

GEFÖRDERT VOM



**Bundesministerium
für Bildung
und Forschung**

Schlussbericht für das BMBF-Verbundprojekt

**„ SubsTungs- Substitution von Wolfram in
Verschleißschutzschichten“**

Teilvorhaben der Fa. EMAG eldec

**Maschinen- und steuerungstechnische Voraussetzungen der
Beschichtungsherstellung**

**Projektträger Jülich
Forschungszentrum Jülich GmbH**

Schlussbericht

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| Zuwendungsempfänger: EMAG eldec Induction GmbH Otto-Hahn-Straße 14 D - 72280 Dornstetten Projektleiter: Dr. -Ing. Christian Krause | Förderzeichen: 03X3584 F |
| Vorhabenbeschreibung: Substitutions – Substitution von Wolfram in Verschleißschutzschichten Teilprojekt der EMAG eldec Induction GmbH | |
| Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2013 – 31.05.2016 | |
| Berichtszeitraum: 01.06.2013 – 31.05.2015 | |

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 03X3584F gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.



EMAG eldec Induction GmbH
 Otto-Hahn-Straße 14
 D-72280 Dornstetten

Fon: +49 (0)7443-9649-6910

Dornstetten, November 2016

Gliederung

Inhalt

| | | |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 | Kurze Darstellung | 1 |
| 1.1 | Aufgabenstellung..... | 1 |
| 1.2 | Voraussetzungen unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde | 2 |
| 1.3 | Planung und Ablauf des Vorhabens | 3 |
| 1.3.1 | Planung..... | 3 |
| 1.3.2 | Ablauf..... | 5 |
| 1.4 | Wissenschaftlicher technischer Stand | 6 |
| 1.4.1 | Erkenntnisstand | 6 |
| 1.4.2 | Fachliteratur | 7 |
| 2 | Eingehende Darstellung | 9 |
| 2.1 | Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele | 9 |
| 2.1.1 | Zuwendungen und Ausgaben | 9 |
| 2.1.2 | Ziele und Ergebnisse | 9 |
| 2.2 | Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises..... | 14 |
| 2.3 | Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit..... | 14 |
| 2.4 | Nutzen und Verwertbarkeit im Sinne des Verwertungsplans..... | 14 |
| 2.5 | Während der Durchführung bekannt gewordene Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens an anderen Stellen..... | 14 |
| 2.6 | Erfolgte und geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse..... | 15 |
| 3. | Kurzgefasster Erfolgskontrollbericht | 16 |
| 3.1 | Beitrag zu den förderpolitischen Zielen | 16 |
| 3.2 | Wissenschaftlich-technische Ergebnisse mit Nebenergebnisse..... | 16 |
| 3.3 | Fortschreibung der Verwertungsplans..... | 16 |
| 3.4 | Arbeiten die zu keiner Lösung geführt haben | 17 |

| | | |
|-----------|-------------------------------------|-----------|
| 3.5 | Einhaltung der Kosten | 17 |
| 4. | Document Control Sheet | 18 |

1 Kurze Darstellung

1.1 Aufgabenstellung

Bei extremem Abrasionsverschleiß, wie er im Umgang mit mineralischen Gütern häufig auftritt, haben sich auftraggeschweißte Hartverbundschichten bewährt. Deren hoher Verschleißwiderstand beruht darauf, dass harte Wolframkarbide (WC oder WC/W₂C) in hohen Gehalten (bis zu 40 Vol. %) einer metallischen Matrix auf meist Ni-Basis zugegeben werden. Die Wolframkarbide stellen sich furchenden mineralischen Partikeln in den Weg und sind aufgrund ihrer hohen Härte, bei gleichzeitig hoher Bruchzähigkeit für den Verschleißwiderstand und die daraus resultierende Lebensdauer von Verschleißteilen verantwortlich. Da Wolfram gemäß mehrerer Studien zu den kritischen Rohstoffen gehört, ist das Gesamtziel des vorliegenden Verbundvorhabens die Entwicklung hochverschleißbeständiger wolframfreier Auftragschweißlegierungen, in denen Wolframkarbid durch andere in Europa verfügbare und zugleich kostengünstige Hartstoffe ersetzt wird, wobei auch die bisher verwendeten Ni-Matrices durch Fe-Basis-Matrices substituiert werden sollen. Ermöglicht werden soll dies durch den Einsatz von Hartstoffen wie Siliziumkarbid (SiC) oder Aluminium- bzw. Silizium-Oxide. Zum Erreichen einer optimalen chemisch/physikalischen Bindung zwischen den Metallmatrixen und den Partikeln werden letztere von funktionalen Schichten ummantelt. Diese Schichten wirken bei metastabilen Hartstoffen, wie z.B. SiC, einer Auflösung (Diffusionssperrschicht) entgegen und bewirken bei ionisch gebundenen Hartstoffen, wie z.B. SiO₂, eine stoffschlüssige Einbindung in die Metallmatrix.

Neben der chemischen, thermischen und mechanischen Kompatibilität zwischen Bauteil, Füllstoff und Matrix, besitzen sowohl die Dichte der Hartstoffe als auch die Viskosität der Matrix und die Erstarrungsbedingungen einen Einfluss auf die Schichteigenschaften.

Die Fa. EMAG eldec beschäftigt sich mit dem Bau von Generatoren und Induktoren für das Erwärmen/ Härten von Materialien. Des Weiteren ist sie Patenthalter der SDF-Technologie. Ihre Aufgabe ist eine auf die neue InduClad-Technologie abgestimmte Induktionsanlagentechnologie zu entwickeln. Hierzu stellte die Fa. EMAG eldec die gerätetechnischen und steuerungstechnischen Voraussetzungen für die Beschichtungsherstellung. Hierzu kam es bei der Fa. EMAG eldec zu der Fertigung und Entwicklung des Generators, der Steuerung und deren Integration.

Auch erfolgte die Durchführung von Versuchen und Unterstützung bei der Herstellung der Demonstratoren.

1.2 Voraussetzungen unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

In dem Konsortium sind alle notwendigen Kompetenzen vertreten. Beginnend von Forschungseinrichtungen über Hersteller der Verschleißschutzwerkstoffe bis hin zum Anwender. Die Kooperationsvereinbarung wurde zwischen folgenden Firmen und Forschungseinrichtungen abgeschlossen.

Forschungseinrichtungen:

- Ruhr-Universität Bochum (LWT), Universitätsstraße 150, 44780 Bochum
- BTU Cottbus – Senftenberg (F/T) , Großenhainer Straße 57, 01968 Senftenberg

Industriepartner:

- EMAG eldec Induction GmbH, Otto-Hahn-Straße 14, 72280 Dornstetten
- DURUM Verschleißschutz GmbH, Carl-Friederich-Benz-Str. 7, 47877 Willich
- Reiloy Metall GmbH, Spicher Straße 46-48, 53839 Troisdorf
- RWE Power AG, Frechener Str. 12, 50226 Frechen
- Impuls Verschleißtechnik GmbH, Spremberger Str. 37, 01968 Senftenberg
- Vattenfall Europe Mining AG, Calauer Straße 71, 03048 Cottbus

Der Generator ist das Herzstück der Anlage. In den realisierten Vorversuchen war festzustellen, dass der Hochfrequenzanregung bei der Beschichtungsherstellung eine größere Bedeutung zukommt als der Mittelfrequenz. Zurückzuführen ist dieses Phänomen auf die magnetische Reaktion der Fe-haltigen Matrix. Es ist zwingend, die Erwärmung der herzustellenden Schicht über den Grundwerkstoff zu führen. Ist die Temperatur der Matrix größer als die Curie-Temperatur (bei Fe $T=768^{\circ}\text{C}$), dann kann der Prozess kontinuierlich realisiert werden. Die Fe-haltige Matrix wird nicht mehr vom Induktor angezogen. Die Temperatur der Matrix muss ca. 3 bis 5 mm vor dem

Induktor die Curie-Temperatur überschreiten. Unter Berücksichtigung dieser Randbedingungen gilt es die Erwärmung zum Prozessbeginn sehr schnell über den Grundwerkstoff einzubringen, da bei einer längeren Aufheizzeit mehr Wärme in den Grundwerkstoff hineinfließt. Das Ziel besteht aber darin nicht den Grundwerkstoff, sondern die Pulverschüttung intensiver in Beschichtungsrichtung hin zu erwärmen. Dies kann vorteilhafter Weise mit einer Mittelfrequenzanlage erfolgen, da die Eindringtiefe deutlich größer als bei HF-Anlagen ist. Es bietet sich somit an, für den InduClad-Prozess eine Zweifrequenzanlage zu entwickeln. Zu Beginn wird mit der Mittelfrequenz und folgend mit der HF gearbeitet. Hierfür existieren bei der Fa. EMAG eldec beste Voraussetzungen. Es gilt nun, diese auf den konkreten Prozess zu überführen.

Die Dimensionierung erfolgt mit der Zielstellung, die Abschmelzleistung vom FD-Prozess (ca. 10 kg/h) auch mittels InduClad zu erreichen. Es gilt somit zunächst die Wärmemenge Q gemäß Gleichung (1) mit den Temperaturvorgaben (T_2) der Projektpartner LWT und Reiloy zu berechnen, um folgend über die Zeit, die Leistung P (2) zu bestimmen.

$$Q = m * c(T) * (T_2 - T_1) \quad (1)$$

$$P = \frac{Q}{t} \quad (2)$$

Damit ist die Beschichtungsleistung bekannt. Um nun die zu installierende Leistung zu ermitteln, muss der Wirkungsgrad bestimmt werden. Hierin werden die Wärmestrahlung, die Konvektion und die -leitung berücksichtigt. Die Fa. EMAG eldec verfügt hierbei über Jahre der praktischen und theoretischen Erfahrung auf diesem komplexen Fachgebiet.

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

1.3.1 Planung

Die Aufgaben die von der Fa. EMAG eldec bearbeiteten wurden sind in Tabelle 1.1 aufgeführt.

Meilenstein 2**31.10.2014**

Wichtig für den Einsatz und die Erprobung der neuen Werkstoffe und Werkstoffkonzepte ist die ausreichende Bereitstellung von beschichteten Hartstoffen und Matrixpulvern bzw. Fülldraht für die einzelnen Projektpartner. Dieser Meilenstein wurde nach 18 Monaten, ausgehend vom Projektbeginn, abgeschlossen. Die Überprüfungskriterien sind nachfolgend aufgelistet:

- Reproduzierbare Herstellung von beschichteten Hartstoffpartikeln im Labormaßstab (1,6 kg; ausgehend von der Dichte von $5 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$); Hartstoffbeschichtung muss mindestens mit einem Beschichtungsverfahren (CVD oder PVD) erfolgreich umgesetzt worden sein.
- Es muss eine geeignete, schweißbare Hartlegierung auf Fe-Basis entwickelt und durch Gasverdüsen hergestellt worden sein (25 kg).
- Aus beiden Ausgangswerkstoffen erfolgte die Herstellung eines Schweißzusatzwerkstoffes.

Meilenstein 3**30.11.2015**

Die Beschichtung von Bauteilen mittels MSG, PTA, Autogenschweißen, InduClad und UP ist abgeschlossen. Der Versuchseinsatz der jeweiligen Demonstratoren wird vorbereitet. Diesem Arbeitspaket schließen sich sowohl die kontinuierliche Nachuntersuchung der im Einsatz befindlichen Demonstratoren als auch die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung an. Nur die Bewertung des Einsatzverhaltens der Demonstratoren, gekoppelt mit der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung, ermöglicht erst die Bewertung des Projektergebnisses. In einem nächsten Schritt werden auf der Basis des generierten Wissens die Zusammenfassung der Ergebnisse vorbereitet und die Daten erneut mit den Projektpartnern abgeglichen.

1.3.2 Ablauf

Das Projekt war auf eine Dauer von 3 Jahren angesetzt. Es wurde im Juni 2013 gestartet und am 31.05.2016 abgeschlossen.

Die Arbeiten erfolgten gemäß dem Zeitplan. Zur Abstimmung der Projektpartner und zu dem Herstellen von analogen Kenntnisständen fanden in regelmäßigen Abständen Projekttreffen statt.

1.4 Wissenschaftlicher technischer Stand

1.4.1 Erkenntnisstand

Allgemein wird die Reibung als Ursache für das Auftreten von Verschleiß bezeichnet. Definitionsgemäß ist Festkörperverschleiß die infolge Reibung eintretende, bleibende Stoff- oder Formänderung der oberflächennahen Bereiche von festen Körpern. Gelingt es nicht, die Reibung als Ursache für den Verschleiß zu reduzieren, können Verschleißschutzmaßnahmen wie das Auftragschweißen helfen, Prozesse wirtschaftlich zu gestalten. Das Fülldrahtschweißen oder auch das Plasma-Pulver-Auftragschweißen sind etablierte Technologien zur Herstellung verschleißbeständiger Schichten. Ein grundsätzliches Problem der Schmelzschweißverfahren ist die nur sehr begrenzte Möglichkeit, den Energieeintrag zu steuern. Der Energieeintrag ist hinsichtlich folgender Aspekte bedeutend:

1. Aufmischung mit dem Grundwerkstoff (5...40%)
2. Grundwerkstoffdicke ($d \geq 4 (2)mm$) sowie Bauteilverzug
3. Zerstörung thermisch sensibler Hartstoffe sowie Grundwerkstoffeigenschaften.

Neben der technologischen Beschränktheit konventioneller Verfahren existieren legierungstechnische Zwänge. Es können grundsätzlich drei Beschichtungstypen unterschieden werden.

1. Beschichtungen, die Hartphasen aus der Schmelze heraus bilden
2. Beschichtungen, in die Hartstoffe eingelagert werden
3. Beschichtungen mit eingelagerten Hartstoffen und sich bildenden Hartphasen.

Hartphasen sind Monokarbide, wie z.B. VC, NbC; Boride oder Silizide aber auch Mischkarbide, worunter das M_7C_3 eine besondere Stellung einnimmt. Diese Legierungen sind meist sehr preiswert. Überwiegend werden Fe-Cr-C-xxx-Legierungen verschweißt.

In der Verschleißschutztechnik durch Auftragschweißen kommen primär Wolframkarbide (WC/W_2C) zum Einsatz. Um diese thermisch nur begrenzt

belastbaren Hartstoffe möglichst unaufgeschmolzen in der Beschichtung zu platzieren, sind technologisch zwei Möglichkeiten vorhanden:

1. Nutzung niedrig schmelzender Matrixwerkstoffe
2. Separate Pulverzuführung zur Beeinflussung der Verweilzeit des Pulvers im Bereich des Plasmas.

Beide Möglichkeiten werden benutzt. Als niedrig schmelzende Matrixwerkstoffe sind NiBSi-Legierungen in der Anwendung. Diese haben die Vorteile, dass sie ausreichend niedrig schmelzen ($T_S \approx 1000^\circ\text{C}$) und keine Löslichkeit für den bei der Zerstörung des WC/W₂C frei werdenden Kohlenstoff aufweisen. Die großen Nachteile dieser Legierung sind die stark vom Ni-Preis abhängigen und grundsätzlich hohen Kosten sowie die relativ geringe Härte. Dies war und ist Überlegungen wert, Fe-Basis-Matrices zu nutzen. Die Schmelztemperaturen der Fe-Matrices liegen allerdings deutlich über denen der Ni-Matrices, so dass ein intensivere Zerstörung des WC/W₂C zu erwarten ist. Die thermische Beeinflussung der Hartstoffe kann über Lichtbogenprozesse nicht weiter reduziert werden. Es galt daher, eine Veränderung der Energiewirkung vorzunehmen [1].

1.4.2 Fachliteratur

- [1] Winkelmann, R. u. a.: Induktiv unterstütztes Beschichten. Elektrowärme international 4, 2012, S 51- 56
- [2] URL: www.gft-ev.de (Stand 21.10.2012)
- [3] Fleischer, G.; Wamser, H.: Terminologie Reibung und Verschleiß. Schmierungstechnik 3, 1972, S. 7-12
- [4] Theisen, W. u. a.: Auftragschweißen von Wolframkarbid in Fe-Basis-Legierungen, 7. Fachtagung „Verschleißschutz von Bauteilen durch Auftragschweißen“, Halle, 2008
- [5] Benkowsky, G.: Induktionserwärmung. Verlag Technik, Berlin, 1990
- [6] Kieffer, R., Benesovsky, F.: Hartstoffe. Springer-Verlag, Berlin, 1963
- [7] Friedrich, C., Berg, G., Broszeit, E., Berger, C.: Datensammlung zu Hartstoffeigenschaften, Materialwissenschaft und Werkstofftechnik 28, 1997, S. 59-76
- [8] Holleck, H.: Binäre und ternäre Carbid- und Nitridsysteme der Übergangsmetalle, Borntraeger Verlag, Stuttgart, 1984

- [9] Jost, H. P.: Lubrication (Tribology) – A Report of the Present Position and Industry's Needs, Department of Education and Science. HM Stationary Office, London, 1966

Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Ein wissenschaftlicher, technologischer und materieller Austausch fand lediglich mit den Projektpartnern statt.

2 Eingehende Darstellung

2.1 Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

2.1.1 Zuwendungen und Ausgaben

Nach der Planung des Projekts kam es zu der Anschaffung bzw. Bau von definierten Geräten bzw. Induktoren. Diese sind in Tabelle 2.1 aufgeführt.

Tabelle 2.1: Investitionsliste

| Lfd.Nr. | Zuordnung zur Position der Geräteliste des Zuwendungsbescheids |
|---------|----------------------------------------------------------------|
| 1 | Generator |
| 2 | Induktor |
| 3 | Feldführungselemente |

2.1.2 Ziele und Ergebnisse

Die Fa. EMAG eldec beschäftigt sich mit dem Bau des Generators und der Auslegung, Konstruktion und dem Bau des Induktors. Des Weiteren werden im Bereich der Steuerung und der Regelung Optimierungsmaßnahmen durchgeführt. Weitere Maßnahmen sind beratenden Tätigkeiten aus dem Bereich induktiver Erwärmung und Elektrotechnik. Des Weiteren erfolgte Unterstützung bei der Herstellung von Demonstratoren. Zum Erfüllen dieser Aufgaben wurden folgende Arbeitspunkte definiert:

AP1: Lastenheft

AP2: Entwicklung, Konstruktion und Fertigung des Generators

AP3: Entwicklung der Regelungsstrecke

AP4: Integration Messtechnik-Generator

AP5: Induktorgestaltung, Beschichtungsversuche und Anpassung

AP6: Analysen und Gerätetechnische Anpassung

AP7: Unterstützung bei der Demonstratorfertigung

Im Folgenden werden die erzielten Ergebnisse einzeln dargestellt.

AP1: Lastenheft

Das Lastenheft wurde erstellt und mit den Projektpartnern inhaltlich und zeitlich abgestimmt.

Als Grundwerkstoff für die Beschichtungsversuche wurde der Baustahl S355 JR in drei Stärken (4, 10 und 30mm) definiert. Alle Projektpartner stellten für Verschleißuntersuchungen ihre herkömmlichen Beschichtungen zur Verfügung.

AP2: Entwicklung, Konstruktion und Fertigung des Generators

Für die Beschichtungsentwicklung mit InduClad wurde im Rahmen des Projektes eine Energiequelle zur induktiven Erwärmung realisiert. Für die Versuche ist es sinnvoll einen großen Frequenzbereich zur Verfügung zu haben, um flexibel auf die kommenden Anforderungen und Aufgaben reagieren zu können. Es ist daher ein SDF 150 Generator für das Projekt zur Verfügung gestellt worden, der einen MF-Bereich von 10-15 kHz und einen HF Bereich von 150- 350 kHz abdecken kann. Die Leistung beträgt jeweils 75 kW für beide Frequenzbereiche. Darüber hinaus ist eine simultane Nutzung von HF und MF möglich. Diese Energiequelle entspricht dem derzeitigen Stand der Technik im Bereich der induktiven Erwärmung. Der erforderliche Leistungsbereich ist durch bereits erfolgte Versuche mit der BTU und der RUB ermittelt worden.

AP3 /AP4: Entwicklung der Regelstrecke und Integration Messtechnik-Generator

Die Regelstrategie ist unter Beachtung der Kriterien Grundwerkstoffanbindung, der Matrixaufschmelzung und dem Aufschwimmen der Hartstoffe erarbeitet worden. Die dafür benötigte Hard- und Software wurde beschafft bzw. den benötigten Bedingungen entsprechend angepasst.

Es erfolgte zunächst die Prüfung einzelner Komponenten der Regelstrecke. Hierzu gehören die Pyrometer, die Verstärker sowie der eigentliche Regler. Es wird das Ansprechverhalten der Maschine bei definierter Induktorgeometrie beurteilt und registriert.

Bisher wurde die Leistung des Generators über die Temperatur des Grundwerkstoffes gesteuert. Durch Temperaturschwankungen wurde die Leistung des Generators, entsprechend der gemessenen Temperatur, erhöht bzw. reduziert (Abbildung 2.1). Durch diese Leistungsschwankungen wurde das elektromagnetische

Feld demzufolge auch geändert und es kam in einigen Fällen zu einer ungleichmäßigen InduClad Schicht. Ziel war es das elektromagnetische Feld konstant zu halten, um damit eine gleichmäßige Schicht zu erzeugen. Die bisherige Leistungsregelung des Generators sollte deshalb auf eine Stromregelung umgestellt werden. Dabei werden die magnetischen Eigenschaften des Grundwerkstoffes nicht mehr berücksichtigt, hierdurch wird das elektromagnetische Feld konstant gehalten werden. Zudem wird der Prozess dann so geregelt, dass das Pyrometer nicht mehr steuert, sondern überwacht. Das Feld wird infolge dessen konstant gehalten.

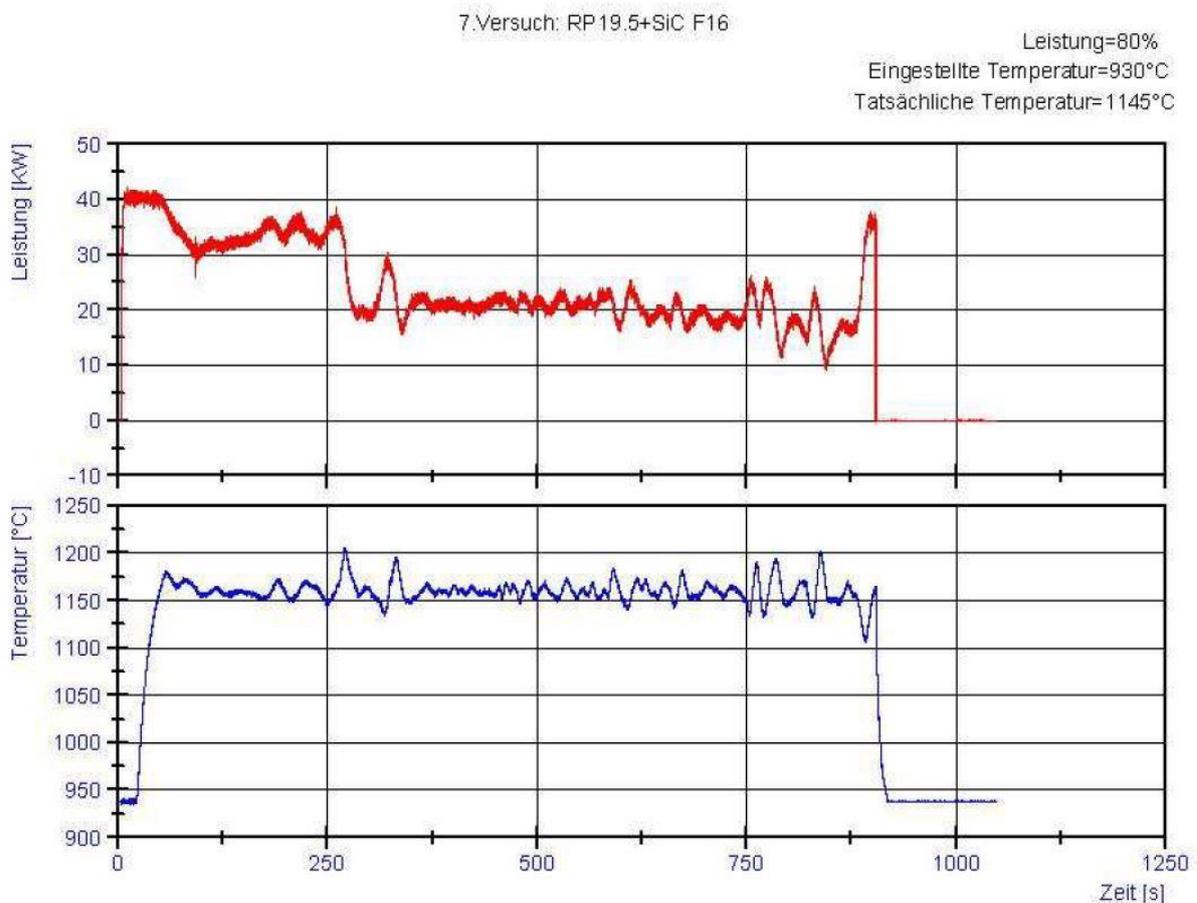


Abbildung 2.1: Aufzeichnung der Leistung und der daraus resultierenden Temperatur.

AP5: Induktorgestaltung, Beschichtungsversuche und Anpassung

Die Induktorgestaltung ist entscheidend für das Beschichtungsergebnis. Die Wirkungen der elektromagnetischen Energie sind gleichmäßig in die Beschichtung einzubringen. Dadurch ist die Lage der Hartstoffe nur noch von der absoluten Energiemenge abhängig. Kanteneffekte sind zu berücksichtigen, da diese Wärmequellen sind und zu einer möglichen Überhitzung führen. Dies muss verhindert werden. Eine Lösung hierfür ist die Nutzung von Feldkonzentratoren. Eine

andere Lösung ist die Beeinflussung des Koppelabstandes. Unabhängig davon, welche Lösung benutzt wird, müssen deutliche Veränderungen der notwendigen Generatorleistung registriert werden. Derartige Effekte können nur bedingt theoretisch behandelt werden. Aus diesem Grund wurden Versuche durchgeführt. Variiert wurden die zu beschichtenden Geometrien und es erfolgten Anpassungen der Induktorgestaltung. Mit den aus den Versuchen gewonnenen Resultaten konnte ein neuer Induktor für die BTU von der Fa. EMAG eldec konstruiert und gefertigt. Dieser ist in Abbildung 2.2 zu sehen.

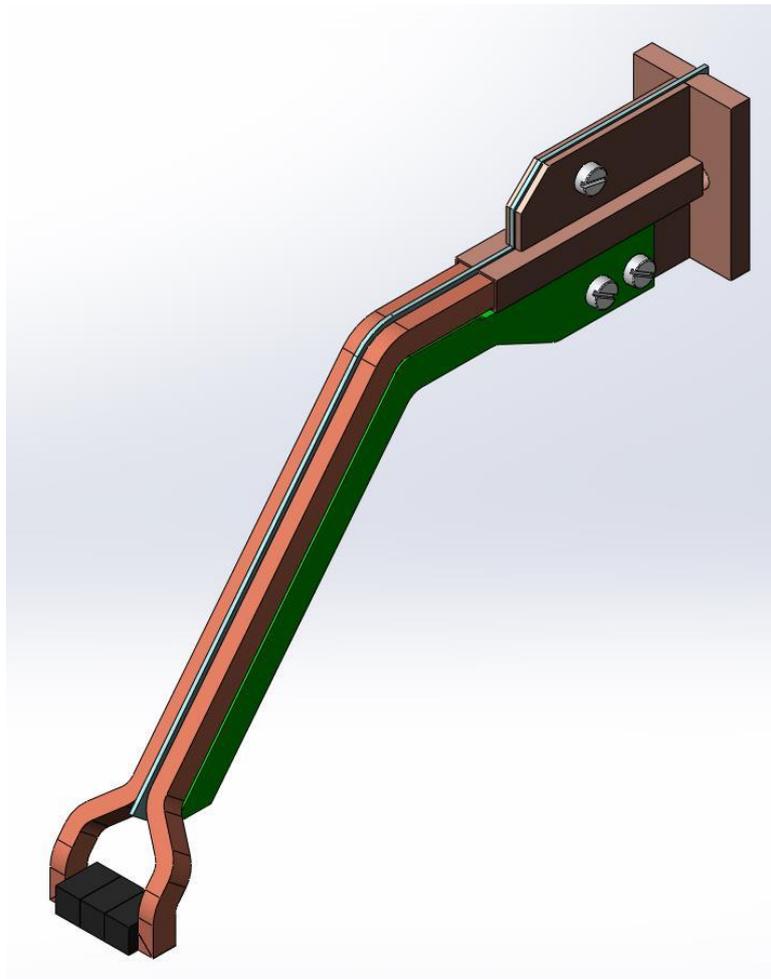


Abbildung 2.2: Gesamtansicht Induktor

Der Induktor ist so konzipiert, dass er eine höhere Kühlleistung (größerer Rohrquerschnitt) hat und somit für „dicke“ Bauteile eine hohe Leistungsdichte über längere Zeit transportieren kann. Zusätzlich wurde der Feldkonzentrator so gestückelt konstruiert, dass dieser individuell positioniert werden kann und dadurch das elektromagnetische Feld an den gewünschten Stellen verstärkt wird. In Abbildung 2.3 ist hierzu eine vergrößerte Aufnahme des Induktors mit den

Feldkonzentratoren zu sehen. Die für den Prozess relevanten Prozessparameter wurden von der BTU ermittelt.

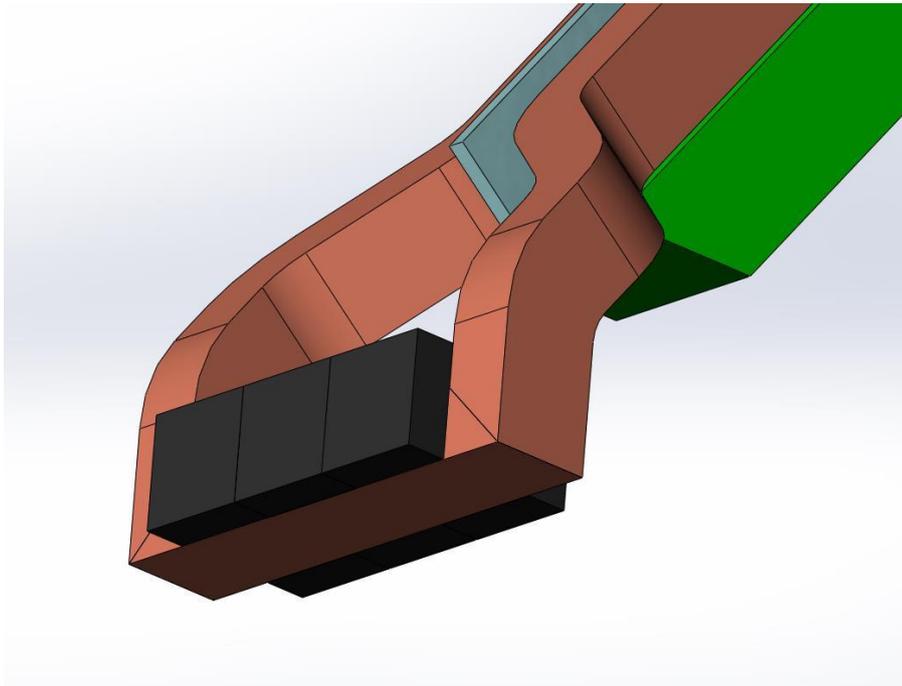


Abbildung 2.3: Herausnehmbare Feldkonzentratoren

AP6: Analysen und Gerätetechnische Anpassungen

Die Vor- und Nachteile der vorgesehenen Veränderungen der Induktorgestaltung, einschließlich deren Bedeutung auf die Prozessführung, wurden bewertet. Hierbei galt es neben rein technischen Aspekten auch wirtschaftliche zu berücksichtigen. Die Herangehensweise erfolgte iterativ, sodass auch in diesem Arbeitsschritt wiederholte Anpassungsuntersuchungen notwendig wurden. Dazu gehörten die Vorschubgeschwindigkeit und die Einstellungstemperatur des Pyrometers. Die Bestimmung erfolgte unter Berücksichtigung verschiedener Randbedingungen. Unter anderem wurde der Leistungs- und Frequenzanteil des Generators betrachtet. Es konnten Temperaturen und Geschwindigkeiten ermittelt werden, die einer sichere Prozessführung zulassen. Firma EMAG eldec hat an dieser Stelle beratend unterstützt. Die detaillierten Ergebnisse sind in den Berichten der BTU beschrieben.

AP7: Unterstützung bei der Demonstratorfertigung

Die Funktionalität der neuen keramischen Schichten wurde an realen Bauteilen untersucht. Die BTU beschichtete hierfür Mittelmesser von Grabgefäßschneiden für den Projektpartner RWE und Vorschneiden für den Projektpartner Vattenfall. Bei der Ausführung der Prozesse war die Fa. EMAG eldec beratend tätig.

2.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Neben den in der Planung vorgesehenen Geräten entstanden weitere Kosten durch Personal- und Reiseaufwendungen.

2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.

Das Forschungsvorhaben befasst sich mit einer hoch innovativen Themenstellung, deren Inhalte über den Stand der Technik hinausgehen. Dabei werden unterschiedliche Fragestellungen behandelt, deren Gegenstand die Entwicklung neuer Werkstoffe ist. Ziel ist sowohl deren Konditionierung und Weiterverarbeitung, als auch deren Anpassung an Beschichtungskonzepte und damit der nachfolgende Übertrag in die industrielle Fertigung.

Die Fa. EMAG eldec leistete einen entscheidenden Beitrag zu dem Projekt.

Zum einen konstruierte und baute sie den Generator und den Induktor, zum anderen trugen die beratenden Tätigkeiten aus dem Bereich der Anwendungstechnik zu den Erfolgen des Projekts bei. Hierfür wurde von der Fa. EMAG eldec Fachpersonal in Form von Diplomingenieuren und Dres. Ing bereitgestellt. Dies förderte im großen Mas den Austausch von Wissen zwischen Forschung und Industrie.

2.4 Nutzen und Verwertbarkeit im Sinne des Verwertungsplans

Die Verwertung der Ergebnisse erfolgt auf verschiedene Arten. Zum einen kommt das erhalte Wissen gerade aus dem Bereich der unterschiedlichen Einflüsse der Prozessparameter der Fa. EMAG eldec zugute. Hierdurch kann sie sich einen Wissensvorsprung sichern und den Wirtschaftsstandort Deutschland stärken. Des Weiteren konnte hierdurch der Bekanntheitsgrad der Fa. EMAG eldec gesteigert werden. Eine kommerzielle Verwertung der Ergebnisse ist für die Zukunft angedacht.

2.5 Während der Durchführung bekannt gewordene Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens an anderen Stellen

Während des Verlaufs des Projekts wurden keine Veröffentlichungen von anderer Seite registriert.

2.6 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse

Von Seiten der Fa. EMAG eldec sind keine Veröffentlichungen geplant.

3. Kurzgefasster Erfolgskontrollbericht

3.1 Beitrag zu den förderpolitischen Zielen

Durch die gewonnenen Ergebnisse konnte das Wissen aus dem Bereich der Auslegung von Generatoren erhöht werden. Besonderes die Erkenntnisse aus den Studien der Regelparameter in Bezug auf Strom und Temperatur und der Erfahrungsgewinn aus der Herstellung von Beschichtungen mittels Induktion waren erheblich. Diese Ergebnisse Stellen die Basis eines neuen Anwendungsfeldes für die Induktion, was Potenzial für eine Umsatzsteigerung bietet.

3.2 Wissenschaftlich-technische Ergebnisse mit Nebenergebnisse

Im Zuge dieses Forschungsprojekts konnten umfassende Erkenntnisse zu dem InduClad Verfahren bzw. zum Beschichten mit elektro- magnetischer Induktion gewonnen werden. Als wichtiger Punkt ist die Auslegung eines, für diesen Zweck, angepassten Induktor zu nennen. Weitere Erkenntnisse sind die zu verwendenden Regelparameter um den Beschichtungsprozess sicher und reproduzierbar zu gestalten. Der Regelmäßige Austausch zwischen BTU und Fa. EMAG eldec führten zu einem kollateralem Erkenntnisgewinn im Bereich von Induktion und Beschichtung. Im Weiteren ist auf den Abschnitt 2.1 dieses Berichts und auf den Abschlussbericht der BTU zu verweisen.

3.3 Fortschreibung des Verwertungsplans

Dank dem Zusammenwirken zwischen werkstoffwissenschaftlich und technologisch orientierter Forschung und Entwicklung mit hohem Erfahrungspotenzial der Unternehmen werden die wirtschaftlichen Erfolgsaussichten für dieses Projekt von der Fa. EMAG eldec positiv gesehen. Die Fa. EMAG eldec erarbeitete grundlegende Erkenntnisse zur Herstellung von Beschichtungen mit einer völlig neuen Werkstoffgruppe. Ein zeitlicher Rahmen lässt sich in diesem Fall jedoch nicht konkret abstecken. Diese stehen in direkter Abhängigkeit zu den wissenschaftlichen und technischen Erfolgsaussichten.

3.4 Arbeiten die zu keiner Lösung geführt haben

Eine Umstellung der Leistungsregelung des Generators auf eine Stromregelung führte nicht zu einer signifikanten Verbesserung der Beschichtungsqualität. Die Gründe dafür konnten im Rahmen des Projektes nicht vollständig geklärt werden. Hierfür sind von Seiten der Fa. EMAG eldec weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten notwendig.

3.5 Einhaltung der Kosten

Die Kosten wurden eingehalten

4. Document Control Sheet

| | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|--|
| 1. ISBN or ISSN | 2. type of document (e.g. report, publication) Final Report | |
| 3. title Substungs- Substitution von Wolfram in Verschleißschutzschichten | | |
| 4. author(s) (family name, first name(s)) Schaudig Maximilian | 5. end of project 31th of May 2016 | |
| | 6. publication date | |
| | 7. form of publication | |
| 8. performing organization(s) (name, address) Research Facilities: Ruhr-Universität Bochum (LWT), Universitätsstraße 150, 44780 Bochum BTU Cottbus – Senftenberg (F/T) , Großenhainer Straße 57, 01968 Senftenberg Industrial Partners: EMAG eldec Induction GmbH, Otto-Hahn-Straße 14, 72280 Dornstetten DURUM Verschleißschutz GmbH, Carl-Friederich-Benz-Str. 7, 47877 Willich Reiloy Metall GmbH, Spicher Straße 46-48, 53839 Troisdorf RWE Power AG, Frechener Str. 12, 50226 Frechen Impuls Verschleißtechnik GmbH, Spremberger Str. 37, 01968 Senftenberg | 9. originator's report no. | |
| | 10. reference no. 03X3584F | |
| | 11. no. of pages 24 | |
| 12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn | 13. no. of references 9 | |
| | 14. no. of tables 2 | |
| | 15. no. of figures 6 | |
| 16. supplementary notes | | |
| 17. presented at (title, place, date) | | |
| 18. abstract At the moment a lot of wear protection layers in the industry contain tungsten particles. The task of the project was to develop a wear resistant layer out of ceramic particles placed in an iron matrix. The iron alloy was melted by induction heating. The EMAG eldec company took part in this project by advisory activities and the construction of the generator and the inductor. As a result a great amount of knowledge could be gained. The future task is to optimize the development of current controlled generators. | | |
| 19. keywords Induction, tungsten-substitution, surface-modifikation | | |

| | |
|---------------|-----------|
| 20. publisher | 21. price |
|---------------|-----------|

| | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|--|
| 1. ISBN oder ISSN geplant | 2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Abschlussbericht | |
| 3. Titel Substanz- Substitution von Wolfram in Verschleißschutzschichten | | |
| 4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Schaudig Maximilian | 5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.05.2016 | |
| | 6. Veröffentlichungsdatum | |
| | 7. Form der Publikation | |
| 8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Forschungseinrichtungen: Ruhr-Universität Bochum (LWT), Universitätsstraße 150, 44780 Bochum BTU Cottbus – Senftenberg (F/T) , Großenhainer Straße 57, 01968 Senftenberg Industriepartner: EMAG eldec Induction GmbH, Otto-Hahn-Straße 14, 72280 Dornstetten DURUM Verschleißschutz GmbH, Carl-Friederich-Benz-Str. 7, 47877 Willich Reiloy Metall GmbH, Spicher Straße 46-48, 53839 Troisdorf RWE Power AG, Frechener Str. 12, 50226 Frechen Impuls Verschleißtechnik GmbH, Spremberger Str. 37, 01968 Senftenberg | 9. Ber. Nr. Durchführende Institution / | |
| | 10. Förderkennzeichen 03X3584F | |
| | 11. Seitenzahl 24 | |
| 12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) | 13. Literaturangaben 9 | |
| | 14. Tabellen 2 | |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| 53170 Bonn | 15. Abbildungen 6 |
| 16. Zusätzliche Angaben | |
| 17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) | |
| 18. Kurzfassung Aktuell beinhalten viele Verschleißschuttschichten in der Industrie Wolframpartikel. Ziel des Projekts war, eine Verschleißschuttschicht zu entwickeln in der Keramikpartikel in eine Eisenmatix eingebracht werden. Das Schmelzen der Eisenlegierung erfolgte über Induktion. Die Firma EMAG Eldec übernahm in diesem Zusammenhang beratende Tätigkeiten und den Bau des Generators und des Induktors. Hierdurch konnte im großen Umfang Wissen erlangt werden. Ziel hierbei ist die Optimierung von stromgeregelten Generatoren | |
| 19. Schlagwörter Induktion, Oberflächenbehandlung, Wolfram Ersatz | |
| 20. Verlag | 21. Preis |