

Mobiles Plasma-Pulver-Handauftragschweißen: Erfahrungen aus der Praxis

Frank Schreiber, Willich / D

Expenses resulting from outage and replacement of machines can be reduced by hard-facing metallic surfaces to protect them against extreme abrasion. There are many processes for surface welding such as oxyacetylene surfacing with powders or rods, electric arc welding, inert-gas welding, open-arc-welding and Plasma-Arc-Powder-surface welding (PTA). PTA welding has become more important in the past few years. But while the other processes could be applied as manual processes PTA surface welding has primarily been applied as mechanised or automated process. At one time, the equipment for manual PTA welding was very expensive compared to other conventional manual welding processes, so small or middle size companies seldom used it. But since manual surfacing is very important in industrial application special manual torches and mobile equipment for PTA-welding have been developed in the past few years. Experiences with this process in industrial application showed that the manual PTA-welding is a good addition to conventional manual welding processes. This report presents applications in several industrial fields and some new hard material alloys for protection against abrasion.

1 Einleitung

Bauteile und Maschinenkomponenten in den unterschiedlichsten Industriezweigen, wie z.B. im Bereich des Anlagen-, Apparate- und Maschinenbaus sowie der Antriebstechnik, der Verfahrens- und Umwelttechnik, unterliegen komplexen Beanspruchungen aus Verschleiß, Korrosion und Temperatur. Dies führt oft an die Beanspruchungsgrenze herkömmlicher Werkstoffe, da z.B. konventionelle Stähle als Knetlegierungen technisch in ihren Legierungsgehalten und demzufolge in ihrer Verschleißbeständigkeit begrenzt sind. Zum Schutz der Bauteile gegen o.g. Beanspruchungen kommt dem Auftragschweißen von Schutzschichten in zunehmendem Maße besondere Bedeutung zu. Es stellt eine wirtschaftliche Maßnahme dar, extreme Kosten aufgrund von Ausfallzeiten oder Reparatur im Betrieb derartiger Anlagen zu sparen. In der Regel werden Panzerungen gegen Verschleiß oder Plattierungen gegen Korrosion durch das Metallschutzgas-, Open-Arc-, Elektroden-Hand- oder autogenes Auftragschweißen hergestellt. Als Schweißzusätze kommen Fülldrahtelektroden, gefüllte Röhrchen oder Schweißpulver aus Eisen- und Nickelhartlegierungen, z.T. mit Wolframschmelzkarbid (WSC), zum Einsatz [1-4].

Gegenüber den genannten konventionellen Schweißverfahren gewinnt das Plasma-Pulver-(PTA: Plasma Transferred Arc)-Auftragschweißen in den letzten Jahren zunehmend an industrieller Bedeutung [5-7]. Das Konzept der Plasma-Pulver-Technik wurde für komplexe Schutzaufgaben entwickelt und zeichnet sich durch niedrige Aufmischungswerte kleiner 5% aus. Es lassen sich hiermit Schutzschichten herstellen, die schon einlagig mit Schichtdicken von 2-3mm einen extremen Verschleißschutz bieten. Bislang wurde dieses Verfahren vor allem teilmechanisiert oder vollautomatisiert zur Herstellung von Korrosions- und Verschleißschutzschichten eingesetzt, wie z.B. im Automobilbau zur Panzerung von Motorventilen oder zur Panzerung von

großflächigen Schalenschneiden im Tagebau. Aufgrund der relativ hohen Investitionskosten war aber dem Verfahren bislang der Weg in viele kleine und mittelständische Betriebe, die insbesondere manuelle Auftragschweißungen durchführen müssen, verschlossen. Die Praxis zeigt jedoch, daß das Hand-Auftragschweißen im industriellen Einsatz einen sehr großen Marktanteil einnimmt. Hierzu werden derzeit das manuelle Lichtbogenhand-, das Metallschutzgas- oder das autogene Auftragschweißen eingesetzt.

Im Rahmen dieses Beitrags soll anwendungsorientiert über den Einsatz des mobilen Plasma-Pulver-Auftragschweißens zur Herstellung von Schutzschichten gegen komplexe Beanspruchungen berichtet werden. Hierbei soll auf die Prozeß- und die derzeit verfügbare Gerätetechnik eingegangen werden. Am Beispiel von speziellen Hartlegierungen mit zusätzlich eingelagerten WSC- und VC- Karbiden werden Schichteigenschaften vorgestellt. Ausgewählte Anwendungsbeispiele von auftraggeschweißten Verschleißschutzschichten aus der industriellen Praxis werden diskutiert.

2 Plasma-Pulver-Auftragschweißen (PTA)

2.1 Verfahrensprinzip

Das PTA-Auftragschweißen ist durch den Einsatz des Plasmastrahls mit nichtabschmelzender Elektrode als primäre Wärmequelle gekennzeichnet, **Bild 1**. Für das Auftragschweißen werden in den meisten Fällen zwei Lichtbögen eingesetzt, die mit separaten Stromquellen unabhängig voneinander zu steuern sind. Der nicht übertragende Lichtbogen (Pilotlichtbogen) brennt zwischen Plasmaelektrode und Plasmadüse. Er wird durch eine Hochfrequenz-Zündeinheit (HF) gestartet und bildet die Basis zum Zünden des Hauptlichtbogens, der zwischen Werkstück und Plasmaelektrode brennt. Mittels starker HF-Zündeinheiten kann aber auf den nichtübertragenden Pilotlichtbogen verzichtet werden, da hiermit der Lichtbogen direkt zwischen Elektrode und Werkstück gezündet werden kann [4, 7].

Hierdurch bestehen Vorteile beim Schweißen von selbstfließenden Nickelbasislegierungen, z.B. des Typs NiCrBSi, da die Gefahr des Anhaftens von Pulverpartikeln im Bereich der Pulverdüse durch eine zu hohe Vorwärmung verringert wird. Ebenso können somit konventionelle Stromquellen zum Wolfram-Inertgasschweißen (WIG) zum Aufbau einer PTA-Anlage genutzt werden.

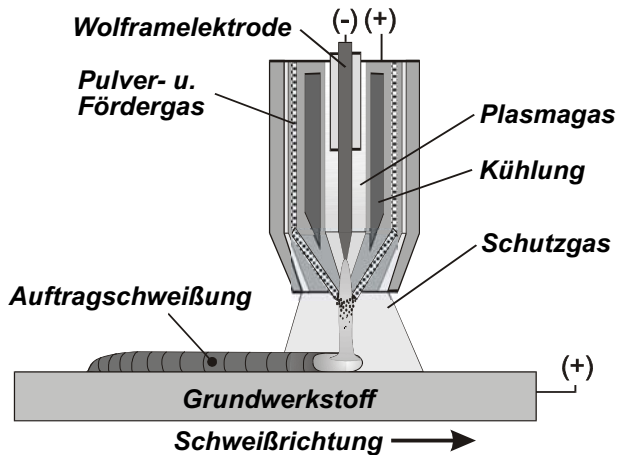


Bild 1. Verfahrensprinzip PTA-Auftragschweißen
Fig. 1. Principle PTA-surface welding

Das PTA-Auftragschweißen arbeitet mit pulverförmigem Zusatzwerkstoff, welcher aus einem Vorratsbehälter über eine Dosiervorrichtung mit Hilfe eines Fördergases dem Brenner zugeführt wird. Als Pulverförderer sind derzeit Schneckendosierer, Näpfchen- oder Walzen-Förderer unterschiedlicher Hersteller verfügbar. Grundsätzlich lassen sich Brenner-Systeme mit innerer und äußerer Pulverzufuhr unterscheiden. Im Falle der inneren Pulverzuführung gelangt das Pulver mit dem Trägergasstrom unmittelbar im Bereich der Plasmadüse, noch innerhalb der Brennergeometrie, in die Plasmasäule. Bei der äußeren Pulverzufuhr wird das Pulver erst außerhalb der Brennergeometrie dem Plasmastrahl zugeführt und verweilt damit wesentlich kürzer im Lichtbogen. Dies führt zu einer erheblich geringeren Wärmeaufnahme des Zusatzwerkstoffes, was sich insbesondere bei den selbstfließenden NiBSi-Legierungen mit WSC bewährt hat. Das PTA-Auftragschweißen läßt sich in die Bereiche Mikro-Plasma-Pulver-(MPTA), konventionelles Plasma-Pulver-(PTA)- und Hochleistungs-Plasma-Pulver-(HPTA)-Schweißen einteilen. Je nach Anwendungsbereich liegt die Abschmelzleistung zwischen 0,1 bis 2 kg/h beim MPTA für kleine Werkstückgeometrien, bis zu 6 kg/h beim konventionellen PTA-Beschichten oder >20kg/h beim HPTA-Auftragschweißen. Um hierbei den jeweiligen Anforderungen gerecht zu werden, kommen speziell entwickelte Brenner- und Fördersysteme zum Einsatz. Durch die Verwendung von Schweißzusatzpulvern eröffnet sich dem Anwender eine sehr große Palette von verarbeitbaren Legierungen. Durch den modularen Aufbau von Plasma-Pulver-Auftragschweißanlagen sowie durch Einsatz von

Schweißbrennern in verschiedenen Baugrößen mit angepaßter Leistungsfähigkeit eröffnet sich ein großes, von der Zugänglichkeit und Bauteilgröße nahezu unabhängiges Anwendungsgebiet, das durch den Einsatz konventioneller Schweißverfahren nicht erschlossen werden kann.

2.2 Anlagentechnik für das PTA-Handschiessen

Durch innovative Entwicklung der PTA-Auftragschweißtechnik im Bereich der Brennertechnik und der Stromquellentechnik stehen dem Anwender heute mobile, kostengünstige PTA-Handhabungssysteme, bestehend aus Stromquelle, Pulverförderer und Handbrenner, zur Verfügung. Als Stromquelle können kleinbauende Plasma-Stromquellen mit integrierter Ansteuerung für Pulverdosierung und Schweißgasregelung angeboten werden. Es können zum anderen kleine Mini-Inverterstromquellen (<8kg Gewicht) mit Hochfrequenzzündeinrichtung für das Wolfram-Inertgasschweißen (WIG) verwendet werden, die mit einer Steuerkonsole ergänzt werden. Voraussetzung ist, daß sie einen Schweißstrom von mindestens 130A zur Verfügung stellen können. Hierdurch wird der Neueinstieg eines Betriebes in die PTA-Technik erleichtert, da er vorhandene WIG-Stromquellen leicht und kostengünstig aufrüsten kann. Grundsätzlich können beide Anlagenmöglichkeiten auf handelsübliche Stromquellen-Fahrwagen aufgebaut werden. Aufgrund des niedrigen Gewichts kann die PTA-Anlage leicht zum Einsatzort transportiert werden. Zur Nutzung der PTA-Verfahrensvorteile für das Handauftragschweißen wurden in den letzten Jahren besondere Handbrenner entwickelt, **Bild 2**.



Bild 2. PTA-Handbrenner
Fig. 2. PTA-manual torch

Es wurden hierbei Abmessungen verwirklicht, die vergleichbar mit WIG-Brennern sind. Durch ein spezielles Kühlsystem des Schweißkopfes kann der Brenner bis 120A belastet werden, wobei Pulverdüse und Plasmadüse indirekt gekühlt werden. Der Brenner läßt sich einfach warten, da keine offene Kühlwasserkreisläufe und Dichtungsringe beim Wechsel von Verschleißteilen zu beachten sind. Durch eine Abschmelzleistung bis 1,5kg/h in Verbindung mit einer Aufmischung von unter 5% kann das PTA-System wirtschaftlich eingesetzt werden.

Der Schweißprozeß selbst wird über einen Fuß-Fernregler gestartet und gesteuert. Bei Stromstärken von max. 50A kann zunächst der Beschichtungsbereich auf ca. 100°C vorgewärmt werden. Hiernach wird die Pulver-Auftragsmenge direkt am Handgriff durch den Schweißer dosiert zugegeben und der Hauptstrom durch den Fuß-Fernregler angepaßt. Die Schichtdicke der PTA-Auftragung kann gezielt zwischen 0,3 bis 2mm eingestellt werden. Aufgrund der guten und einfachen Regelbarkeit des Schweißprozesses lassen sich Hartauftragung auch auf Bauteilen mit Wandstärken von 1mm ausführen. Hierbei bieten sich durch die Möglichkeit der Herstellung hochhartstoffhaltiger Schutzschichten technische Lösungen zur Verbesserung der Korrosions- und Verschleißbeständigkeit der Bauteile. Weiterhin wird durch das Auftragschweißen mit dem PTA-Verfahren hinsichtlich Verzug, Wärmebeeinflussung des Grundwerkstoffes und Schichtoberflächengüte ein Minimum an Nacharbeit erreicht und somit die Gesamtkosten der Verbundausführung gering gehalten.

3. Verschleißschutzlegierungen und Schichteigenschaften

Besondere Bedeutung bei der anwendungsgerechten Auslegung des Verschleißschutzes von Bauteilen hat die Auswahl des Werkstoffes. Der Grundwerkstoff wird im allgemeinen entsprechend den mechanischen Anforderungen an das Bauteil ausgewählt. Der Schweißzusatz richtet sich dagegen nach der zu erwartenden Beanspruchung der Oberfläche, wie z.B. abrasivem Verschleiß, Korrosion, Erosion, Kavitation, etc.. Je nach Beanspruchung und Verfügbarkeit kommen zur Herstellung von Verschleißschutzschichten gemäß EN DIN 8555 mehrphasige Beschichtungswerkstoffe zum Einsatz. Hierbei sind auf Fe-Basis die FeCrC-Legierungen, auf Ni-Basis die selbstfließenden NiBSi bzw. NiCrBSi-Legierungen und auf Co-Basis die Stellite-Legierungen als typische Beispiele zu nennen. Hierbei bestimmt die Bildung von arteigenen Hartphasen wie Karbiden, Nitriden, Boriden und/oder Siliziden in einer vergleichsweise zähen Matrix durch ihre Größe, Verteilung und Ausbildung primär den Verschleißwiderstand der Auftragschweißung gegenüber abrasiven, adhäsiven und/oder erosiven Beanspruchungen.

In **Bild 3** ist das typische Mikrogefüge einer PTA-Auftragschweißung aus einer Fe-Hartlegierung mit 22%Cr, 3,8%C, 0,8%V und 0,8%W dargestellt. Derartige Auftragschweißungen weisen bereits einlagig geschweißt Härten von 60HRC auf. Aufgrund des Vanadinzusatzes werden relativ kleine Chromkarbide gebildet. Typische Anwendung ist die Panzerung von Preßschnecken für die Ziegelindustrie. Bei sehr gutem Schutz gegenüber Abrasion weisen die Schichten noch genügendes Gleitverhalten auf. Rißbildung in der Schicht ist aufgrund der Bildung von Karbidnetzwerken nicht vermeidbar.

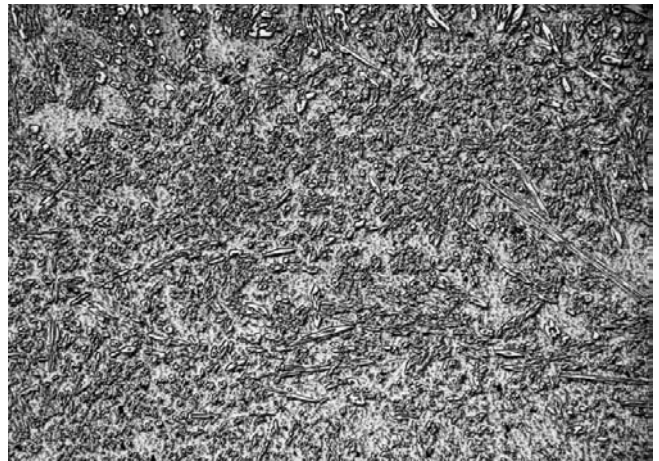


Bild 3. Mikrogefüge PTA-Auftragschweißung: FeCrCVW-Legierung (V=50:1)

Fig. 3. Microstructure of a PTA-hardfacing: FeCrCVW-alloy (V=50:1)

Zur Herstellung rißfreier Panzerungen auf Fe-Basis gewinnen FeCrMoV-Legierungen mit 12 bis 18%V zunehmend an Bedeutung. Hierbei wird bei der schweißtechnischen Verarbeitung Vanadinkarbid gebildet, das eine Härte von ca. 2900HV aufweist. Das Vanadinkarbid scheidet sich gegenüber Chromkarbid sehr feinkörnig und feinverteilt aus, wobei die Kongröße zwischen 5 und 10µm beträgt. Hierdurch bedingt lassen sich rißfreie Panzerungen herstellen, die Schichthärten zwischen 61HRC (10%V) und 65 HRC (18%V) aufweisen, **Bild 4**.

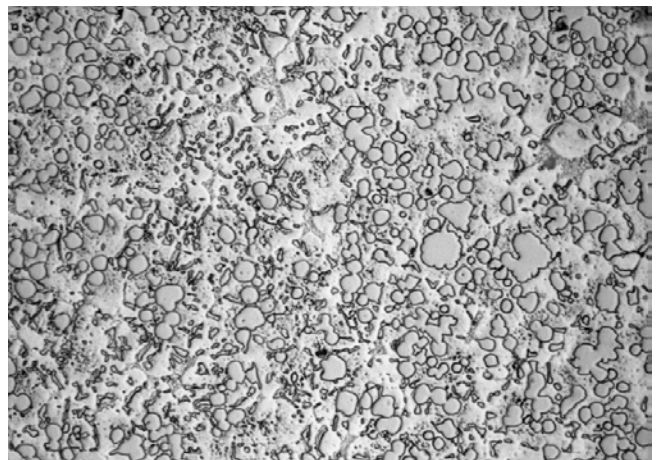


Bild 4. Mikrogefüge PTA-Auftragschweißung: FeCrCMo-Legierung mit 18%VC (V=500:1)

Fig. 4. Microstructure of a PTA-hardfacing: FeCrCMo-alloy with 18%VC (V=500:1)

Bei hochabrasiver Beanspruchung haben sich sogenannte Pseudo-Legierungen industriell durchgesetzt. Diese Legierungen sind mechanische Pulvermischungen, bestehend aus Hartlegierungspulver und Hartstoffen. Nach der schweißtechnischen Verarbeitung entstehen hiermit Werkstoffgefüge mit einer relativ zähen Matrix, in der Hartstoffpartikel metallurgisch fest eingebunden sind.

Hierbei ist vor allem die Legierung NiBSi mit bis zu 60% Wolframschmelzkarbid (WSC) zu nennen. Das Karbid WSC ist ein eutektisches Gemenge bestehend aus WC und W_2C . Bedingt durch diese beiden Phasen weist WSC eine sehr hohe Härte (bis 2200HV) bei gleichzeitig genügender Duktilität auf, **Bild 5**.



Bild 5. Mikrogefüge PTA-Auftragschweißung: NiBSi + 60%WSC (V=100:1)

Fig. 5. Microstructure of a PTA-hardfacing: NiBSi + 60%WSC (V=100:1)

Die Härte der Matrix kann durch unterschiedliche Boranteile an den jeweiligen Beanspruchungsfall eingestellt werden. Bei zu hoher thermischer Einwirkung durch den Lichtbogen beginnt das WSC sich zu WC zu zersetzen, wodurch die Verschleißbeständigkeit je nach Beanspruchung verringert werden kann. Um ein Auswaschen der NiBSi-Matrix zwischen den eingelagerten WSC-Partikeln zu vermeiden, wurde in den letzten Jahren eine Legierung mit zusätzlich eingelagertem Vanadinkarbid entwickelt, **Bild 6**.



Bild 6. Mikrogefüge PTA-Auftragschweißung: NiBSiVC+60%WSC (V=200:1)

Fig. 6. Microstructure of a PTA-hardfacing: NiBSiVC+60%WSC (V=200:1)

Hiermit wurde der metallurgische Effekt genutzt, daß sich aufgelöstes VC wieder als VC ausscheidet. Ebenso kann freies Vanadin mit dem vom zersetzten WSC diffundierenden Kohlenstoff VC bilden. Die hierdurch verstärkten Matrixbereiche weisen Härtewerte bis zu 1200HV auf. In verschiedenen Feldversuchen, z.B. in der Landwirtschaft, konnte die Verschleißbeständigkeit, insbesondere bei hohen Anteilen von feinen Abrasivstoffen, deutlich verbessert werden.

4 Erfahrungen aus der Praxis

Das mobile PTA-Handauftragschweißen wird heute zunehmend eingesetzt und stellt eine Ergänzung zu konventionellen Verfahren wie dem Autogen-, dem Lichtbogenhand- und dem Metallschutzgasschweißen dar. Angewendet wird es dort, wo örtlich begrenzte Bereiche von Bauteilen auch komplexer Geometrie geschützt werden müssen. Durch den kompakten Aufbau der Stromquellen und der Peripheriegeräte, bestehend aus Pulverförderer, Fußschalter und Gasversorgung, läßt sich die Anlage leicht zu größeren, schweren Bauteilen transportieren, so daß Ausbesserungsarbeiten bzw. Neubeschichtungen ohne aufwendige Demontage der Bauteile einfach durchführbar sind. Bedingt durch die Prozeßvorteile beim PTA-Schweißen lassen sich Panzerungen sehr gleichmäßig mit hoher Oberflächenqualität ausführen. Aufwendige Nachschleifarbeiten können somit minimiert werden. Als Beispiel hierfür ist die Ausbesserung von Mixern zur Aufbereitung von abrasiven metallischen Rohstoffen zu nennen, **Bild 7**. Hierbei werden Fe-Hartlegierungen eingesetzt.



Bild 7. PTA-Handbrenner: Panzern von Mixern
Fig. 7. PTA-manual torch: hardfacing of mixers

Eine weitere Anwendung ist die Nachpanzerung der Fügebereiche von Schweißverbindungen. Bauteilkonstruktionen, wie z.B. Separatoren in der Ölindustrie, bestehen aus Gußkonstruktionen mit angeschweißten Flanschen sowie Verschleißplatten-Auskleidungen, **Bild 8**.

Nach dem Zusammenbau der Anlage werden Schweißverbindungen der Auskleidungen und Flansche durch das PTA-Panzern von Hand geschützt. Im späteren Einsatz der Anlagen wird während der Wartungsarbeiten örtlicher Verschleiß an den Bauteilen mit dem PTA-Verfahren sofort vor Ort ausgebessert. Weitere Anwendung findet das PTA-Handschweißen überall dort, wo kleinere Bauteile in relativ kleinen Stückzahlen örtlich begrenzt geschützt werden müssen und der Einsatz von z.B. Robotern nicht wirtschaftlich ist. Ohne aufwendige Positionierungen können Panzerungen von hoher Qualität auch in Schichtdicken von 1mm schnell hergestellt werden. Als weitere Beispiele sind hierfür Panzerungen von Mischerflügeln, Bohrkronen, Förderschnecken zu nennen.



Bild 8. PTA-Panzern von Verbindungsschweißungen
Fig. 8. PTA-hardfacing of joint welds

5 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen des Beitrags wurde über das mobile PTA-Auftragschweißen mit Handbrennern berichtet. Es wurde gezeigt, daß aufgrund neuester Entwicklungen im Bereich der Brennertechnik und vor allem der Stromquellentechnik der Investitionsaufwand beim PTA-Schweißen reduziert werden kann. Es wurden Schichteigenschaften von neuentwickelten Schweißzusatzlegierungen vorgestellt und mit konventionellen Hartlegierungen verglichen. Durch kombinierten Einsatz von Karbiden des Typs WSC und VC läßt sich der Verschleißwiderstand von Ni-Basislegierungen verbessern. Abschließend wurden ausgewählte Beispiele des PTA-Handschweißens in verschiedenen Industriebereichen vorgestellt und diskutiert. Aufgrund der günstigen Entwicklung der PTA-Komponenten wird sich in den nächsten Jahren das PTA-Schweißen auch in kleinen Betrieben mehr und mehr durchsetzen.

6 Schrifttum

[1] Uetz, H.:
Abrasion und Erosion.
Carl Hanser Verlag München (1986)

- [2] Knotek, O., E. Lugscheider und H. Eschnauer:
Hartlegierungen zum Verschleißschutz.
Verlag Stahleisen m.b.H., Düsseldorf (1975)
- [3] Fischer, A.: Hartlegierungen auf FeCrCB-Basis
für die Auftragschweißung.
Fortschrittsberichte der VDI-Zeitschriften, Reihe 5
VDI-Verlag GmbH Düsseldorf (1984)
- [4] Schreiber, F.:
Verschleißschutz durch Auftragschweißen:
Werkstoffauswahl und Anwendungstechnik
Schriftenreihe: Werkstoffe und Werkstoff-
technische Anwendungen, Bd. 7
Hrsg. B. Wielage, Verlag Mainz, Aachen (2001),
S. 141-148
- [5] Draugelates, U., B. Bouaifi, S. Gießler
u. F. Schreiber:
Verschleißschutz gegen komplexe
Beanspruchungen durch Plasma-Pulver-
Auftragschweißungen mit Hartstoffeinelagerungen.
DVS-Berichte, Band Nr. 175 (1996), S. 137-142
- [6] Aydin, I. u. H. Küpper:
Plasma-Auftragschweißen mit wolframschmelz-
karbidhaltigen Metallpulvern und ihre
Einsatzgebiete.
DVS-Berichte Bd. 175 (1996), S. 137-142
- [7] B. Bouaifi und B. Reichmann:
Neue Anwendungsfelder durch die Entwicklung
des Hochleistungs-PTA-Auftragschweißens.
Schweißen u. Schneiden 49 (1997) 9, S. 734-736
- [8] Gebert, A. u. H. Heinze:
Verschleißschutz durch Auftragschweißen-
Innovative Verfahrens- und Werkstoffkonzepte.
Schriftenreihe: Werkstoffe und Werkstoff-
technische Anwendungen, Bd. 7,
Hrsg. B. Wielage, Verlag Mainz, Aachen (2001),
S. 129-135