktionsvorgabe. Auch die Geometrie der Membranwand im Detail ist eine grundlegende Bedingung des Wärmeübergangs in der Rohrwand und daraus resultierend im Belag, der immer als Teil des lokalen Wandaufbaus zu verstehen ist. Bei gleicher Rohrabmessung aber breiteren Teilung von z.B. 90 mm ist der Temperaturunterschied zwischen Rohrscheitel und Membranwandsteg größer als bei einer engeren Teilung von z.B. 75 mm. Es ist wichtig zu verstehen, dass Korrosion nicht einfach eine Funktion der Oberflächentemperatur ist, sondern von der Wechselwirkung zwischen der anliegenden Wärmestromdichte, der Kühleffizienz und somit den thermischen Gradienten innerhalb des Belages in Kombination mit dem chemischen Inventar des Belags und den Rauchgasen abhängt. Bei einer Rohrteilung von 90 mm treten Korrosionserscheinungen an den kehl- und flankenständigen Schweißraupen wahrscheinlicher auf als bei einer Teilung von 75 mm. Dies hängt mit dem gestiegenen Anteil des Wärmestromflusses im Bereich des Rohrsteigs zusammen, der in der Abbildung 2 ohne einen Belag modelliert worden ist.

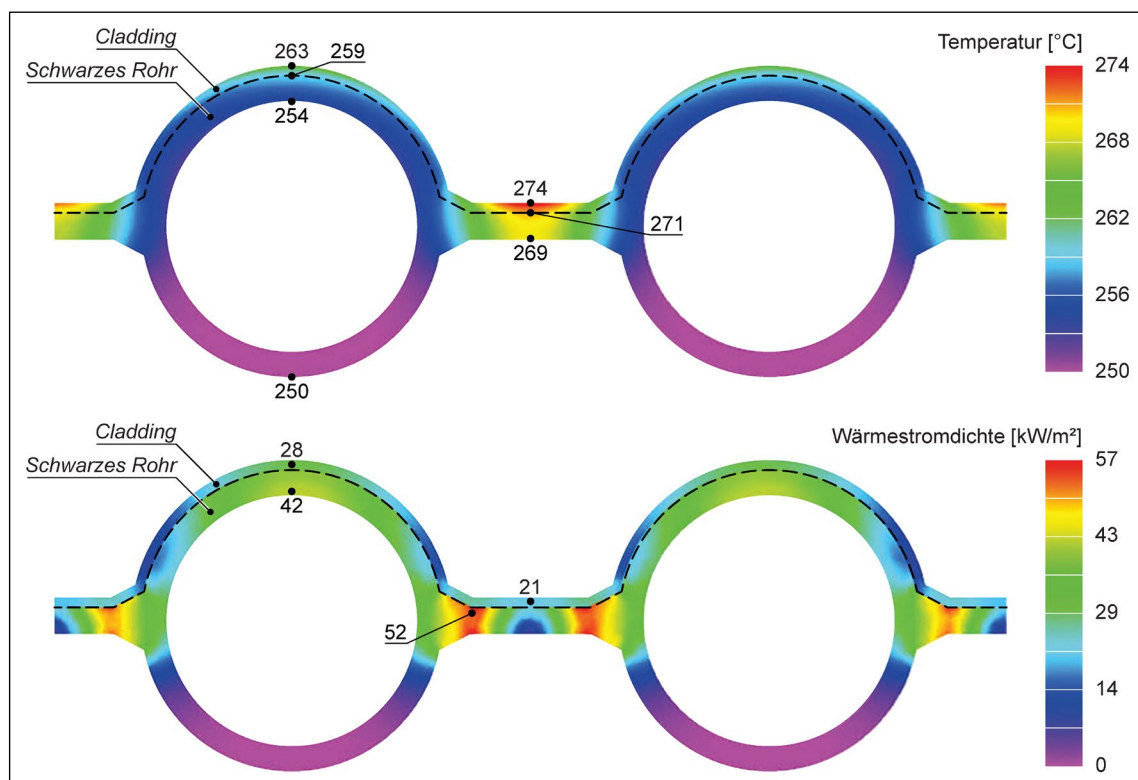


Abbildung 2a: Temperatur- und Wärmestromdichteverteilung in einem gecladdeten Rohrwandsegment mit 90 mm Teilung: sowohl die Temperatur als auch die Wärmestromdichte erhöhen sich deutlich bei einer breiteren Teilung

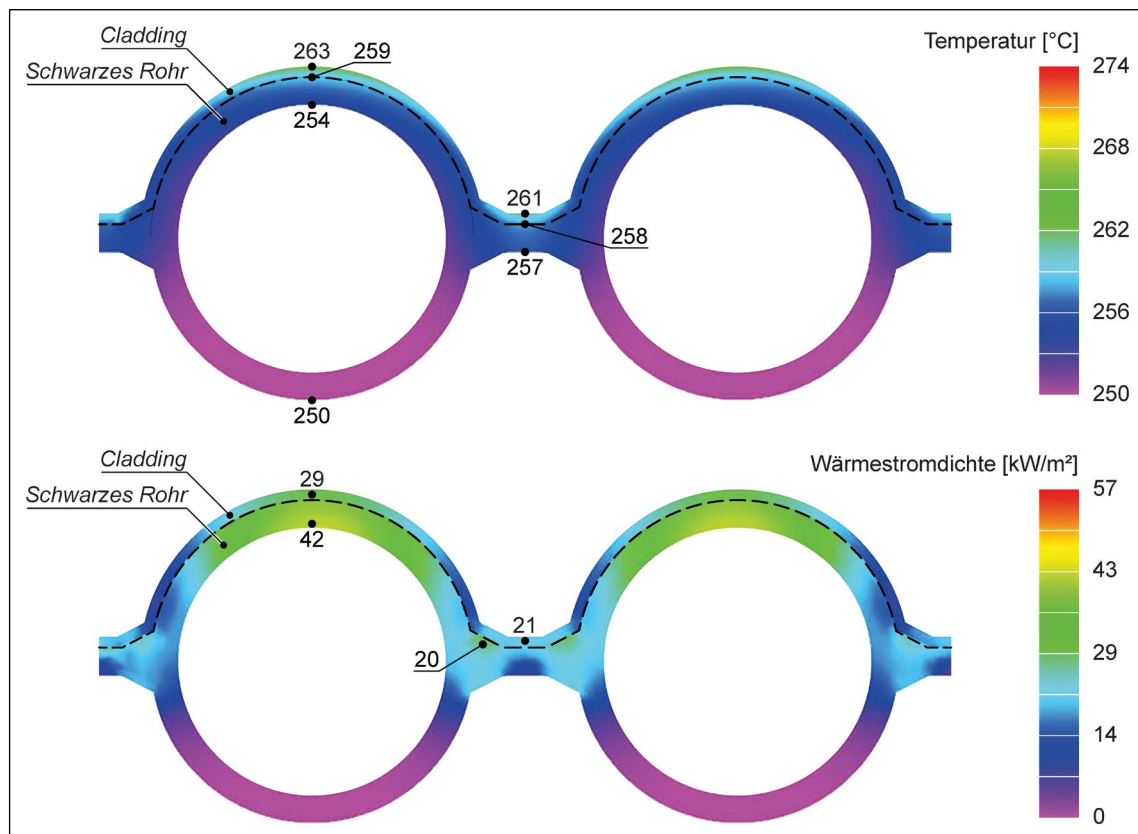


Abbildung 2b: Temperatur- und Wärmestromdichteverteilung in einem gecladdeten Rohrwandsegment mit 75 mm Teilung

4. Zonen mit erhöhtem Verschleiß

Zone A – Zünddeckenbogen

In diesem Bereich hochenergetischen Einflusses durch sekundären Lufteintrag im Umfeld kann es zu verstärkter Abzehrung der Claddingdicke kommen. Der Verschleiß, der hauptsächlich durch sehr gleichmäßigen Salzschnmelzeinfluss verursacht wird, kann sowohl das Cladding am Rohr als auch am Steg betreffen. Eine konstante Verringerung der Claddingdicke ist die Folge. Die Flächen sollten daher beobachtet werden. Ein primär dickeres Cladding mit z.B. 2,5 mm Mindestschichtdicke, wie in der VGB-Norm 013 vorgesehen [5], könnte in diesem Bereich helfen, die Standzeit zu verlängern, bevor Sanierungen ergriffen werden müssen.

Zone B - 1. Zug Rückwandschräge

Der oftmals gekröpfte, obere Teil der Rückwand erfährt im 1. Zug eine erhöhte Beanspruchung durch Strahlung (resultierend Wärmestromdichte) und auch Entkoppelung von Aerosolen durch Desublimation oder Kondensation aus dem Rauchgas. Vor allem manuell plattierte Bereiche und Übergänge zu Sammlern können unter einer schnellen Abzehrung leiden. Ein dickeres Cladding kann auch hier dazu beitragen, das Risiko lokal freiwerdenden schwarzen Grundwerkstoffes zu verringern.

Zone C - 1. Zug Übergang von Feuerfest auf Cladding

Meist findet im 1. Zug der Übergang von einer mehr oder weniger gut wärmeleitenden Feuerfestzustellung auf metallische Wärmetauscherflächen statt. Die erste Metallkontaktfläche, mit wesentlich beschleunigter Wärmeauskopplung, ist für den Wärme- und Chemikalienaustausch bevorzugt. Das Rauchgas enthält noch weitgehend das gesamte chemische Inventar relevanter Spezies als Salz-Aerosole. Da diese besser wärmeleitende Oberfläche wesentlich kälter ist,

stellt sie die erste *Kühlfalle* für die gasförmige Salzbelastung dar. Hier können Salzschnmelze-korrosionsmulden in Form von kleinen, halbkugelförmigen und daher tiefreichenden Pittings auftreten. Im Übergangsbereich der Feuerfestzustellung auf metallische Wärmetauscheroberflächen ist auch von einer Rückstrahlung der Plattenoberfläche auszugehen, deren Temperatur der Rauchgastemperatur wesentlich ähnlicher ist als die Wärmetauscherrohre. Diese Wärmestrahlung kann das chemische Korrosionspotential im Belag aktivieren. An den Flanken- und Kehlstellen zum Strahlungszentrum in Zugmitte hin sind hohe Verschleißraten zu erwarten.

Zone D – Gitterrohre

Die Gitterrohre am Übertritt des 1. Zuges zum 2. Zug zwischen dem oberen Sammler der Trennwand und dem Deckensammler sowie die ersten Rohre von Schottwänden können durch eine hohe Wärmestromdichte und thermochemische Exposition beeinträchtigt werden. An den Sammlerpositionen sind generell höhere Materialoberflächentemperaturen zu erwarten. Auch an diesen Stellen würde eine erhöhte Schichtdicke des Cladding helfen die Standzeit zu verlängern.

Zone E - Positionen mit gebogenen Rohren (z. B. an Luken, Düseneintritten usw.)

Zone E ist kein eindeutiger und lokalisierter Bereich im Kessel, sondern kann an allen Stellen mit gebogenen Rohren auftreten. Alle gebogenen Rohre leiden unter erhöhtem Verschleiß aufgrund einer Beeinträchtigung der Wärmestromdichte in das Medium und bergen auch das Risiko einer lokalen Störung des Rauchgasinventars. Es wurden an solchen Stellen vermehrt Korrosion und Abzehrung im Vergleich zur *regulären* Umgebung beobachtet, unabhängig davon, wo sich die Ausbiegungen befinden. Noch stärker betroffen sind häufig die manuell geschweißten Übergangszonen zwischen spiralgeschweißtem Cladding und der in Fallnaht geschweißten regulären Membranwand. Es lässt sich nicht exakt vorhersagen, in welchem Maße dies geschieht, aber es handelt sich definitiv um eine *Zone* mit stärkerer Beeinträchtigung, die daher durch eine Schichtdicke von mindestens 2,5 mm besser geschützt werden könnte.



Abbildung 3: Beispielfhafte Darstellung der Zonen mit erhöhtem Verschleiß

5. Lebensdauer und Instandhaltung

Aus Sicht der Autoren sollte eine Schweißplattierung nicht mit unlegiertem oder niedriglegiertem Stahl verglichen werden, der bis zu einer bestimmten Restwandstärke abgenutzt werden kann, bevor er ersetzt werden muss. Um eine hohe Qualität einer ggf. durchzuführenden Reparaturschweißplattierung zu erreichen, sollte die primäre Schweißplattierung nicht *geöffnet* vorliegen. Die Schichtdicke sollte nicht auf weniger als 0,5 mm reduziert werden, bevor der Bereich saniert wird, entweder lokal durch punktuelle Reparaturschweißungen oder in einem größeren Umfang durch erneutes Cladding [3].

Eine Instandsetzungsmaßnahme einer verschlissenen Inconel-Schweißplattierung kann in Einzelraupen oder punktuellen Reparaturen durchgeführt werden oder auch größere Bereiche mit einem neuen Cladding abdecken. Eine Oberfläche mit einer Mischung aus Schweißplattierungsresten und freiliegendem Stahl kann ebenfalls mit einem neuen Cladding versehen

werden, aber es bildet sich eine wesentlich geringere Gefügequalität der entstehenden Gesamtfläche aus. Zudem kann auch das Gefüge eines *dünnen* Grundwerkstoffes negativ durch den Wärmeeintrag beeinträchtigt werden.

Regelmäßig werden Schicht- und Wanddickenmessungen und daraus resultierende Verschleißmappings in vielen europäischen Anlagen durchgeführt. Die Erhebung der ersten Stillstandsbeurteilung und eine Bestimmung der Verschleißraten entwickelt sich im Laufe der Zeit zu einem Werkzeug für die vorausschauende Instandhaltung, wenn allmählich substratnähere Bereiche des Claddings freigelegt werden.



Abbildung 4: Auch stark abgezehrtes Cladding kann durch lokale Reparaturschweißungen wieder instandgesetzt werden, das entstehende Gefüge ist von geringerer Qualität

6. Zusammenfassung und Ausblick

In den vorangegangenen Kapiteln wurde erläutert, wie verschiedene Einflussfaktoren an der Abzehrung durch Korrosion teilhaben. Davon sind wichtige Parameter, wie die Gefügequalität und Oberflächenhomogenität von Schweißplattierungen, auf einem hohen Niveau angekommen. Andere Einflussfaktoren, wie z.B. die Kessel- und Rohrwandgeometrie sind in diesem Zusammenhang noch nicht oder erst wenig in der Diskussion angekommen und unterliegen den Zwängen von Designhistorie und Erstellungskostendruck. Für das Verständnis von Korrosionsvorgängen und deren Abhilfe ist unabdingbar zu verstehen, dass immer ein Zusammenspiel von mehreren Ursachen zu einer „Problemzone“ rasch vorauseilender Abzehrung führt. Diese sind chemisches Inventar im Rauchgas, Belagsbildung, thermische Exposition, lokal hohe Wärmestromdichte und eine evtl. vorhandene primäre Gefügeschwäche. Sie können ein katastrophales Ergebnis im Vergleich zu einem relativ gut dastehenden Umfeld ergeben.



Abbildung 5: An einer horizontalen Verbindungsschweißnaht war lokal das Cladding bis zum Grundwerkstoff und teils auch letztgenannter bis zur Leckage abgezehrt; im Umfeld und auch strahlungsabgewandt war kaum Abzehrung erkennbar

Neben Stillstandsbefunden, langjährigem Monitoring und Beratung werden auch die Möglichkeiten der Werkstoffsonden für ein Kurzzeit-Monitoring und smartes Design von lokalen Problemstellen hinsichtlich Werkstoffwahl, Plattierungsdicke und Ausführung zur Verfügung gestellt.

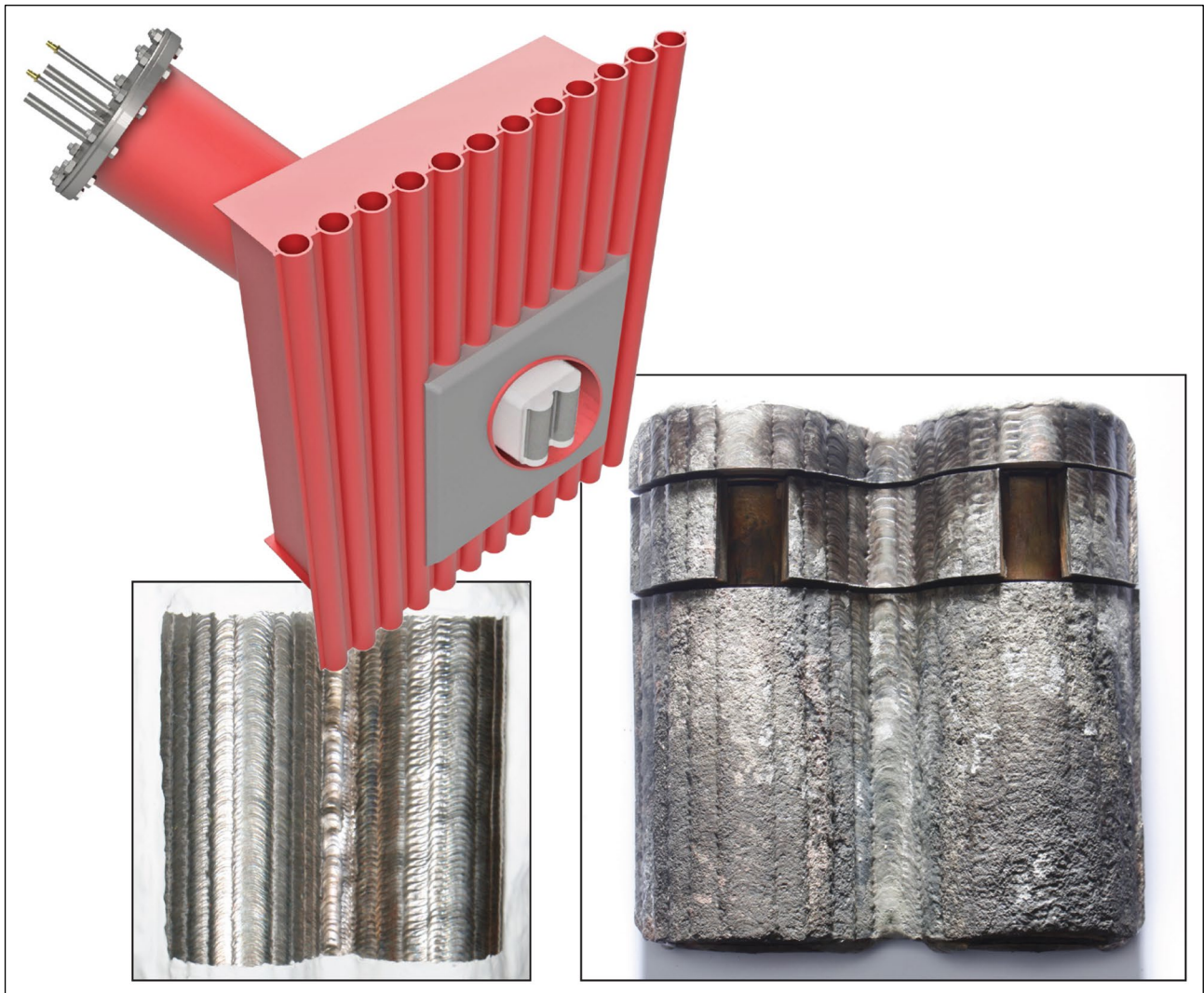


Abbildung 6: Test zweier verschiedener Claddingapplikatoren mittels der Rohrwandsonde; beide Claddingapplikatoren zeigen nach etwa 6.000 Bh flächige Abzehrungen mit lokalen Korrosionsmulden (insbesondere an Schweißraupenübergängen); die stärkste Abzehrung ist jeweils im Bereich der dem Feuer zugewandten Flanke vorhanden

7. Literatur:

- [1] Gerner, K.; Manzke, A.: Technischer Stand beim Cladding – Bedarfsgerechter Korrosionsschutz zur Lebensdauersteigerung. In: Thiel, S; Thomé-Kozmiensky, E.; Quicker, P; Gosten, A. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 17. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2020, S. 599-617
- [2] Schmidl, W.; Klotz, S.; Molitor, D.; Schneider, D.: Praktische Qualitätsbestimmung für Schweißplattierungen. In: Thiel, S; Thomé-Kozmiensky, E.; Quicker, P; Gosten, A. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 17. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2020, S. 619-626
- [3] Schmidl, W.; Klotz, S.; Molitor, D.; Schneider, D.: Sanierung von Claddingbestandsflächen in MVA. Abgerufen 14.04.2022, von <https://www.chemin.de/wp-content/uploads/2021/09/Sanierung-von-Cladding.pdf>
- [4] VdTÜV Merkblatt Schweißtechnik 1166 – Merkblatt zur Durchführung von Auftragschweißungen an Rohrwänden von Kesselanlagen (Ausgabe Mai 2019)

- [5] VGB Standard: Bau- und Montageüberwachung bei der Herstellung und Errichtung von Wasserrohrkesseln und zugehörigen Anlagen in Wärmekraftwerken (2. Ausgabe 2017)
VGB-S-013-00-2017-04-DE