

THERMAL SPRAY

BULLETIN

www.thermal-spray-bulletin.info

Autorenrichtlinie



Stand: 06/2025

Das Wichtigste auf einen Blick:

- Wir benötigen Ihr Manuskript als Word-Datei (inklusive Tabellen und Abbildungen am Ende des Dokuments). Diese Datei wird für die Veröffentlichung als Peer-reviewed-Paper zunächst zur Prüfung an die Gutachter gesendet.
- Der Umfang der Word-Datei (einsprachig) sollte maximal 20.000 Zeichen betragen (inklusive Leerzeichen; von der Überschrift über die Bildunterschriften bis zum Ende des Literaturverzeichnisses). Es sollten nicht mehr als insgesamt 6 bis 8 Bilder oder Tabellen dazu kommen.
- Senden Sie die Bilder bitte zusätzlich jeweils als separate Dateien (Auflösung mindestens 300 dpi, Dateiformate: eps, jpeg, png).
- Von allen Autoren benötigen wir einen 5- bis 10-zeiligen ausformulierten Kurz-Werdegang für unsere Webseite und ein digitales Porträtfoto.
- Senden Sie Ihr Manuskript an nicole.stramka@dvs-media.info, eine Veröffentlichung zu einem abgeschlossenen IGF-Vorhaben, das beantragt wurde über die Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e. V. des DVS, zusätzlich an philipp.okon@dvs-home.de.

1 Dateien

Bitte reichen Sie folgende Dateien ein:

- eine Word-Datei (inklusive Tabellen und Abbildungen am Ende des Dokuments) für die redaktionelle Bearbeitung und das Peer-Review-Verfahren
- Beitragsbilder (inklusive Fotos von Autoren) als separate Dateien (jpeg, png, eps) mit einer Auflösung von 300 dpi (weitere Hinweise im Abschnitt 4. Bilder und Tabellen)
- von jedem Autor einen 5- bis 10-zeiligen ausformulierten Kurzwerdegang in einer Word-Datei und ein Porträtfoto

2 Formale Textgestaltung

- Der Umfang der Word-Datei (einsprachig) sollte maximal 20.000 Zeichen betragen (inklusive Leerzeichen; von der Überschrift über die Bildunterschriften bis zum Ende des Literaturverzeichnisses).
- Maßeinheiten müssen zwingend Si-konform sein. Bitte verwenden Sie keine veralteten Maßeinheiten wie At.-%, Gew.-% usw.
- Vermeiden Sie im gesamten Manuskript bitte Abkürzungen (wie Durchm. anstatt Durchmesser), besonders bei der Bildbeschriftung.
- Beachten Sie bitte auch, dass unser Zeitschriften-Design keine Platzierung von Trademark- und Copyright-Symbolen sowie keine Schreibweise in Versalien von Firmen- und Produktnamen vorsieht.

3 Gliederung des Beitrages

Ihr Beitrag besteht aus Überschrift, Autorenkasten, Kurzfassung, Hauptteil, Fazit und Ausblick sowie Referenzen.

3.1 Überschrift

Der Beitragstitel sollte max. 100 Zeichen (inklusive Leerzeichen) nicht überschreiten und knapp, aber unmissverständlich formuliert sein.

3.2 Autorenkasten

- In diesem Kasten werden für alle Autoren des Beitrags jeweils folgende Daten angegeben:
- Vor- und Nachname (bitte ohne Abkürzungen),
- Titel oder akademischer Grad,
- aktuelle Berufs-/Tätigkeitsbezeichnung mit Angabe des Instituts/Arbeitgebers, inklusive Ort,
- (optional) die E-Mail-Adresse,
- ein digitales Porträtfoto und
- ein 5- bis 10-zeiliger ausformulierter Kurz-Werdegang in unserer Online-Datenbank (<https://www.thermal-spray-bulletin.info/autoren>)

3.3 Kurzfassung

- Die Kurzfassung (englisch: Abstract) sollte den Inhalt des Beitrags wiedergeben.
- Sie wird auf unserer Webseite veröffentlicht.
- Sie sollte max. 1000 Zeichen (inklusive Leerzeichen) lang sein.

3.4 Hauptteil

- Der Hauptteil ist gegliedert nach der Dezimalklassifikation (bis max. dritte Ebene).
- Er beginnt mit „Einleitung“ und endet mit „Fazit und Ausblick“.

3.5 Referenzen

- Bitte verzichten Sie auf die automatische Referenzerstellung von Word.
- Verwenden Sie beim Zitieren bitte den numerischen Stil und vergeben Sie im Fließtext Nummern in der fortlaufenden Reihenfolge: [1], [2] usw.

- Geben Sie bitte die verwendete Literatur gesammelt am Ende des Manuskripts an:
- [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: 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>
- Schreiben Sie möglichst den DOI als URL dazu, beispielsweise <https://doi.org/10.1002/mawe.202100032>
- Bitte zitieren Sie (auch bei Online-Quellen) nach DIN ISO 690.
- Bilder fortlaufend nummerieren, Bildnummern im Manuskripttext einfügen.
- Benennungen, Bezeichnungen usw. nach den neuesten DIN-Normen, DVS-Merkblättern usw.
- Die Schriftart in allen Bildern sollte gleich sein.
- Effekte wie Füllmuster, Outline Fonts, Verläufe und Schatten bitte vermeiden
- Bilder möglichst in Farbe; Mindestauflösung 300 dpi
- Dateiformate: eps, jpeg, png
- (in runden Klammern). Bitte exportieren Sie jede einzelne Formel als Bild in eine eigene pdf-Datei.

4 Bilder und Tabellen

- Bilder und Tabellen werden unterschieden und jeweils fortlaufend nummeriert (Bild 1, Tabelle 1 usw.) und mindestens einmal im Text zitiert.
- Zeichnungen, Diagramme und Fotos werden in der Bildunterschrift als Bild (nicht „Abb.“ oder „Fig.“) gekennzeichnet.
- Die Bildunterschrift darf nicht in der Grafik stehen. Sie sollte den Inhalt des Bildes so wiedergeben, dass dieses selbsterklärend ist.

5 Kontaktadressen

- Senden Sie Ihr Manuskript bitte an nicole.stramka@dvs-media.info.
- Wenn es sich um eine Veröffentlichung zu einem abgeschlossenen IGF-Vorhaben handelt, das beantragt wurde über die Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e. V. des DVS, senden Sie Ihr Manuskript bitte zusätzlich an philipp.okon@dvs-home.de.

Hinweis zur geschlechtergerechten Sprache

Die in THERMAL SPRAY BULLETIN veröffentlichten wissenschaftlichen Fachbeiträge werden im Peer-Review-Verfahren vorrangig hinsichtlich ihrer inhaltlichen Qualität geprüft. Das in den Artikeln zumeist gewählte generische Maskulinum bezieht sich dabei zugleich auf alle Geschlechteridentitäten. Wir unterstützen ausdrücklich die Verwendung einer geschlechtergerechten Sprache, verzichten aber zu Gunsten der Leserlichkeit darauf.

Überschrift max. 100 Zeichen inkl. Leerzeichen

Kurzfassung
max. 1.000
Zeichen inkl.
Leerzeichen

Passbild
Bild mind.
300 dpi

Autorenkasten
allen Autoren des
beitrags und ihrem
trät Namen, Titel,
tut, Ihrer Tätigkeit
d E-Mail-Adresse

- Optimierung der Temperaturleitfähigkeit in thermisch gespritzten Schichtverbunden für Leistungselektroniken
- Optimization of Thermal Conductivity in Thermally Sprayed Coating Composites for Power Electronics

Kurzfassung
Um Thermische Spitzeneffekte mit seiner Weitwirkung eine hervorragende Möglichkeit, einen Schaltkreis von einem Kondensator zu einem anderen zu bewegen, während sowohl die elektrisch isolierend, als auch derartig gut leitfähig ist. Besteht auf einem Halbleiter, bestehend aus dem Al_{0.3}SiC_{0.7} und einer Metallisierung mit Kupfer, kann die Wärmeleitung von der Wärmequelle an den Wärmetauscher übertragen (WU) abgeführt werden.

| | |
|---|--|
|  | Thomas Vetter, M. Sc. Anwendungstechniker Applikationsberater ohr innovation grbhd, Bad Kreuznach thomas.vetter@ohr-innovation.de |
|  | Dr. Harry Kümmel Lehrer der Qualitätskammer Head of Quality Assurance ohr innovation grbhd, Bad Kreuznach harry.kuemmel@ohr-innovation.de |
|  | Dr. Fabian Tenkle Lehrer der Forschungs- und Entwicklung Head of research and development ohr innovation grbhd, Bad Kreuznach fabian.tenkle@ohr-innovation.de |
|  | Dr. Ing. Sven Hartmann, M.A. Technischer Direktor Technical Director ohr innovation grbhd, Bad Kreuznach sven.hartmann@ohr-innovation.de |

Abstract
 Thermal spraying, with its versatility, provides an excellent opportunity to produce a coating composite that is both electrically insulating and electrically conductive. Comprising a bonding agent, an insulating Al_2O_3 powder, and a copper metallization, the coating 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 an insulating 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 metalization for thermal coupling soldering. While the Al_2O_3 coating supplies electrical insulation, the coating enables efficient heat transfer. The bonding agent plays a crucial role in reducing mechanical stress 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 prototypic presentation to illustrate the practical application of such an optimized bonding composite in a narrow electronic component is presented.

2. Methodology

To investigate the thermal conductivity of the bonding agent, two materials, NiCr 80-20 and NiAl 95-5, typical

1. Einleitung
Die fortwährende Miniaturisierung und steigende Leistungsdichte in der Leistungselektronik erfordert eine kontinuierliche Anpassung des Bauteilspektrums. Um die Leistungsfähigkeit zu beherzigen, ist eine zweiseitige Wärmeableitung erforderlich.

Eine langlebige Bestandteil dieser Wärmeableitung ist die thermische Leitfähigkeit des Bauteils, die die ALu-Schicht, elektrisch isoliert, die Kupferschicht für eine effiziente Wärmeabkopplung und -übertragung. Der Haltehammer spielt eine entscheidende Rolle, indem er die mechanische Verbindung zwischen den Schichten herstellt.

Thermische Spritzschichten werden hierfür eine vielseitige Lösung. Durch die Kombination von verschiedene Schichten können sowohl die elektrischen als auch die thermischen Anforderungen optimiert werden. Typische Schichtaufbauten sind z.B. eine doppelte, isolierte, sogenannte Schicht aus Aluminiumoxid (Al_2O_3) auf einer Aluminimumdioxid (Al_2O_3) Schicht.

Die engen Anforderungen an die Wärmeleitung und die thermische Leitfähigkeit erfordern eine hohe mechanische Belastbarkeit des Wärmeleiters. Außerdem ist die ALu-Schicht elektrisch isoliert, was die Kupferschicht für eine effiziente Wärmeabkopplung und -übertragung. Der Haltehammer spielt eine entscheidende Rolle, indem er die mechanische Verbindung zwischen den Schichten herstellt.

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 generation, which requires a continuous adaptation of the component spectrum. To maintain performance, it is necessary to implement two-sided heat dissipation. A long-term reliable component of this heat dissipation is the thermal conductivity of the component, which is provided by the Alu-layer, electrically isolated, the copper layer for efficient heat dissipation and transfer. The clamping hammer plays a crucial role in this, as it provides the mechanical connection between the layers.

Thermal spraying coatings are a versatile solution for this. By combining different layers, the electrical and thermal requirements can be optimized. Typical layer structures are, for example, a double, insulated, so-called layer made of aluminum oxide (Al_2O_3) on an aluminum oxide (Al_2O_3) layer.

The tight requirements on thermal conductivity and thermal resistance demand high mechanical loadability of the heat spreader. In addition, the Alu-layer is electrically isolated, which makes the copper layer suitable for efficient heat dissipation and transfer. The clamping hammer plays a crucial role in this, as it provides the mechanical connection between the layers.

The aim of this investigation is to find an optimal coating structure including a heat spreader with a high thermal conductivity and a high mechanical loadability.

20 THERMAL SPRAY BULLETIN 18 (2025) No.

Hauptteil

Zwischenüberschriften

Haftvermittlermaterials die Temperaturfestigkeit in weiter zu optimieren. Hierbei wurden die verschiedenen Haftvermittlermaterialien und Körniggrößen systematisch untersucht. Zusätzlich wird ein Demonstrator vorgestellt, der die praktische Anwendung eines solchen optimierten Schichtverbunds in der Leistungselektronik zeigt.

2. Durchführung
Um die Temperaturabhängigkeit der Heterometallat-Untersuchungen zu unterscheiden, werden zwei Messreihen mit NiCr 80-20 und NiAl 95-5 ausgeführt. Beide Haf- vermittler kannen zwei unterschiedliche Konkretionen zum Einsatz. Für NiCr werden gewogene Konkretionen mit $I = 45 - 50$ mm und für NiAl Konkretionen mit $I = 35 - 45$ mm verwen- det. Bei NiAl wurde die grösste Konkretion mit $I = 90 - 95$ mm gewählt und mithilfe eines 100 mm langen NiCr-Konkretionsstabes – Konkretion mit $I = 45 - 50$ mm getestet. Die 5 mm dicke aluminum-Substrat wurde vor dem Beschichten mit F40 Edelstahl beschichtet. Die Auftragung erfolgte durch atmosphärische Plasmaplasmatisches Abladen (APLA). Neben den Schichten mit der Zelldicke von 50 µm wurde eine Schicht mit 100 µm abge- setzt, was nach 150 µm dicke Schichten aufgetragen, um Unterschiede in der Temperaturabhanglichkeit besser sichtbar zu machen.

Für den Densimeter wurde der Hafvermittler um einen Alumin- um-WU aufgebracht. Die isolierende Al_2O_3 -Schicht ($I = 45 - 50$ µm) wur- de auf die Hafvermittlerschicht aufge- tragen. Außerdem wurde eine 100 µm dicke Schicht aus einer Metallierung aus Kupfer um eine Konkretion von $I = 35 - 45$ mm aufgebracht.

**3. Temperaturfestigkeit
Haftvermittler**
Die Temperaturfestigkeit 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 Bimetallkern liegt mit $\lambda = 15 \text{ W/mK}$ im Bereich von gesintertem Al_2O_3 , mit $\lambda = 30 \text{ W/mK}$. Eine thermisch geprägte Al_2O_3 -Schicht liegt im Bereich von etwa $\lambda = 2 \text{ bis } 3 \text{ W/mK}$. Als zu-

Fig. 1: Lichtmikroskopische Aufnahmen der Querschläiffe von Al mit folgenden Haftvermittlerpulvern beschichteten Substraten: a) $\text{NiCrI} f = -50 \pm 20 \mu\text{m}$, b) $\text{NiCrI} f = -25 \pm 5 \mu\text{m}$, c) $\text{NiAlI} f = -45 \pm 20 \mu\text{m}$ und d) $\text{NiAlI} f = -90 \pm 45 \mu\text{m}$

licher Hafvermittler wie NaI mit 5 getestet, um die Temperaturabhängigkeit zu steigern. Hier liegt die Umwandlungstemperatur für Bulkmaterialien bei $\sim 70\text{ mW/m}$ und könnte damit $\sim 10\text{ mW/m}$ höher sein. Auch ist LiCl eine Schichttemperatur von $\sim 10\text{ mW/m}$ erreicht. Bei LiCl sind die lichtabsorbierten, auf die Hafvermittler auf den mit der unterschiedlichen Hafvermittler beschichteten

strates were sandblasted with Al_2O_3 corundum before coating. The coatings were applied using atmospheric plasma spraying (APS). In addition to the target coating thickness of 50 μm intended for application, 150 μm cold gas spraying.

3. Thermal Conductivity of Bonding Agents

The thermal conductivity α of bonding agent within the co-

Bildunterschrift

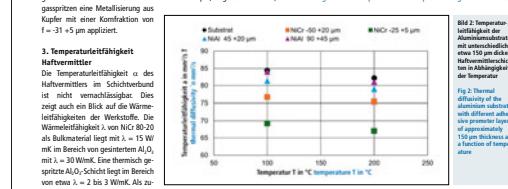
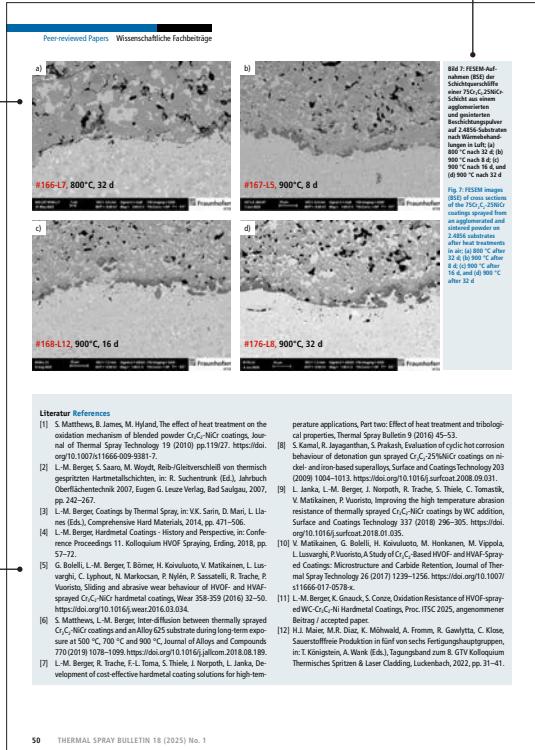


Fig 2: Thermal diffusivity of the aluminium substrates with different adhesive promoter layers of approximately 150 μm thickness as a function of temperature

1

Bild
min. 300 dpi



Bildunterschrift

- Literatur References**
- [1] S. Mathew, B. James, M. Hyland, The effect of heat treatment on the oxidation mechanism of blended powder Cr₃C₂-NiCr coatings, Journal of Thermal Spray Technology 19 (2010) pp.119-127. <https://doi.org/10.1007/s11665-010-0324-4>
 - [2] L.-M. Berger, S. Sanna, M. Woydt, Reib- und Gleitverschleiß von thermisch gespritzten Hartmetallschichten, In: R. Suchemrunk (Ed.), Jahrbuch Oberflächentechnik 2007, Eugen C. Leuze Verlag, Bad Salzungen, 2007, pp. 242-267.
 - [3] L.-M. Berger, Coatings by Thermal Spray, in: V.K. Satia, D. Mani, L. Ullan (Eds.), Comprehensive Hard Materials, 2014, pp. 471-506.
 - [4] L.-M. Berger, Hardmetal Coatings - History and Perspective, in: Conference Proceedings 11. Kolloquium HVOF Spraying, Erding, 2018, pp. 57-72.
 - [5] G. Boletti, L.-M. Berger, T. Böhrer, H. Kovvalo, V. Mäkinen, L. Lusvarghi, C. Lypomo, N. Markosan, P. Nylen, P. Sossatelli, R. Trache, P. Vuoristo, Sliding and abrasive wear behaviour of HVOF- and HVAF-sprayed Cr₃C₂-NiCr coatings, Surface Coatings Technology 358-359 (2016) 32-50. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2016.03.034>
 - [6] S. Mathew, L.-M. Berger, Inter-diffusion between thermally sprayed Cr₃C₂-NiCr coatings and an Alloy 625 substrate during long-term exposure at 500 °C, 700 °C and 900 °C, Journal of Alloys and Compounds 770 (2019) 1076-1086. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2019.1076-1086>
 - [7] L.-M. Berger, R. Trache, F.-L. Toma, S. Thiele, J. Noparth, L. Janka, Development of cost-effective hardmetal coating solutions for high-tem-
 - perature applications, Part two: Effect of heat treatment and tribological properties, Thermal Spray Bulletin 9 (2016) 45-53.
 - [8] S. Kamal, R. Jayaraman, S. Prakash, Evaluation of cyclic corrosion behaviour of Cr₃C₂-NiCr and Cr₃C₂-25NiCr coatings on nickel-aluminide-based superalloys, Surface and Coatings Technology 203 (2009) 1004-1013. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2009.09.031>
 - [9] L. Janka, L.-M. Berger, J. Noparth, R. Trache, S. Thiele, C. Tomastik, V. Mäkinen, L. Lusvarghi, Impact of the high temperature abrasion resistance of thermally sprayed Cr₃C₂-NiCr coatings by WC addition, Surface and Coatings Technology 337 (2018) 296-305. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2018.01.032>
 - [10] V. Mäkinen, G. Boletti, H. Kovvalo, M. Heikkilä, M. Vippola, L. Lusvarghi, L. Janka, P. Poutomo, A Study of Cr₃C₂-Based HVAF and HVOC Sprayed Coatings - Microstructure and Carbide Formation, Journal of Thermal Spray Technology 26 (2017) 1239-1256. <https://doi.org/10.1601/0166-017-0578>
 - [11] L.-M. Berger, K. Körner, S. Conze, Oxidation Resistance of HVOF-sprayed WC-Cr₃C₂-NiCr Hardmetal Coatings, Proc. IFS 2015, angemommener Beitrag / accepted paper.
 - [12] H.J. Maier, M.R. Diaz, K. Möhwald, A. Fromm, R. Gavilta, C. Klose, Sauerstoffstoffe Produktion in fünf von sechs Fertigungsgruppen, in: T. Köngeter, A. Winkl (Eds.), Tagungsband zum GTW Kolloquium Themenheft Sprüten & Laser Cladding, Lüdenscheid, 2012, pp. 31-41.

50 THERMAL SPRAY BULLETIN 18 (2025) No. 1

Bildunterschrift

Fazit und Ausblick

Danksagung

4. Zusammenfassung

Die hier vorgeführten Ergebnisse fokussierten auf die Ausfallsicherheit von Hartmetallschichten durch Oxidation und Delamination. Die Zunderstandigkeit hängt vom Cr₃C₂-Gehalt ab, nur die 75WC-20Cr-3Ni-Schicht erwies sich unter den untersuchten Bedingungen nicht als langlebig. Die Dauerhaftigkeit der Schichten entsprach dem Substratwerkstoff bestimmt. Bei der 75WC-20Cr-3Ni-Schicht erwies sich die Bildung einer SiO₂-Lage an der Delaminationsschicht als problematisch.

Dankesagung

Das Projekt wurde durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Der Förderschwerpunkt lag auf der Entwicklung von Schweißverfahren

Schweißen und verarbeitende Verfahren

Schweißen und verarbeitende Verfahren