

Dickschichtvernickelung – die Alternative – Langzeiterfahrungen –

Ralf Senff-Wollenberg, Johann-Wilhelm Ansey und Frank Reinmöller

1.	Die galvanische Vernickelung	490
1.1.	Verfahrensbeschreibung.....	490
1.2.	Eigenschaften der Nickelschicht	492
1.3.	Der Haftungsmechanismus zwischen Grundwerkstoff und Reinst-Nickelschicht.....	493
1.4.	Entwicklungsschritte im Fertigungsverfahren	494
2.	Einsatzmöglichkeiten in der Abfallverbrennung.....	495
3.	Betriebserfahrungen	496
4.	Zusammenfassung	501
5.	Quellen	502

Die ökologischen und energetischen Anforderungen an moderne Anlagen zur thermischen Nutzung von Abfällen steigen stetig. Neben geringen Investitionskosten sind heute hohe Wirkungsgrade, eine hohe Verfügbarkeit, lange Reisezeiten sowie geringe Betriebs- und Instandhaltungskosten wesentliche Faktoren für die Investitionsentscheidung. Für Instandhaltungsmaßnahmen sind die Reparaturkosten, die Dauer einer Reparatur sowie die Wirksamkeit und Nachhaltigkeit der Maßnahme von entscheidender Bedeutung. Die Brennstoffseite ist gekennzeichnet durch immer häufigere und stärkere Qualitätsschwankungen hinsichtlich Heizwert, Schadstoffgehalten und Verbrennungsverhalten. Das Feuerungsverhalten des Brennstoffes sowie die chemischen Inhaltsstoffe ändern sich seit Jahren zu ungünstigeren Bedingungen, was sowohl eine Herausforderung für die Feuerung als auch eine Änderung im Abzehrverhalten der Werkstoffe bedeutet.

Somit erhalten sowohl die verbleibenden Primärmaßnahmen zur Korrosionsminderung, d.h. die Ursache reduzierenden Maßnahmen, also i.W. die Feuerführung, der Kesselaufbau und die Kesselgeometrie als auch die sekundären Maßnahmen, d.h. die Auswirkungen reduzierenden bzw. unterbindenden Maßnahmen, also die Feuerfesten-Werkstoffe, das Cladding (Schweißplattieren), das Thermische Spritzen und die Dickschichtvernickelung eine wesentliche Bedeutung zur Erreichung der zuvor genannten Faktoren für die Investitions- oder Instandsetzungsentscheidung. Zu den Primärmaßnahmen aus unserem Hause haben wir in den Jahren 2009 [1] und 2011 [2] im Rahmen dieser Veranstaltung bereits vorgetragen.

Obwohl die ersten galvanischen Vernicklungsüberzüge bereits ab 1842 hergestellt wurden, ist die galvanische Dickschichtvernickelung von den genannten Sekundärmaßnahmen das jüngste Verfahren beim Einsatz in Anlagen zur thermischen Nutzung vor Abfällen.

Erste Erprobungen sowie die Patentierung (Patent DE 1010913 A) des Verfahrens wurden durch den Erfinder Herrn Johann-Wilhelm Ansey bereits ab dem Jahr 2000 durchgeführt. Wir, die Firma Baumgarte Boiler Systems entwickelt und investiert in die galvanische Dickschichtvernickelung, weil:

- Nickel sehr gute korrosionsschützende Eigenschaften hat,
- Nickel eine gute Wärmeleitfähigkeit besitzt,
- der Auftrag ohne große Hitze und somit quasi spannungsfrei erfolgt,
- die Nickelschicht eine atomare Verbindung mit dem Grundmaterial eingeht und somit gut haftet,
- sich eine glatte porenfreie Oberfläche bildet und somit mögliche Korrosionsangriffe in Mulden gemindert werden,
- sich eine porenfreie Reinst-Nickelschicht ohne Aufmischungen bildet,
- sich elektrolytisch beschichtete Flächen mit Reinst-Nickelauftrag sich relativ einfach verschweißen lassen,
- auch dünne Schichten (< 2 mm) einen guten und langfristigen Korrosionsschutz bieten und somit die Materialkosten gesenkt werden,
- die Nickelschicht durch zusätzliche Legierungsbestandteile auf besondere Einsatzbereiche angepasst werden kann.

Nach einer kurzen Beschreibung der galvanischen Vernickelung und der Einsatzmöglichkeiten in Abfallverbrennungsanlagen möchte ich hier die Betriebserfahrungen mit der Dickschichtvernickelung vorstellen.

1. Die galvanische Vernickelung

Galvanisieren ist eine Elektrolyse mit dem Ziel, Metalle oder andere leitende Materialien mit einer Metallschicht zu überziehen. Die edlere Metallschicht schützt so das relativ unedlere Metall gegen Oxidation und Korrosion.

1.1. Verfahrensbeschreibung

Bei der galvanischen Vernickelung wird durch ein elektrolytisches Bad Strom geleitet. Am Pluspol (Anode) (A) befindet sich das Metall (Nickel), das aufgebracht werden soll, am Minuspol (Kathode) der zu beschichtende Gegenstand (B). Der elektrische Strom löst dabei Metall-Ionen von der Verbrauchselektrode ab und lagert sie durch

Reduktion auf der Ware ab. So wird der zu veredelnde Gegenstand allseitig gleichmäßig mit Nickel beschichtet. Vor diesem Beschichtungsvorgang muss jedoch der zu beschichtende Gegenstand (z.B. das Rohr), mit Unterstützung von Strahldüsen, hochalkalisch bei rund 80 °C gereinigt werden und ein Beizprozess zur Aktivierung der Oberfläche durchgeführt werden. Bei stärker verschmutzten oder korrodierten Gegenständen muss die Oberfläche ggf. mittels Glasperlenstrahlen gereinigt werden. Sandstrahlen ist aufgrund möglicher Rückstände auf der Oberfläche nicht zu empfehlen. Je länger sich der Gegenstand im Bad befindet und je höher der elektrische Strom ist, desto stärker wird die Metallschicht.

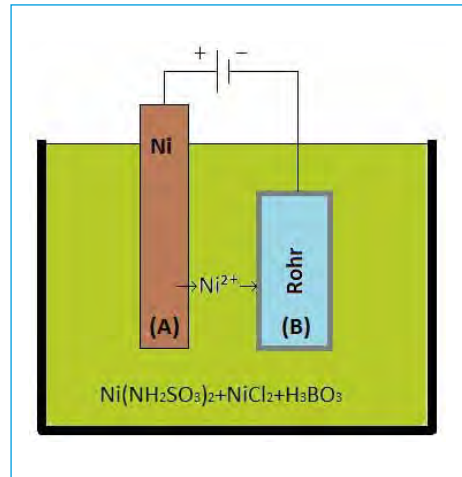


Bild 1: Schematische Darstellung der galvanischen Vernickelung

Auf die von uns vernickelten Druckteile wird Reinst-Nickel mit 99,98 % Nickel aufgetragen. Durch die galvanische Vernickelung bildet sich eine sehr homogene bzw. verunreinigungsarme Reinst-Nickelschicht (Bilder 2 bis 5).



Bild 2: Teilstück einer Rohr-Steg-Rohr-Wand

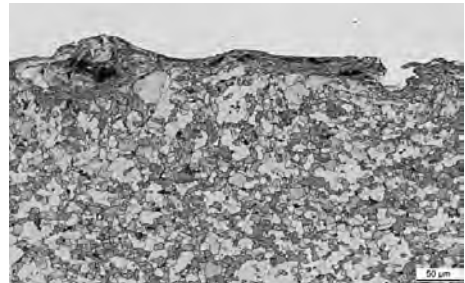


Bild 3: Detailaufnahme des Grundwerkstoffes, V=200:1

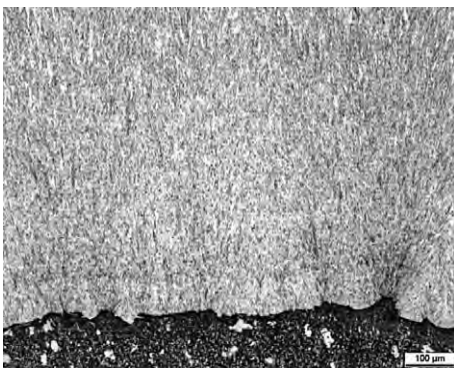


Bild 4: Übergangsbereich Grundwerkstoff zu Schicht, V=100:1

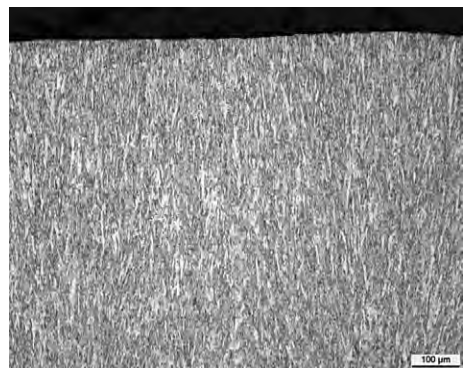


Bild 5: Randzone der Reinst-Nickelschicht, V=100:1

1.2. Eigenschaften der Nickelschicht

Nickel ist ein silbrig-weißes Metall, das mit einer Dichte von $8,9 \text{ g/cm}^3$ zu den Schwermetallen zählt. Es ist mittelhart (180 – 220 HV), schmiedbar und duktil. Der Schmelzpunkt liegt bei 1.453 °C . Nickel ist wie Eisen ferromagnetisch, wobei Nickel

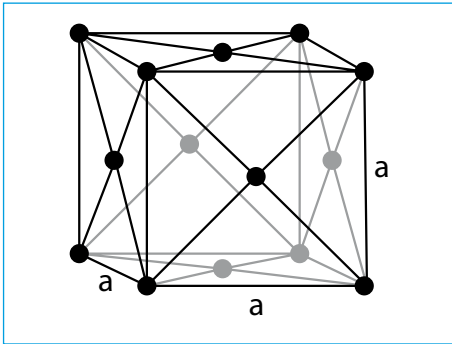


Bild 6: Kubisch flächenzentrierte Gitter

die ferromagnetischen Eigenschaften ab der Curie-Temperatur (354 °C) verliert. Das Metall kristallisiert in einer kubisch flächenzentrierten Kristallstruktur (Bild 6). Nickel ist bei Raumtemperatur gegen Luft, Wasser, Salzsäure und Laugen sehr beständig. Verdünnte Säuren greifen Nickel nur sehr langsam an. Gegen korrosiven Angriff ist Nickel weitestgehend resistent wohingegen die Beständigkeit gegen Erosion bei hohen Temperaturen eher gering ist.

Reinst-Nickel besitzt eine höhere Wärmeleitfähigkeit als die in Abfallverbrennungsanlagen sehr häufig eingesetzten Stahlsorten (P235GH und 16Mo3). Ein Vergleich mit den soeben genannten Stahlsorten und einem Inconel alloy 625, welcher häufig beim Cladding (Schweißplattieren) eingesetzt wird, zeigt Bild 7. Wie bei allen reinen Metallen ist die Wärmeleitfähigkeit stark vom Reinheitsgrad und von der Temperatur abhängig.

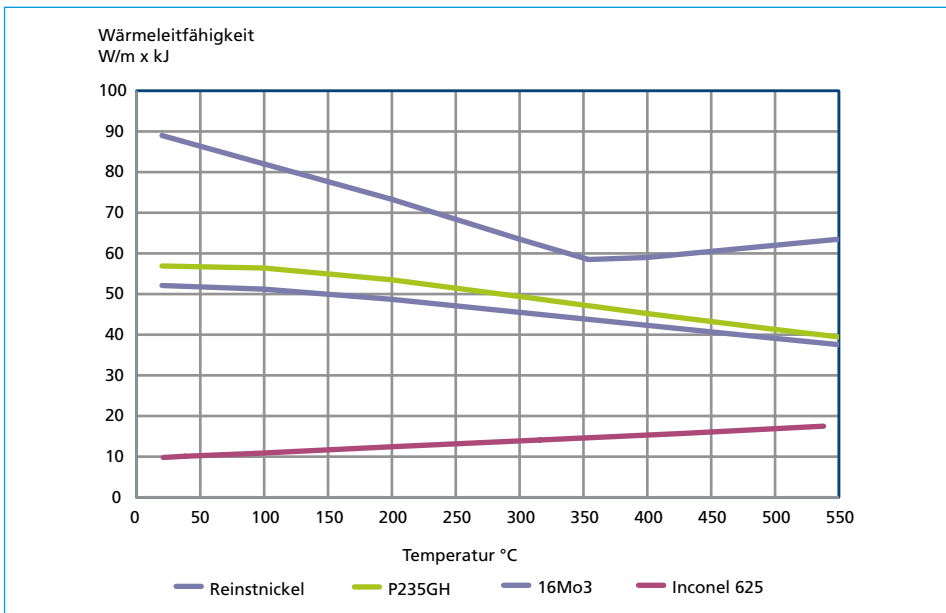


Bild 7: Wärmeleitfähigkeit von Nickel

Quellen: Stahlschlüssel; Verlag Stahlschlüssel Wegst GmbH, 2010; Reinstnickel, Merkmale und Anwendungshinweise; Isabelhütte Heusler GmbH & Co. KG

1.3. Der Haftungsmechanismus zwischen Grundwerkstoff und Reinst-Nickelschicht

Bei der galvanischen Vernickelung von Rohren und Rohr-Steg-Rohr-Wänden aus Stahl kommt es zu einer Metallbindung zwischen dem Stahl und der Reinst-Nickelschicht. Die bindende Wirkung kommt dadurch zustande, dass die von den Atomrümpfen abgegebenen Valenzelektroden energetisch mit allen positiven Atomrümpfen des Kristalls wechselwirken und dadurch eine metallische Bindungskraft hervorrufen [5].

Beim Weiterwachsen der Metallstruktur des Grundmaterials beim galvanischen Beschichten setzt sich diese metallische Bindung fort.

Die Größe der Haftkraft lässt sich theoretisch nicht beziffern. Eine klare Aussage zur Haftung von galvanischem Nickel lässt sich mittels einer Zugprobe gemäß EN ISO 9018 [6] erzielen. Hierzu wurde ein 10CrMo9-10 Stab mit 4 mm Reinst-Nickel beschichtet und diese Schicht anschließend unter Berücksichtigung einer Pufferzone mit einem LC Nickelprofil (2.4068 gemäß DIN 17752) verschweißt (Bild 8).

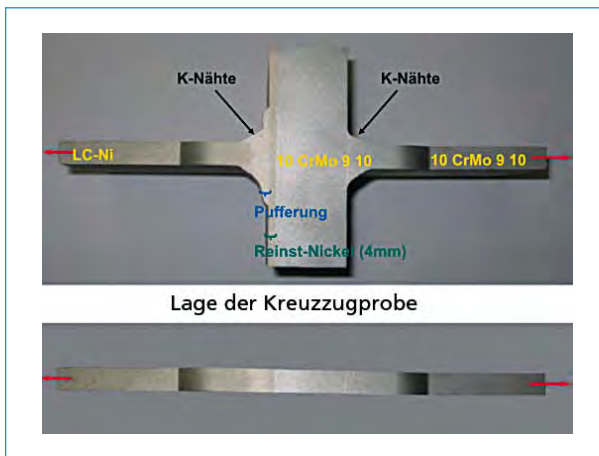


Bild 8:

Kreuzzugprobe

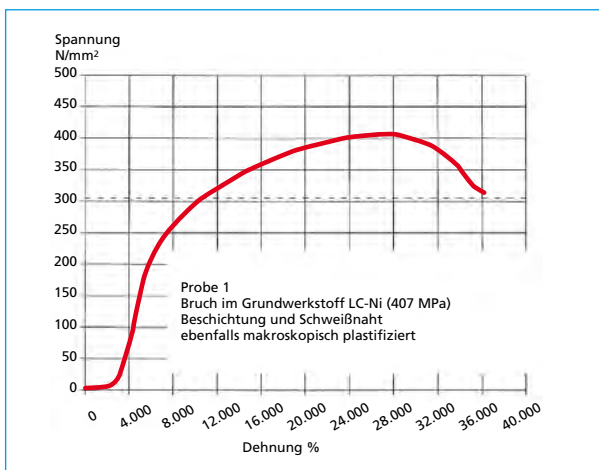


Bild 9:

Spannungs-Dehnungsdiagramm

Nach mechanischer Bearbeitung der Probe wurde der Probestab mittels Zugversuch geprüft und das in Bild 9 dargestellte Spannungs-Dehnungsdiagramm aufgezeichnet. Der Bruch der Probe (Bild 10) erfolgt im Grundwerkstoff LC-Ni. Die Bindung zwischen der Nickelschicht und dem Stahl ist bei 407 N/mm^2 vollkommen intakt.



Bild 10: Probe nach Zugversuch

Ein solcher Nachweis zeigt u.E. sehr eindeutig, dass es sich bei der galvanischen Vernickelung um einen bezüglich der Haftung belastbaren Auftrag handelt. Weder eigenständiges Ablösen noch Einflüsse aus mechanischen Beanspruchungen auf die Verbindung lassen ein Ablösen der Nickelschicht erwarten.



Bild 11: Reinst-Nickel beschichtete Flachkokille

Ein weiteres Anwendungsbeispiel für die galvanische Dickschichtvernickelung ist die Beschichtung von Flach- und Rohrkokillen (Bild 11) in Gießanlagen der Stahlindustrie zur Erhöhung der Standzeit solcher Kokillen. Hier wird die Reinst-Nickelschicht schlagartig mit sehr hohen Temperaturen (etwa $1.500 \text{ }^\circ\text{C}$) beaufschlagt. Bei diesen extremen Bedingungen beweist die Nickelschicht neben der guten Haftkraft auch ihre gute Wärme- und Thermoschockbeständigkeit.

1.4. Entwicklungsschritte im Fertigungsverfahren

Bereits im Jahr 2001 haben wir uns mit dem Thema der Korrosionsminderung in Müllverbrennungsanlage (MVA's) beschäftigt und mit ersten Versuchen der galvanischen Dickschichtvernickelung von Einzelrohren begonnen. Also zunächst mit einer geometrisch einfachen Form.

Die ersten galvanischen Vernickelungen brachten gute Ergebnisse hinsichtlich Schichtaufbau, Schichtdicke, Haftung und Oberfläche. Unmittelbar nach diesen positiven Erkenntnissen wurden die ersten Rohr-Steg-Rohr-Wände mit einer Länge bis zu 1,5 Meter vernickelt. Hier zeigte sich, dass die gewünschten gleichmäßigen Beschichtungsdicken von 1,5 – 2 mm auf dem Rohr und etwa 1 mm auf dem Steg nicht erzielt wurden. Die größte Schichtdicke von bis zu 4 mm bildete sich erwartungsgemäß auf dem Scheitelpunkt des Rohres und reduzierte sich konstant bis zum Steg. Auf dem Steg stellten sich Schichtdicken von 0,5 – 0,8 mm ein. Das sicherlich gute Streuverhalten

des verwendeten Elektrolyten reichte also nicht aus um diese Effekte zu kompensieren. Durch eine geänderte Anodenform und -anordnung konnten diese Schichtdickenschwankungen weitestgehend homogenisiert werden.

Heute erzielen wir die gewünschten Wandstärken bei kurzen Rohr-Steg-Rohr-Wänden mit einer Toleranz von $\pm 0,3$ mm.

Seit Anfang 2008 optimieren wir die Vernickelung von Paneelen (Rohr-Steg-Rohr-Wänden) mit 6 Meter Länge und rund 900 mm Breite. Die ersten Ergebnisse waren enttäuschend. Sowohl die Schichtdickenverteilung in horizontaler und vertikaler Richtung als auch die Oberflächenqualität waren nicht akzeptabel. Danach wurde in mehreren Entwicklungsstufen das Verfahren kontinuierlich optimiert.

Es wurde sowohl die Energieeinbringung, die Badbewegung, die Anodenanordnung und -form geändert bzw. optimiert sowie spezielle Masken und Abdecktechniken eingesetzt. Im Jahre 2010 wurden die ersten, nach unseren Maßstäben akzeptablen Paneele dieser Größe hergestellt. Weitere Optimierung nach 2010 an oben genannten Parametern haben weitere Verbesserungen gebracht, so dass wir in 2011 eine Fläche von rund 40 m^2 (10 Paneele) ohne Nachbesserungen oder Nachfertigungen mit Toleranzen von $\pm 0,4$ mm reproduzierbar herstellen konnten. Mit dieser technischen Entwicklung haben wir eine wesentliche Stufe erreicht und den praktischen Nachweis erbracht, dass galvanische Vernicklungen von 6 Meter Paneelen wirtschaftlich realisierbar sind.

Die weitere Entwicklung wird sich schwerpunktmäßig auf die Fertigung noch größerer Wände beziehen. Eine verfahrenstechnische Begrenzung hinsichtlich der Paneelgröße gibt es im Prinzip nicht.

2. Einsatzmöglichkeiten in der Abfallverbrennung



Bild 12: Galvanisch vernickelte Verdampferharfe

Die Einsatzmöglichkeiten von galvanisch vernickelten Bauteilen sind weitestgehend identisch mit den anderen im Markt angewandten Verfahren, also dem Cladding (Schweißplattieren) und dem Thermischen Spritzen. Es können sowohl komplexe Formen, wie die im nebenstehenden Bild dargestellte Verdampferharfe vernickelt werden als auch Rohre oder Rohr-Steg-Rohr-Wände. Nach der Vernickelung können die Bauteile ohne Schädigung der Reinst-Nickelschicht gebogen bzw. verformt werden.

Typische Einsatzfelder für die galvanische Vernickelung sind also die Verdampferheizflächen der Leerzüge und die Überhitzer- und Verdampferrohre.

3. Betriebserfahrungen

MVA, Rugenberger Damm

Bereits im Jahr 2003 wurden die ersten Versuchsflächen und Rohre (ab 2000) in den Kessel der MVA Rugenberger Damm eingebaut. Hierbei handelte es sich um drei kleinere Flächen (etwa 1 m²) im Feuerraum in unterschiedlichen Höhen und einige Rohre im Überhitzer und Verdampferbereich. Diese Flächen wurden mit *normalen* Anodenkästen vernickelt und waren noch nicht auf dem heutigen Stand bezüglich der gewünschten Schichtdicken.

Die auf diesen Wänden aufgetragenen Nickelschichten sind wesentlich dünner als die zuletzt gefertigten Wände für die Anlage in Belgien. Die Schichtdicke betrug 1,5 mm auf den Rohren und etwa 0,3 mm auf den Stegen. Also ein Verhältnis von 5 : 1. Die eingebauten Testflächen sind bis heute im Einsatz. Erst in diesem Jahr zeigten sich erste Anzeichen einer Abzehrung an der lediglich 0,3 mm dicken Schicht im Stegbereich. Bei den galvanisch vernickelten Rohren waren die Verschmutzungen wesentlich geringer als an nicht beschichteten Rohren [7] [8]. Einige Rohre wurden im direkten Wirkungsbereich von Rußbläsern eingebaut. Hierdurch wurden erhebliche Abzehrungen der Nickelschicht verursacht [7] [9].

EBS-Anlage, Amsdorf

Im Jahr 2005 wurde ein galvanisch vernickeltes Überhitzerrohr in die dampfseitig letzte Reihe des Überhitzers eingebracht. Der Überhitzer ist im Gleichstrom geschaltet. Somit treten hier die höchsten Oberflächentemperaturen im gesamten Kessel auf. Der Einbauort und das Kesseldesign sind in Bild 13 dargestellt.

Die Anlage hat folgende Technische Daten:

Heizwert (min./max./nom.):	11,0 / 15,0 / 13,0 MJ/kg
Feuerungswärmeleistung:	28 MW
Dampfleistung:	30,0 t/h
Dampfdruck:	40 bar(a)
Dampftemperatur:	400 °C
Inbetriebnahme:	2004

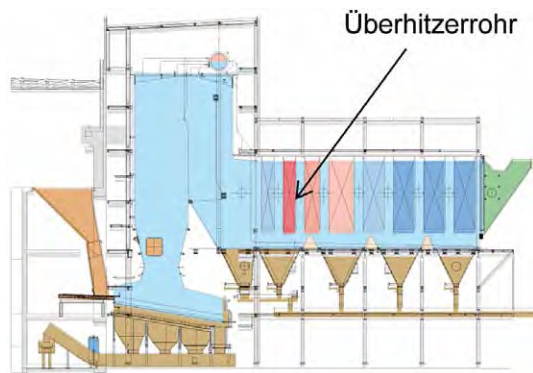


Bild 13: Kesseldesign EBS-Anlage Amsdorf

Ende November 2012 wurde das Rohr nach rund 7jährigem Betrieb bzw. 61.174 Betriebsstunden demontiert und erneut die Wandstärken gemessen. Es wurden keine Abzehrungen an dem galvanisch vernickelten Rohr (Schichtdicke rund 2 mm) gemessen. Der nicht beschichtete Bereich dieses Rohres zeigte jedoch auch nur Abzehrungen von 0,2 bis 0,3 mm.

Das bedeutet auf der einen Seite, dass die getroffenen Primärmaßnahmen, also i.W. die Feuerführung und das Kesseldesign zur Korrosionsvermeidung, hier sehr gut funktionieren und das Korrosionspotential des Brennstoffes vermutlich nicht sehr hoch ist. Auf der anderen Seite wurde hier der Nachweis erbracht, dass die galvanisch vernickelte Schicht langfristig in Bereichen mit Abgastemperaturen zwischen 600 und 700 °C sowie Dampftemperaturen von gut 400 °C eingesetzt werden können. In diesen Bereichen ist eine Oberflächentemperatur des Reinstnickel von 420 bis 450 °C zu erwarten.

EBS-Anlage, Belgien

In 2008 wurde eine Paneele von 1,3 Meter Höhe für die Rück- bzw. Zwischenwand des ersten Zuges galvanisch vernickelt und oberhalb der Ausmauerungsgrenze auf etwa 23 m in den ersten Zug mit der Kesselmontage eingebaut. Hierbei handelt es sich um einen stark korrosionsgefährdeten Bereich.

Die Anlage hat folgende Technische Daten:	
Heizwert (min./max./nom.):	11,0 / 18,0 / 15,0 MJ/kg
Feuerungswärmeleistung:	70 MW
Dampfleistung:	80,3 t/h
Dampfdruck:	42,0 bar(a)
Dampftemperatur:	402 °C
Inbetriebnahme:	2009

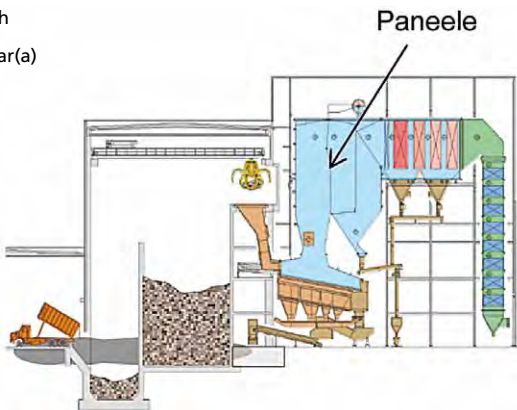


Bild 14: Kesseldesign EBS-Anlage, Belgien

Die galvanisch vernickelte Fläche hatte eine Größe von 1,3 x 7,4 Meter (Bild 15). Durch eine vertikale Beschichtung mit besonderer Anodenform wurden die gewünschten Wandstärken von etwa 2 mm auf dem Rohr und etwa 1,5 mm auf dem Steg erreicht (Bild 16).

Im April 2012 wurde die Ausmauerungsgrenze um etwa 1,5 Meter im Niveau abgesenkt und die Fläche von der Ausmauerungsgrenze bis zum oberen Sammler (Übergang 2. Zug) mit einer, nach dem aktuellen Stand der Entwicklung hergestellten, galvanisch vernickelten Rohr-Steg-Rohr-Wand bestückt. Somit wurde eine Fläche von rund 40 m² in einem Stillstand von 14 Tagen ausgetauscht.

Diese Paneel-Wände wurden nach der galvanischen Vernickelung im oberen Bereich um 15° gebogen (Bild 17). Untersuchungen der Oberfläche nach dem Biegen zeigten keine Beschädigungen der vernickelten Flächen. Die Verarbeitung erfolgte analog zu gecladdeten Paneelwänden.

In der Anlage befinden sich heute noch rund 2 m² galvanisch vernickelte Paneele mit über 30.000 Betriebsstunden und weitere rund 40 m² mit rund 5.000 Betriebsstunden. Wir werden hier die weitere Entwicklung intensiv beobachten und gerne auch zukünftig über die Betriebserfahrungen berichten.

GKS Schweinfurt

Im Februar 2009 wurde im GKS Schweinfurt ein Testpaneel in Höhe der Ausmauerungsgrenze des ersten Zuges eingebaut (Bild 18). Wegen der zu diesem Zeitpunkt noch nicht vollständig gelösten Herstellungsfragen für lange Paneele wurde entgegen dem ursprünglichen Vorhaben, eine 6 Meter lange galvanisch vernickelte Paneele in die Rückwand des Feuerraumes oberhalb der Ausmauerungsgrenze einzubringen, diese kleinere Paneele eingesetzt. Diese Testfläche zeigte nach einjährigem Betrieb (etwa 8.000 Betriebsstunden) keinerlei Anzeichen einer Abzehrung.



Bild 18: Testfläche, rechte Seitenwand

Bis Anfang 2010 wurde das Fertigungsverfahren optimiert und die 6 Meter Paneele hergestellt. Es konnte eine Verbesserung in der Rauigkeit der Oberfläche erreicht werden. Jedoch gelang es nicht die gewünschten, gleichmäßigen Schichtdicken einzustellen. Durch das gewählte Verfahren (Anodenanordnung, Blendentechnik usw.) ergaben sich Schwankungen in der Dicke der aufgetragenen Nickelschicht von 1,5 bis 4,5 mm. In Abstimmung mit unserem Kunden wurden diese Paneelwände im Februar 2010 eingebaut (Bilder 19 bis 23). Insgesamt wurde eine Fläche von etwa 12 m² eingebaut.

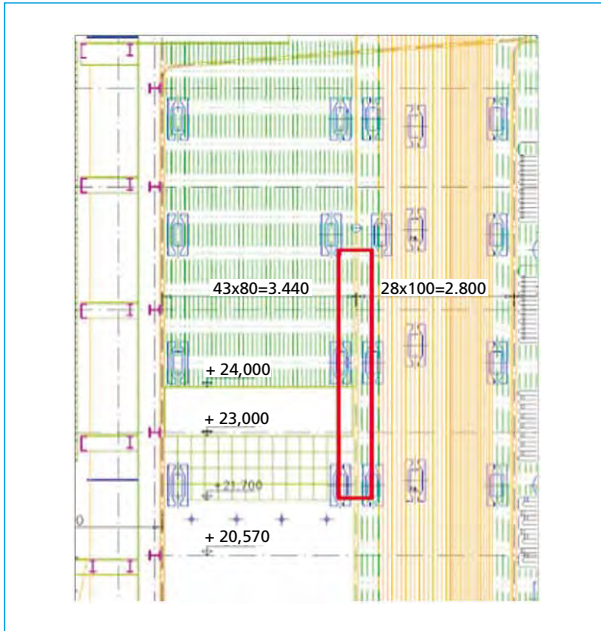


Bild 19:

Einbaulage der dickschichtvernickelten Wand



Bild 20: Anschluss an Inconel-Wände



Bild 21: Panelstoß an Alt-Inconel



Bild 22: Vernickelung von Stegnähten

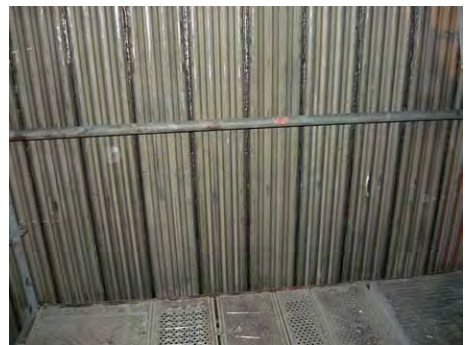


Bild 23: Trennwand

Quelle für Bilder 19 bis 23: Müller, V.: Erfahrungen mit neuen Werkstoffen; VDI Wissensforum; 13.06.2012; Bremen

Bei der letzten Inspektion im März 2012 (nach etwa 16.000 h) konnten, wie im Vorjahr, keine Abzehrungen oder Korrosionsschäden festgestellt werden.

Im Rahmen der Revisionen waren lediglich einige Nachbesserungen an den Montagestößen, wegen mangelhafter Ausführung der Schweißarbeiten, erforderlich. Nach Kenntnis dieses Mangels haben wir das angewendete WIG-Schweißverfahren (141 Wolfram Inertgas) optimiert und mit einem MIG-Verfahren (131 Metall Inertgas) eine wirtschaftlichere Alternative geschaffen.

4. Zusammenfassung

Dass Nickel in einer sehr reinen Form ein sehr guter Werkstoff für den Korrosionsschutz von abgasberührten Druckteilen dargestellt, ist sicher unbestritten. Die mittlerweile fast 10jährigen Betriebserfahrungen mit der galvanischen Dickschichtvernickelung untermauern auch, dass unter anspruchsvollen Betriebsbedingungen sehr hohe Standzeiten erzielt werden können. Eine Ausnahme bildete hier noch der Einsatz von galvanisch vernickelten Druckteilen im Bereich von Rußbläsern.

Die zu Anfang genannten zum Teil theoretischen Gründe für einen möglichen Einsatz von Nickel zum Korrosionsschutz in MVA- und insbesondere EBS-Anlagen konnten im praktischen Langzeitbetrieb nachgewiesen werden.

Die porenfreie Reinst-Nickelschicht ohne Eisenaufmischungen spielt auch unter schwierigsten Bedingungen seine sehr guten korrosionsschützenden Eigenschaften voll aus und kann bei Wärmeübertragungsrohren durch seine gute Wärmeleitfähigkeit problemlos eingesetzt werden. Die Nickelschicht haftet, durch seine atomare Verbindung mit dem Grundmaterial, extrem gut und bildet eine glatte Oberfläche ohne Mulden. Die Kesselverschmutzung sinkt durch den Einsatz von abgasberührten galvanisch vernickelten Druckteilen.

Der Weg bis zur einsatzfähigen größeren Rohr-Steg-Rohr-Wand war schwierig, anspruchsvoll und mit Rückschlägen behaftet. Durch die in den letzten Jahren erzielten Verbesserungen bzw. Modifikationen im Fertigungsprozess sowie eine verbesserte (wirtschaftlichere) Schweißtechnik wurden aber letztendlich durchweg positive Ergebnisse erzielt.

Auch im Punkt Wirtschaftlichkeit ist die galvanische Dickschichtvernickelung zu den anderen im Markt angewandten Verfahren wettbewerbsfähig. Zudem kann eine Nickelschicht durch zusätzliche Legierungsbestandteile auf besondere Einsatzbereiche angepasst werden und bietet somit ein breites Einsatzspektrum.

5. Quellen

- [1] Eckardt, J.; Grüner, G.: Das Baumgarte Konzept für Abfälle – Rost und Kessel als Einheit. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 6. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009 S. 79-95
- [2] Eckardt, J.: Anlagentechnik zur thermischen Verwertung von Abfällen – Einflussgrößen für die optimale Auslegung und den bedarfsgerechten Anlagenbetrieb. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 6. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011 S. 237-245
- [3] Stahlschlüssel; Verlag Stahlschlüssel Wegst GmbH, 2010
- [4] Reinstnickel, Merkmale und Anwendungshinweise; Isabellenhütte Heusler GmbH & Co. KG
- [5] Unruh, J.N.M.: Lehrbuch für Galvaniseure und Verfahrenmechaniker für Beschichtungstechnik (Lernstufe 1); Eugen G. LEUZE VERLAG, 2004
- [6] EN ISO 9018:2003; Zerstörende Prüfung von Schweißverbindungen an metallischen Werkstoffen – Zugversuch am Doppel-T-Stoß und Überlappstoß
- [7] Ansey, J.-W.: Elektrolytisch beschichtete Rohre und Komponenten in Müllverbrennungs- und Kraftwerksanlagen zum Schutz gegen Korrosion. VGB Power Tech, 6; 2003; S. 88-93
- [8] Simon, R.; Christ, A.; Deutsch, D.; Weiher, R.: Untersuchung von Biomasse- und Altholz(heiz) kraftwerken im Leistungsbereich 5 bis 20 MWel zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit. Transferstelle für Rationelle und Regenerative Energienutzung Bingen; Abschlussbericht Phase 1; 2008, S. 170-171
- [9] Martin, K.-U.; Albert, W.: Korrosionsschutz von Kesselrohrwänden – Keramische Feuerschutzsysteme und metallische Beschichtungssysteme. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 6. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, S. 547-563
- [10] Müller, V.: Erfahrungen mit neuen Werkstoffen; VDI Wissensforum; 13.06.2012; Bremen

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Energie aus Abfall – Band 10

Karl J. Thomé-Kozmiensky, Michael Beckmann.

– Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2013

ISBN 978-3-935317-92-4

ISBN 978-3-935317-92-4 TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

Copyright: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky
Alle Rechte vorbehalten

Verlag: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky • Neuruppin 2013

Redaktion und Lektorat: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky,

Dr.-Ing. Stephanie Thiel, M.Sc. Elisabeth Thomé-Kozmiensky

Erfassung und Layout: Petra Dittmann, Sandra Peters,

Martina Ringgenberg, Ginette Teske, Ulrike Engelmann, LL. M., Ina Böhme

Druck: Mediengruppe Universal Grafische Betriebe München GmbH, München

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.