



Author Guidelines



Stand: 06/2025

The Most Important Information:

- We require your manuscript as a Word file (including tables and figures at the end of the document). This file will first be reviewed our permanent expert board for publication as a peer-reviewed paper.
- The length of the Word file (monolingual) should not exceed 20,000 characters (including spaces; from the title through the figure captions to the end of the references section). There should be no more than 6 to 8 figures or tables in total.
- Please also send the figures as separate files (resolution at least 300 dpi, file formats: eps, jpeg, png).
- We require a written short CV of 5 to 10 lines from each author for our website, as well as a digital portrait photo.
- Please send your manuscript to nicole.stramka@dvs-media.info.

1 Files

Please submit the following files:

- a Word file (including tables and figures at the end of the document) for editorial processing and the peer review procedure
- all figures (including author photos) as separate files (jpeg, png, eps) with a resolution of 300 dpi (further information in section 4. Figures and Tables)
- a 5- to 10-line written short CV in a Word file from each author and a portrait photo

2 Formal Text Layout

- The length of the Word file (monolingual) should not exceed 20,000 characters (including spaces; from the title through the figure captions to the end of the references).
- Units of measurement must strictly comply with SI standards. Please do not use outdated units such as wt.-%, at.-% etc.
- Please avoid abbreviations throughout the manuscript (such as „diam.“ instead of „diameter“), especially in figure captions.
- Please also note that our journal design does not permit the use of trademark and copyright symbols or the use of capital letters for company and product names.

3 Structure of the Article

Your article consists of title, author box, abstract, main body, conclusion and outlook, and references.

3.1 Title

The title of the contribution should not exceed 100 characters (including spaces) and should be concise yet clear.

3.2 Author Box

This box contains the following details for each author of the article:

- first and last name (no abbreviations, please),
- title or academic degree,
- current job/position including the name and location of the institute/employer,
- email address,
- a digital portrait photo, and
- a 5- to 10-line written short CV in our online database (<https://www.thermal-spray-bulletin.info/en/authors>)

3.3 Abstract

- The abstract should summarise the content of the article.
- It will also be published on our website.
- It should be no longer than 1,000 characters (including spaces).

3.4 Main body

- The main body is structured using decimal classification (up to a maximum of the third level).
- It begins with "1. Introduction" and ends with "Conclusion and Outlook".

3.5 References

- Please do not use Word's automatic reference generation.
- Use the numerical citation style and assign numbers in sequential order in the running text: [1], [2], etc.

- List the references used at the end of the manuscript:
- [1] Bobzin, K.; Wietheger, W.; Heinemann, H.; Schulz, M.: Thermally sprayed coatings for the valve industry. *Materials Science & Engineering Technology*, Volume 52, Issue 9, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1002/mawe.202100032>
- [2] Frazier, W. E.: Metal Additive Manufacturing: A Review. *Journal of Materials Engineering and Performance*, Volume 23, 2014, pp. 1917/28. <https://doi.org/10.1007/s11665-014-0958-z>
- Please provide the DOI as a URL.

4 Figures and Tables

Please observe the following instructions:

- Figures and tables must be distinguished and numbered consecutively (Fig. 1, Table 1, etc.) and cited at least once in the text.
- Drawings, diagrams and photos must be labelled "Fig." in the caption.
- The captions should not be embedded in the image itself. They should describe the content of the figure so clearly that it is self-explanatory.

- Number figures consecutively; include figure numbers in the manuscript text.
- Names, terms, etc. should follow the latest ISO standards, DVS leaflets, etc.
- The font should be uniform across all figures.
- Avoid effects such as patterns, outline fonts, gradients, and shadows.
- Use colour images whenever possible; minimum resolution: 300 dpi.
- File formats: eps, jpeg, png.

5 Contact Address

- Please send your manuscript to nicole.stramka@dvs-media.info.

Note on Gender-Inclusive Language

The scientific papers published in the THERMAL SPRAY BULLETIN are primarily reviewed for their content quality through a peer review process. The generic masculine form used in the articles generally refers to all gender identities. We explicitly support the use of gender-inclusive language, but refrain from doing so in favour of readability.

Title
max. 100
characters
(including spaces)

Abstract
max. 1,000
characters
(including spaces)

Portrait photo
min. 300 dpi

Author Box
with all authors and
their portrait photo,
name, title or academic
degree, Institute,
current job position and
email address

Optimierung der Temperaturleitfähigkeit in thermisch gespritzten Schichtverbunden für Leistungselektroniken

Optimization of Thermal Conductivity in Thermally Sprayed Coating Composites for Power Electronics

Kurzfassung

Das Thermische Spritzen bietet mit seiner Vielseitigkeit eine hervorragende Möglichkeit, einen Schichtverbund herzustellen, welcher sowohl elektrisch isolierend, als auch thermisch gut leitfähig ist. Bestehend aus einem Haftvermittler, einer isolierenden Al_2O_3 -Schicht und einer Metallisierung mit Kupfer, kann die Wärme von der Wärmesenke in den Wärmeüberträger (WÜ) abgeführt werden. In diesem Artikel wird vorgestellt, wie durch die Wahl eines geeigneten Haftvermittlers die Temperaturleitfähigkeit weiter erhöht werden kann. Außerdem wird der Anwendungsfall anhand eines Demonstrators aufgeführt, bei dem ein solcher Schichtverbund zur Abdichtung eines Bipolartransistors mit isolierter Gate-Elektrode (Insulated-Gate Bipolar Transistor, IGBT) an einen WÜ verwendet wird.



THORALF WIRTEL, M. Sc.
Anwendungsentwickler
eise innovation gmbh, Bad Kissingen
thoralf.wirtel@eise-innovation.de



Dr. Harry Kanner
Leiter der Qualitätsentwicklung
Head of Quality Management
eise innovation gmbh, Bad Kissingen
harry.kanner@eise-innovation.de



Dr. Fabian Trenkle
Leiter der Forschungs- und Entwicklungsabteilung
Head of Research and Development Department
eise innovation gmbh, Bad Kissingen
fabian.trenkle@eise-innovation.de



Dr.-Ing. Sven Hartmann, M.A. MBA (SFT)
Technische Direktor
Technical Director
eise innovation gmbh, Bad Kissingen
sven.hartmann@eise-innovation.de

Mehr Informationen zu den Autoren auf: www.information-on-the-authors.at
www.thermal-spray-bulletin.info/authors

Abstract
Thermal spraying, with its versatility, provides an excellent opportunity to produce a coating composite that is both electrically insulating and thermally conductive. Comprising a bonding agent, an insulating Al_2O_3 coating, and a copper metallization, heat can be efficiently dissipated from the heat source to the heat sink. This article presents how selecting a suitable bonding agent can further enhance thermal conductivity. Additionally, the application is demonstrated using a prototype in which such a coating composite is used for connecting an Insulated-Gate Bipolar Transistor (IGBT) to a heat sink.

agent, an insulating coating made of aluminum oxide (Al_2O_3), and a copper metallization for thermal coupling or soldering. While the Al_2O_3 coating ensures electrical insulation, the copper coating enables efficient heat transfer. The bonding agent plays a crucial role in reducing mechanical stresses between the coatings. The goal of this study is to optimize thermal conductivity in the coating composite by selecting an appropriate bonding agent material. Various bonding agent materials and particle sizes were systematically investigated. Additionally, a prototype is presented to illustrate the practical application of such an optimized coating composite in power electronics.

2. Methodology
To investigate the thermal conductivity of the bonding agent, two materials, NiCr 80-20 and NiAl 95-5, were selected. Each bonding agent was ap-

1. Einleitung
Die fortschreitende Miniaturisierung und steigende Leistungsdichte in der Leistungselektronik führen zu immer höheren Abwärmen auf kleineren Baukäusen. [1] Um diese effektiv zu beseitigen, ist eine zuverlässige Wärmeableitung unerlässlich. Ein zentraler Bestandteil dieser Wärmeableitung ist die thermische Anbindung der elektronischen Bauelemente an den Wärmeüberträger. Dies erfordert Materialien, die einerseits eine hohe elektrische Isolierung bieten und gleichzeitig eine gute Temperaturleitfähigkeit besitzen. Thermisch gespritzte Schichtverbunde bieten hierfür eine vielversprechende Lösung. Durch die Kombina-

tion verschiedener Schichten können sowohl die elektrischen als auch die thermischen Anforderungen optimiert werden. Typische Schichtaufbauten umfassen einen Haftvermittler, eine isolierende Schicht aus Aluminiumoxid (Al_2O_3) sowie eine Kupfermetallisierung für die thermische Anbindung zum Wärmeüberträger. Während die Al_2O_3 -Schicht elektrische Isolation gewährleistet, sorgt die Kupferschicht für eine effiziente Wärmeübertragung und Übertragung. Der Haftvermittler spielt eine entscheidende Rolle, indem er die mechanischen Spannungen zwischen den Schichten reduziert. Ziel dieser Untersuchung ist es, durch die Wahl eines geeigneten

1. Introduction
The ongoing miniaturization and increasing power density in power electronics lead to ever higher heat dissipation within confined spaces. [1] To effectively manage this, reliable heat dissipation is essential. A key aspect of this heat dissipation is the thermal connection of electronic components to the heat sink. This requires materials that provide high electrical insulation while also possessing good thermal conductivity. Thermally sprayed coating composites offer a promising solution for this purpose. By combining different coating structures include a bonding

Main body

Chapter heading

Haftvermittlermaterials die Temperaturleitfähigkeit im Schichtverbund weiter zu optimieren. Hierbei wurden verschiedene Haftvermittlermaterialien und Korngrößen systematisch untersucht. Zusätzlich wird ein Demonstrator vorgestellt, der die praktische Anwendung eines solchen optimierten Schichtverbunds in der Leistungselektronik zeigt.

2. Durchführung
Um die Temperaturleitfähigkeit des Haftvermittlers zu untersuchen, wurden zwei Materialien, NiCr 80-20 und NiAl 95-5, ausgewählt. Für beide Haftvermittler konnten zwei unterschiedliche Kornfraktionen zum Einsatz. Für NiCr wurde eine gröbere Kornfraktion mit $f = 50 \pm 20 \mu m$ und eine feinere Kornfraktion mit $f = 25 \pm 5 \mu m$ verwendet. Bei NiAl wurde die größte Kornfraktion mit $f = 90 \pm 45 \mu m$ gewählt und zusätzlich – eine zur gröberen NiCr-Kornfraktion ähnliche – Kornfraktion mit $f = 45 \pm 20 \mu m$ genutzt. Die 5 mm dicken Aluminium-Substrate wurden vor dem Beschichten mit F40 Feinrauhend gestraht. Die Beschichtung erfolgte durch atmosphärisches Plasmaspritzen (APS). Neben den Schichten mit der Zielkorngröße von $50 \mu m$, die für die Anwendung vorgesehen sind, wurden auch $150 \mu m$ dicke Schichten aufgebracht, um Unterschiede in der Temperaturleitfähigkeit besser sichtbar zu machen. Für den Demonstrator wurde der Haftvermittler auf einen Aluminium-WÜ aufgebracht. Die isolierende Al_2O_3 -Schicht ($f = 45 \pm 15 \mu m$) wurde ebenfalls mittels APS aufgetragen. Außerdem wurde mittels Kaltgasnitrieren eine Metallisierung aus Kupfer mit einer Kornfraktion von $f = 31 \pm 5 \mu m$ appliziert.

3. Temperaturleitfähigkeit Haftvermittler
Die Temperaturleitfähigkeit α des Haftvermittlers im Schichtverbund ist nicht vernachlässigbar. Dies zeigt auch ein Blick auf die Wärmeleitfähigkeiten der Werkstoffe. Die Wärmeleitfähigkeit λ von NiCr 80-20 als Bulkmaterial liegt mit $\lambda = 15 W/mK$ im Bereich von gespritztem Al_2O_3 mit $\lambda = 30 W/mK$. Eine thermisch gespritzte Al_2O_3 -Schicht liegt im Bereich von etwa $\lambda = 2$ bis $3 W/mK$. Als zu-

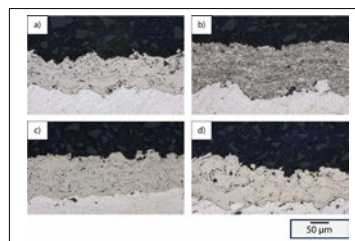


Bild 1 Lichtmikroskopische Aufnahmen der Querschnitte von Substrat mit folgenden Haftvermittlerpartikeln beschichteten Substraten: a) NiCr $f = 50 \pm 20 \mu m$, b) NiCr $f = 25 \pm 5 \mu m$, c) NiAl $f = 45 \pm 20 \mu m$ und d) NiAl $f = 90 \pm 45 \mu m$

sätzlicher Haftvermittler wurde NiAl 95-5 gewählt, um die Temperaturleitfähigkeit zu steigern. Hier liegt die Wärmeleitfähigkeit für Bulkmaterialien bei $\lambda = 70 W/mK$ und könnte damit NiCr auch als TS-Schicht überbieten. In Bild 1 sind die lichtmikroskopischen Aufnahmen der mit den verschiedenen Haftvermittlern beschichteten Substrate zu sehen. Es ist zu erkennen, dass das feine NiCr-Pulver mit $f = 25 \pm 5 \mu m$, dargestellt in Bild 1b), aufgrund des hohen Feinanteils die target coating thickness of $50 \mu m$ intended for application, $150 \mu m$ thick coatings were also deposited to

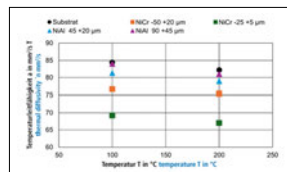
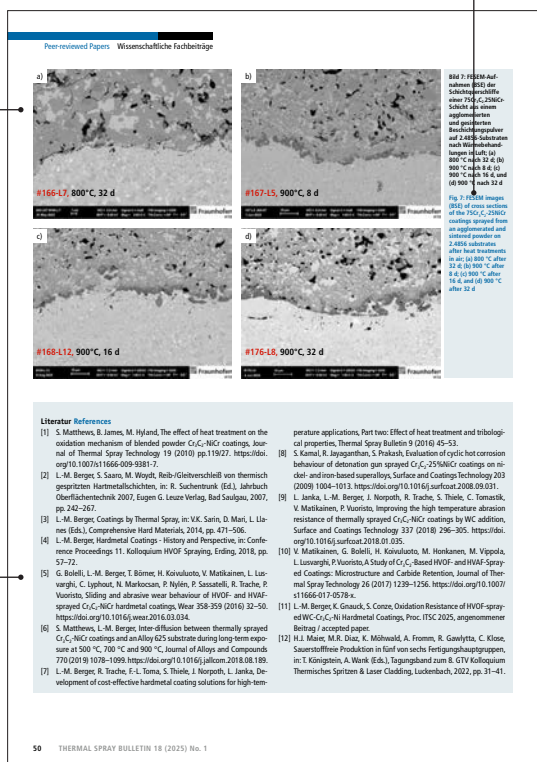


Bild 2 Temperaturleitfähigkeit des Aluminiumsubstrats mit unterschiedlichen Schichten aus 150 µm dicken Haftvermittlermaterialien in Abhängigkeit der Temperatur

Caption

Figure
min. 300 dpi



Caption

Conclusion and Outlook

Acknowledgement

4. Zusammenfassung

Die hier vorgestellten Arbeiten fokussierten auf die Ausfallsicherheit von Hartmetallschichten durch Oxidation und Delamination. Die Zunderfestigkeit hängt vom Cr_2C_3 -Gehalt der Schichtzusammensetzung ab, nur die 750°C/2750°C-Schicht erwies sich unter den untersuchten Bedingungen nicht als langzeitstabil. Die Delaminationen werden entscheidend vom Substratwerkstoff beeinflusst. Bei den Substratwerkstoffen 1.4828 (AISI 308) und 2.4856 (Alloy 625) bilden bei 900 °C Oxidlagen an der Substrat-Schicht-Grenzfläche. Im Fall von 1.4828 führte die Bildung einer SiO_2 -Lage zu Delaminationen, dies wurde dagegen für die Cr_2O_3 -Lage auf 2.4856 nicht beobachtet. Der Befund, dass SiO_2 -Lagen zu einem Schichtausfall bei 1.4828 führen, kommt überraschend, da sich um einen weit längeren Einsatz befindlichen Stahl für Hochtemperaturanwendungen handelt. Die Si-Gehalte dieser Stahlsorte liegt mit 1,5 bis 2,5 % vergleichsweise hoch. Bei der Auswahl von Stählen als Substratwerkstoff ist also auf die chemische Zusammensetzung zu achten. Es sind noch weitere Untersuchungen notwendig, um dies zu verifizieren. Von besonderem Interesse sind Schichten mit ungefähr gleichen Anteilen von WC und Cr_2C_3 (z. B. 42 Cr_2C_3 -42WC-16Ni). Sie bilden einerseits dichte Cr_2O_3 -Schutzschichten an der Oberfläche und bieten so Langzeitstabilität gegen Oxidation, andererseits wird die

Bildung von Oxidlagen auf der Substratoroberfläche an der Schicht-Substrat-Grenzfläche unterdrückt.

Dankagung

Das Projekt wurde durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Das Projekt wurde durchgeführt durch die Forschungsgemeinschaft Schwermetalle und verwandte Verfahren e. V. des DVS, Aachener Straße 172, 40223 Düsseldorf. Die kommerziellen Beschichtungsgüter und Substrate wurden von den im projektbegleitenden Ausschuss (PA) beteiligten Firmen bereitgestellt. Beschichtung und Endbearbeitung erfolgten ebenfalls durch die im PA beteiligten Firmen. Für die Kooperation wird hiermit allen Partnern gedankt.

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

IGF
KOOPERATIONSPARTNER
FORSCHUNG

Der Fachbeitrag basiert auf dem IGF-Forschungsvorhaben 01IF22054 / DVS-Nr.: 02.3457.

state-coating interfaces at 900 °C. In the case of 1.4828, the formation of a SiO_2 layer led to delaminations, whereas this was not observed for the Cr_2O_3 layer on 2.4856. The finding that SiO_2 layers lead to coating failure on 1.4828 is surprising, as this is a steel that has been in use for a long time for high temperature applications. The Si content of this steel grade is relatively high at 1.5 to 2.5 %. Therefore, when selecting steel grades as substrate materials, attention must be paid to the chemical composition. Further investigations are necessary for confirmation. Coatings with approximately equal proportions of WC and Cr_2C_3 (e. g. 42 Cr_2C_3 -42WC-16Ni) are of particular interest. On the one hand, they form dense Cr_2O_3 protective scales on the surface, providing long-term stability against oxidation. On the other hand, the formation of oxide layers on the substrate surface at the coating-substrate interface is suppressed.

Acknowledgement

The project is being promoted by the Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Protection (BMWK) on the basis of a resolution of the German Bundestag. The project was carried out by the research association "Schwermetalle und verwandte Verfahren e. V. of DVS". The commercial feedback powders and substrates were provided by the companies involved in the industrial advisory board (PA). Coating preparation and finishing were also carried out by the companies involved in the PA. We would like to thank all partners for their cooperation.

Supported by:
Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action
on the basis of a decision by the German Bundestag

This peer-reviewed paper is based on the IGF research project No. 01IF22054 / DVS-Nr.: 02.3457.

Inserentenverzeichnis Thermal Spray Bulletin					
Advertiser Index Thermal Spray Bulletin					
Bahlen Metallgesellschaften EV	KA Gießen/The Netherlands	19	GGI – Gesellschaft für Schweißtechnik International	Munich/Germany	7
Berlin Metallgesellschaften B.V.	Herrschdorf/Germany	23	GGI – Gesellschaft für Schweißtechnik International	Munich/Germany	7
CBM Technologies GmbH	Bachfeld/Innerhausen/Germany	5	GGI – Gesellschaft für Schweißtechnik International	Munich/Germany	7
Dalton Wear Solutions GmbH	Koblenz/Germany	120BC	GGI – Gesellschaft für Schweißtechnik International	Munich/Germany	7
Duravit Polymer GmbH	Münchensgladbach/Germany	15	GGI – Gesellschaft für Schweißtechnik International	Munich/Germany	7
Duravit Verschleißschutz GmbH	Wittlich/Germany	30X	GGI – Gesellschaft für Schweißtechnik International	Munich/Germany	7
DVS – Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e. V.	Düsseldorf/Germany	41	GGI – Gesellschaft für Schweißtechnik International	Munich/Germany	7
EUROSTAT GmbH	Bamswinkel/Germany	17	GGI – Gesellschaft für Schweißtechnik International	Munich/Germany	7