

Sonderdruck aus Jahrgang 47 · (2006) Heft 10 · Seiten 6/16

Bauverlag BV GmbH
Avenwedder Straße 55
33311 Gütersloh
Telefon: ++49 (0) 52 41/8 08 93 68
Fax: ++49 (0) 52 41/8 09 41 14

Die Verschleißverbundplatte – das Halbzeug zum erfolgreichen Einsatz gegen Abrasion

Wear-Resistant Composite Sheets – the Semi-Finished Product for Large-Area Application against Abrasion

Dr. Helmut Riegger, Dr. Wolfgang Wahl, Ostfildern

Die Verschleißverbundplatte – das Halbzeug zum erfolgreichen Einsatz gegen Abrasion

Wear-Resistant Composite Sheets – the Semi-Finished Product for Large-Area Application against Abrasion

La tôle rechargée produit semi-ouvré – efficace contre l'abrasion

La placa compuesta antidesgaste – el semiproducido para una exitosa acción contra la abrasión

Dr. Helmut Riegger, Dr. Wolfgang Wahl, Ostfildern*)

Zusammenfassung Verbundplatten sind eine kostengünstige Lösung für Auskleidungen und für großflächigen Verschleißschutz. Durch eine geeignete Auswahl der Verschleißschuttschicht (korrosionsbeständig, schlagbeständig, hitzebeständig usw.) lassen sich intelligente Lösungen für besondere Fälle erzeugen. Bei Verbundplatten ist eine Reparatur oder Regeneration des Bauteils mit Fülldraht oder Elektrode immer möglich. Der Einsatz dieser Verschleißverbundplatten führt sowohl als auch zu Kosteneinsparungen im Instandhaltungsbereich bereits beim Neueinsatz von Maschinen zu wirtschaftlichen Lösungen gegen Abrasion und Verschleiß.

Summary Composite sheets represent a low-cost solution for linings and large-area wear protection. With the appropriate selection of the wear protection layer (corrosion-resistant, impact-resistant, heat-resistant, etc.), intelligent solutions for special applications can be developed. For composite sheets, a repair or regeneration of the component with filler wire or electrodes is always possible. The use of these wear-resistant composite sheets leads to cost savings in maintenance, but also to cost-efficient solutions to abrasion and wear in new machines.

Résumé Les plaques composites sont une solution économique comme revêtements et protection contre l'usure sur grandes surfaces. Par un choix approprié de la couche antiusure (résistance à la corrosion, résistance au choc, résistance à la chaleur etc.), on peut réaliser des solutions intelligentes adaptées aux cas particuliers. Avec les plaques composites, une réparation ou régénération du composant par fil fourré ou électrode est toujours possible. Les plaques d'usure composites permettent d'économiser des frais dans le domaine de la maintenance et même sur le matériel neuf elles offrent des solutions économiques contre l'abrasion et l'usure.

Resumen Las placas compuestas son una solución económica para revestimientos y para proteger contra el desgaste grandes superficies. Mediante una selección adecuada de la capa de protección contra el desgaste (anticorrosiva, resistente a los golpes, resistente al calor, etc.) se obtienen soluciones inteligentes para casos especiales. Con las placas compuestas siempre es posible reparar o regenerar el elemento de construcción con alambre de relleno o electrodos. La utilización de estas placas compuestas antidesgaste supone la reducción de costes en el área de mantenimiento y ya da lugar también, con la nueva utilización de máquinas, a soluciones rentables contra la abrasión y el desgaste.

1. Einführung

In den letzten Jahrzehnten hat die Verschleißverbundplatte als Halbzeug einen beinahe unbemerkten Siegeszug angetreten. Sie wird überall dort eingesetzt, wo große Flächen gegen abrasiven Verschleiß geschützt werden müssen. Der Einsatz dieser Platten verlängert die Lebensdauer der betreffenden Maschinenelemente um das Fünf- bis Zehnfache gegenüber den üblichen Baustählen, aber auch gegenüber den ebenfalls gegen Verschleiß eingesetzten Feinkornbaustählen ist eine Verlängerung der Lebensdauer um einen Faktor zwei bis vier leicht zu erreichen. Der höhere finanzielle Aufwand für eine Verbundplatte wird durch Einsparungen in der Instandhaltung, durch Erhöhung der Produktivität und durch verschobene Reinvestitionen mehr als ausgeglichen; der Einsatz von Verschleißverbundplatten bedeutet ein Sparprogramm für das Instandhaltungs- und Investitionsbudget.

2. Beschreibung und Möglichkeiten

Da sich Verschleiß in der Bauteiloberfläche vollzieht, ist es naheliegend, allein diesen dem Abtrag ausgesetzten Bereich in Richtung einer verbesserten Verschleißbeständigkeit zu verändern. **Bild 1** zeigt einen Schnitt durch eine Verschleißverbundplatte, der den Baustahl als „Konstruktionsbasis“ und den wesentlich härteren

1. Introduction

Wear-resistant composite sheets are semi-finished sheet metal products consisting of a tough base material (primarily structural steel) with a highly wear-resistant, hard facing welded on to it. They are suitable as structural elements for large-area application to combat abrasion.

Over the last few decades wear-resistant composite sheets have embarked almost unnoticed on a march of triumph. The use of such sheets lengthens the lifetime of the respective machine components by five to ten times compared to standard structural steels. But even compared to the fine-grained structural steels also used to combat wear, an increase in the component lifetime by a factor of 2 to 4 is easily possible. The higher financial expense for composite sheets is more than offset by savings in maintenance, improved productivity and delayed reinvestment: the application of wear-resistant composite sheets constitutes a savings programme for the maintenance and investment budget.

2. Description and Possibilities

As wear attacks the component surface, it is only logical to change just the area exposed to the abrasion in order to improve its wear resistance. **Fig. 1** shows a section through a wear-resist-

*) Vautid-Verschleiß-Technik GmbH, Ostfildern

*) Vautid-Verschleiss-Technik GmbH, Ostfildern

und verschleißresistenteren Auftrag verdeutlicht. Der Auftrag wird nach tribologischen Gesichtspunkten ausgewählt, das heißt, dass das Beanspruchungskollektiv an die großflächigen Bauteile zuerst definiert werden muss und danach die Zusammensetzung der Legierung bestimmt wird. Abrasion, Schlag, Korrosion und Wärme sind die häufigsten Beanspruchungen, nach denen eine Verbundplatte maßgeschneidert hergestellt wird. Die „Schleißschärfe“ des transportierten oder bearbeiteten, vorwiegend mineralischen Materials bestimmt ebenfalls die Legierung, denn der Auftrag sollte in jedem Fall deutlich härter sein als das „prozessierte“ mineralische Material.

Aufgrund dieser Überlegungen entsteht eine maßgeschneiderte Lösung für jeden einzelnen Anwendungsfall, da sowohl die Dicken der beiden Verbundschichten als auch ihre Qualitäten ausgewählt werden können. So entstehen Auswahlmöglichkeiten nach **Tabelle 1**. Es ist selbstverständlich, dass der Konstrukteur die Werkstoffauswahl für den Verbund einheitlich bestimmt: Ein Edelstahl wird in Verbindung mit einer nicht korrodierenden Schicht, ein hitzebeständiger Stahl wird in Verbindung mit einem hitzeresistenten Auftragschweißwerkstoff eingesetzt.

Die beiden Dicken bestimmt ebenfalls der Konstrukteur. Es haben sich jedoch ohne Norm die Kombinationen 5+3, 6+4 und 8+5 für den europäischen Markt durchgesetzt. Für den amerikanischen Markt, der ebenfalls bedeutende Mengen Verschleißverbundplatten benötigt (z. B. bei der Verarbeitung von Ölsand usw.), richten sich die Dicken der Bleche nicht nach metrischen Maßen.

3. Metallkunde der Auftragschweißschicht

Das „Geheimnis“ der längeren Standzeiten von Verbundplatten und Auftragschweißwerkstoffen gegenüber herkömmlichen

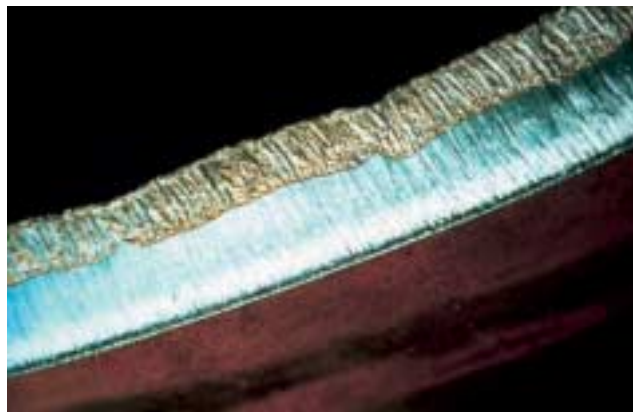


Bild 1: Schnitt durch eine Verschleißverbundplatte, bestehend aus einem 8 mm dicken Baustahlblech und einer 5 mm dicken Auftragschweißung aus Chromkarbiden

Fig. 1: Section through a wear-resistant composite sheet made of an 8-mm-thick structural steel sheet and a 5-mm-thick hard-facing with chromium carbides

ant composite sheet, with the structural steel as the “structural base” and the much harder and wear-resistant facing. The facing is selected according to tribological criteria, i. e. the collective stresses applied to the large-area components must first be determined and then the composition of the alloy selected accordingly. Abrasion, impact, corrosion and temperature are the most common stresses on the basis of which composite sheets are tailored. Selection of the alloy facing also depends on the abrading action of the transported or processed, mainly mineral material as the hard facing should always be much harder than the mineral material processed.

On the basis of these considerations, a tailored solution for the specific application is elaborated with specific selection of both the thicknesses and the grades of the two layers of the composite sheet. A portfolio of possible selections is available as listed in **Table 1**. Naturally, the design engineer chooses an uniform combination of materials for the composite; stainless steel is used in combination with a non-corrosive layer, a heat-resistant steel is used in combination with a heat-resistant facing material.

The design engineer also chooses the thicknesses of the two layers. However, even without standards, the combinations 5+3, 6+4 and 8+5 have become established on the European market. For the American market, where there is a significant demand for wear-resistant composite sheets (e. g. for processing oil sand, etc.), the thicknesses of the plates are based on non-metric dimensions.

3. Metal Science of the Hard Facing

The “secret” of the longer lifetimes of composite sheets and hard-facing materials compared to conventional solutions lies in the metal science of these alloys and the applied method of hard

Tabelle 1: Portfolio von Verbundplatten, maßgeschneidert für die Anwendung

Table 1: Portfolio of a composite sheet, tailored for the specific application

	Kombinationsmöglichkeit Possible combinations	
Mögliche Verbunddicken (mm) Possible composite thicknesses (mm)	Mögliche Grundwerkstoffe Possible base materials	Mögliche Auftragschweißwerkstoffe Possible hard facing materials
5 + 3	Baustahl Structural steel	Chromkarbide in Fe-Matrix Chromium carbides in Fe matrix
6 + 4	Edelstahl Stainless steel	Wolframkarbide in Fe-Matrix Tungsten carbides in Fe matrix
8 + 5	Hitzebeständiger Stahl Heat-resistant steel	siehe oben, mit erhöhtem Nickelgehalt see above, with increased nickel content
10 + X	Feinkornbaustahl Fine-grained structural steel	siehe oben, mit erhöhtem Niobgehalt see above, with increased niobium content
...	...	siehe oben, mit erhöhtem Borgehalt see above, with increased boron content
...	...	...
Y + X	...	...

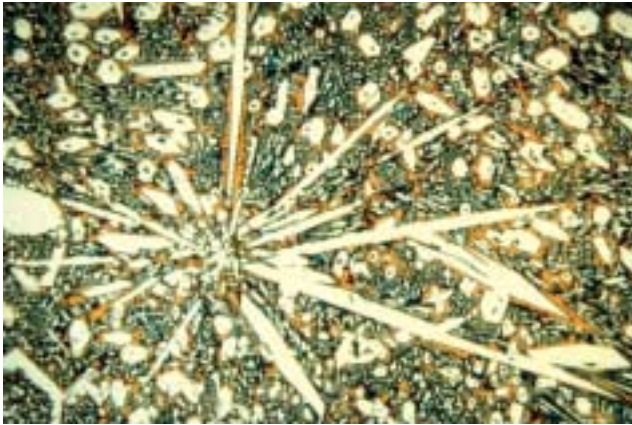


Bild 2: Primäre Chromkarbide in einer eutektischen Matrix aus Austenit und Chromkarbid. Die Legierung enthält 4,5 % C, 28 % Cr und etwa 65 % Fe

Fig. 2: Primary chromium carbides in an eutectic matrix of austenite and chromium carbide. The alloy contains 4.5 % C, 28 % Cr and around 65 % Fe

Lösungen liegt in der Metallkunde dieser Legierungen und im verwendeten Auftragschweißverfahren. Im Lehrbuch von H. Uetz u. a. [1] wird unter anderem auch der wesentliche Einfluss des Gefüges auf die Verschleißfestigkeit beschrieben.

3.1 Verschleißwiderstand

Entscheidend für den Verschleißwiderstand ist das Härteverhältnis von Grundkörper (Maschinenelement) zu Gegenkörper (Prozesswerkstoff, vorwiegend mineralisch). Eine isolierte Betrachtung der Härte nur eines Partners ist für die Verschleißanalyse wenig hilfreich. Die überlegene Härte des Grundkörpers „Verschleißplatte“ wird durch sehr harte Karbide eingestellt, die in einer zähen Matrix gebunden sind. Bei den Verschleißplatten handelt es sich vorwiegend um Chromkarbide mit einer Härte von 2.200 HV [1], eingebettet in eine duktile, eutektische Matrix auf Eisenbasis, so dass eine Gesamthärte von etwa 750 bis 850 HV entsteht (Bild 2). Es ist auch möglich, die wesentlich härteren Wolframkarbide mit 3.000 HV in eine Eisenmatrix einzubetten. Das Gefüge dieser Pseudoalloyierung zeigt Bild 3.

Im Gegensatz zu Feinkornbaustählen, bei denen thermomechanische Behandlungen zur Erhöhung von Härte und Verschleißfestigkeit führen, besitzt die Hartschicht von Verbundplatten ein übereutektisches Gefüge im Dreistoffsystem Fe–C–Cr, deren Karbidhärte höher ist als die von Fe_3C . Sie wird vom Legierungselement Chrom und vom Typ der harten Phase bestimmt. Auch andere Elemente, die gezielt zulegiert werden, tragen zur Härte und zu den Gesamteigenschaften bei. Die Härte von MC-Karbid ist höher als die von M_7C_3 -Karbiden.

Der Verschleißwiderstand wird sowohl mit steigendem Karbidgehalt und damit abnehmendem freiem Karbidabstand als auch mit zunehmender Karbidgröße verbessert. Die mit zunehmendem Karbidgehalt verbundene Zähigkeitsabnahme kann besonders bei Schlagbeanspruchung zu Ausbrüchen aus der Oberfläche führen. Hiergegen lassen sich wiederum durch geeignete Legierungselemente wie Niob die Matrix und die Karbide so verändern, dass die Auftragschweißschicht bis zu einem gewissen Grade auch Schlagbeanspruchung widersteht. Die Auswirkungen der Legierungselemente wurden eingehend untersucht [2, 3], sodass nicht nur die Gesamtplatte, sondern auch das Mikrogefüge einen maßgeschneiderten Charakter besitzt.

3.2 Korrosionseigenschaften

Die Korrosionsbeständigkeit von Verbundplatten auf Fe–C–Cr-Basis ist ähnlich der von hochchromhaltigen Stählen. Chrom ist jedoch zu einem hohen Maße in den Chromkarbiden gebun-

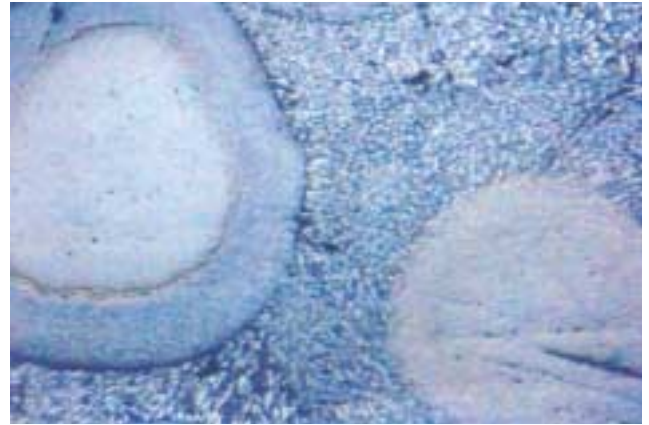


Bild 3: Kugelige Wolframschmelzkarbide in Eisenmatrix. Die Legierung enthält etwa 40 Vol.-% WSC

Fig. 3: Nodular tungsten carbide in an iron matrix. The alloy contains around 40 vol.-% tungsten carbide

facing. In the text book by H. Uetz et al. [1], the crucial influence of the microstructure on wear resistance is described.

3.1 Wear resistance

Crucial for wear resistance is the hardness ratio of the base body (machine element) to the counter-body (processed material, predominantly mineral material). An isolated study of the hardness of only one of the partners is not very useful for wear analysis. The superior hardness of the base body “wear-resistant sheet” is achieved as a result of the extremely hard carbides bonded in a tough matrix. In the case of wear-resistant sheets, these hard carbides are usually chromium carbides with a hardness of 2,200 HV [1], embedded in a ductile, eutectic matrix on an iron basis, so that total hardness of around 750–850 HV is obtained (Fig. 2). It is also possible to embed much harder tungsten carbides with 3,000 HV in an iron matrix. The microstructure of this pseudoalloy is shown in Fig. 3.

In contrast to fine-grained structural steels, in which thermomechanical treatment effects the increase in their hardness and wear resistance, the hard facing of composite sheets has a hypereutectic microstructure in the ternary system Fe–C–Cr, with a carbide hardness that is much higher than that of Fe_3C . It is determined by the alloying element chromium and the type of hard phase. Other alloy elements that are selectively added by alloying contribute to the hardness of the sheets and their overall properties. The hardness of MC carbides is higher than that of M_7C_3 carbides.

Wear resistance is improved with an increasing carbide content and therefore with a decreasing free carbide spacing as well as with increasing carbide size. The decrease in toughness associated with increasing carbide content can lead to surface spalling, particularly when the surface is exposed to impact stress. To avoid this, suitable alloying elements such as niobium can be used to change the carbides and matrix so that the facing can also withstand impact to a certain extent. The effects of the alloying elements have been studied in detail [2, 3] so that not only the entire sheet but also the microstructure has a tailored character.

3.2 Corrosion properties

The corrosion resistance of composite plates on Fe–C–Cr basis is similar to that of high-chromium steels. Chromium, however, is largely bonded in the chromium carbides so that matrix cannot withstand chemical attack without the addition of other alloy elements. The addition of nickel improves corrosion resistance, the

Tabelle 2: Auftragschweißverfahren und ihre Wirtschaftlichkeit
Table 2: Hard facing methods and their cost efficiency

Auftragschweißverfahren Hardfacing method	Abschmelzleistung kg/h Fusing rate kg/h	Aufmischung (%) Blend (%)
Autogenes Schweißen Autogeneous welding	0.8	0.1–20
WIG-Schweißen TIG welding	2	7–20
Plasma-Pulver-Auftragschweißen Plasma arc welding	8–10	2–20
UP-Schweißen Submerged arc welding	12–18	30–40
Sonderverfahren Special methods	20–40	15–25

den, sodass die Matrix ohne Zugabe von weiteren Legierungselementen einem chemischen Angriff nicht widerstehen kann. Zusätze von Nickel erhöhen die Korrosionsbeständigkeit, das Grundmaterial sollte in solchen Fällen ebenfalls aus Edelstahl bestehen.

3.3 Wärmebeständigkeit

Die Standardqualitäten auf Fe–C–Cr-Basis sind bis etwa 350 °C einsetzbar. Für Einsätze bei höheren Temperaturen bis 650 °C (Gichtglocken) oder bis 850 °C (Hochfenschurren) sind spezielle Hochtemperaturqualitäten kommerziell verfügbar. In Verbindung mit hitzebeständigen Stählen sind diese Lösungen sehr erfolgreich, da sie mit konstruktiven Lösungen gegen Verschleiß wie autogener Verschleißschutz usw. kombiniert werden.

3.4 Auftragschweißverfahren und Schweißraupen

Tabelle 2 zeigt verschiedene Auftragschweißverfahren. Für großflächige Auftragungen ist die Abschmelzleistung aus wirtschaftlichen Gründen von entscheidender Bedeutung. Mit unterschiedlichen Schweißzusatzwerkstoffen wie Elektrode, Fülldraht, Pulver oder Kombinationen aus Draht und Pulver werden mehr oder weniger breite Schweißraupen über das Grundblech gezogen. Schweißgeschwindigkeit und Abschmelzleistung bestimmen die Dicke der Auftragsschicht.

Für den Verschleißwiderstand ist die Richtung der Schweißraupen zur Verschleißrichtung von entscheidender Bedeutung. Es ist nicht sehr vorteilhaft, die Schweißraupen parallel zur Verschleiß-



Bild 4: Empfohlene Schweißraupenrichtung in Rohren
Fig. 4: Recommended welding bead direction in pipe

base material should also be stainless steel for applications in corrosive environments.

3.3 Heat resistance

The standard grades on Fe–C–Cr basis can be used in temperatures up to around 350° C. For applications at higher temperatures to 650° C (throat stoppers) or to 850° C (blast furnace chutes), special high-temperature grades are commercially available. Used in conjunction with heat-resistant steel, these solutions are very effective as they are combined with structural solutions to wear such as autogenous wear protection, etc.

3.4 Hard facing methods and welding beads

The various hard facing methods are shown in **Table 2**. For hard facing of large areas, the fusing rate is of crucial importance for economic reasons. With different auxiliary welding materials such as electrodes, filler wire, powder or special methods, more or less wide welding beads are applied over the base plate. The welding rate and the fusing rate determine the thickness of the facing.

For wear resistance, the direction of the welding beads to the direction of abrasion is of crucial importance. It is not very effective to design the welding beads parallel to the direction of conveying: in pipes the welding beads should be applied around the pipe circumference, i.e. perpendicular to the direction of flow (**Fig. 4**). Welding beads on vibrating tables should also be arranged perpendicular to the direction of transport.

In fans, an application below 45° is recommended. Here the known “washing out” as a result of erosion in the fan is lowest. As erosion in nature and abrasion in technical processes are compa-



Bild 5: Zickzackanbau von Reben zur Vermeidung von Erosionsabtrag in Weinbergen
Fig. 5: Zigzag planting of vines to avoid erosion of vineyards



Bild 6: Zickzackverschleißplatte zur Vermeidung von Abrasion in technischen Prozessen

Fig. 6: Zigzag wear plate to avoid abrasion in technical processes

richtung zu konstruieren: In Rohren sollten die Schweißraupen entlang des Rohrumfanges gelegt werden, also senkrecht zur Fließrichtung (**Bild 4**). Ebenfalls sollten die Schweißraupen an Vibrationstischen senkrecht zur Transportrichtung angeordnet sein.

In Ventilatoren wird eine Anordnung unter 45 ° empfohlen. Hierbei ist die bekannte „Auswaschung“ durch Erosion im Ventilator am geringsten. Da die Erosion in der Natur und die Abrasion in technischen Prozessen vergleichbare Vorgänge sind, führte eine Überlegung aus der Bionik zur so genannten Zickzackplatte. Die Betrachtung einer Anordnung im Weinberg zur Vermeidung von Erosion (**Bild 5**) zeigt einen zickzackförmigen Anbau der Weinreben, um dem bergab fließenden Wasser keinen zusätzlichen Angriff zu bieten. Aus dieser Überlegung wurde die Zickzack-Verschleißplatte entwickelt, die mit der modernen NC-Technologie ohne großen Zusatzaufwand hergestellt werden kann (**Bild 6**). Die „schiefen“ Schweißraupen bilden einen zusätzlichen Widerstand gegen Verschleiß.

4. Verarbeitung von Verbundplatten

Verschleißverbundplatten können mit herkömmlichen, spanenden Verfahren nicht mehr bearbeitet werden. Das Zuschneiden der Bleche ist nur mit Plasmaschneiden, Wasserstrahlschneiden oder Laserschneiden möglich. Für den normalen Stahlbau wird das Plasmaschneiden empfohlen. Die Bleche werden auf die Hartschichtseite gewendet und von der weichen Seite aus geschnitten. Der umgekehrte Vorgang ist ebenfalls möglich; er wäscht jedoch den Baustahl breiter aus, da die Chromkarbide beim



Bild 8: Verformung von Verbundplatten in einem Walzwerk
Fig. 8: Shaping composite sheets in a roll-type bending machine



Bild 7: Plasmabeschnittenes Verbundblech

Fig. 7: Plasma-arc-cut composite sheet

able processes, an idea from bionics led to the so-called zig-zag sheet: it was noticed how vines are planted in a zig-zag pattern to avoid additional erosion of hillside vineyards by water flowing down the hill (**Fig. 5**). On the basis of these considerations, the zig-zag wear-resistant sheet was developed; this can be produced by means of modern NC technology (**Fig. 6**). The curved welding beads provide additional resistance to wear.

4. Machining composite sheets

Composite sheets cannot be machined with conventional, cutting processes. Cutting of the plates is only possible by means of plasma arc cutting, water jet cutting or laser cutting. For normal steel construction, plasma arc cutting is recommended. The sheets are turned onto their hard face and cut from the soft side. The reverse process is also possible, but this leads to a wider washing out of the structural steel as the chromium carbides have an additional erosive effect during cutting.



Bild 9: Förderschnecke
Fig. 9: Screw conveyor



Bild 10: Transportrohr mit Verzweigung, konfektioniert zur Höhe von 2.000 mm

Fig. 10: Transport pipe with branch, sized to the height of 2,000 mm

Schneiden eine zusätzliche erodierende Wirkung haben.

Bei der Herstellung von Sieben durch Wasserstrahlschneiden wird dieser Effekt ausgenutzt, um dem Siebloch eine öffnende Neigung nach unten zu geben. **Bild 7** zeigt plasmageschnittene Verbundplatten, wobei aufgrund der Wertigkeit der Bleche dem Schachteln zur besseren Ausnutzung eine große Bedeutung zukommt. Verbundplatten benötigen nicht notwendigerweise eine Unterkonstruktion des Stahlbauers. Sie kann stabilisierend angebracht werden; das muss aber nicht sein, da die Platte durch das Grundmaterial eine selbsttragende Wirkung besitzt.

Natürlich können die beschichteten Bleche auch gebogen werden. Dies wird in 3- oder 4-Rollen-Biegewalzwerken durchgeführt (**Bild 8**). Bei 8 mm starken Grundblechen mit einer Auftragsdicke von 5 mm kann ein Biegeradius von 200 mm erzielt werden. Befindet sich die Auftragsschicht im Innern des Rohres, so ist die Biegung bezogen auf die systemimmanenten Risse unkritisch, da die Risse „zugedrückt“ werden. Befindet sich die Auftragsschicht beim Biegen an der Außenhaut, so vergrößern sich die Risse und klaffen auseinander. Es wird empfohlen, diese Stellen durch Nachschweißen mit Fülldraht zu schließen. Der Fülldraht sollte unbedingt zur selben Schweißgutanalyse führen wie die Auftragsschicht.

5. Anwendungsbeispiele für Verbundplatten

Im Folgenden werden einige Anwendungsbeispiele für Verbundplatten aufgeführt. Die Verbundplatten werden erst durch Plasmaschneiden auf eine geeignete, vorkonstruierte, zweidimensionale Abwicklung zurechtgeschnitten. Anschließend werden diese, sofern notwendig, gebogen, und zu einer Gesamtkonstruktion verschweißt. **Bild 9** zeigt eine Förderschnecke für Asphalt, die nach diesem Prinzip zusammengebaut und zusammengeschweißt wurde.

Bild 10 zeigt die Außenseite eines großen Transportrohres mit Verzweigung und einer Gesamthöhe von 2 m. Natürlich müssen diese Konstruktionen auf vielfältige Weise geschweißt werden. Die plasmageschnittenen Einzelteile werden zuerst zusammengeheftet, um dann verbindungs geschweißt zu werden. Anschließend wird mit Fülldraht oder Elektrode die auftrag geschweißte Schicht an der Verschleißseite ebenfalls verbunden, sodass auch in den Ecken und Kanten eine verschleißsichere chromkarbidreiche Auftragsschicht entsteht.

Bild 11 zeigt ein Sieb zur Trennung von stückigem Material. Diese Siebe werden durch Wasserstrahlschneiden hergestellt.

Bild 12 zeigt einen Materialtrichter, der aus Verbundplatten geschweißt und zusammengebaut wurde. Die gesamte Konstruktion wiegt 2,5 t und hat eine rechteckige Öffnung von 3.500 x 2.800 mm.



Bild 11: Sieb zur Herstellung von 15-mm-Körnungen

Fig. 11: Screen for separating material at 15 mm

In the production of screens with water jet cutting, this effect is utilized to “flare” the screen aperture towards the bottom. **Fig. 7** shows plasma cutted composite sheets. On account of the high value of the sheets, the cut shapes should be spaced as closely together as possible to avoid waste. Composite sheets do not generally require a sub-structure. A sub-structure be used to stabilize a sheet, but this is not necessary as the base material of the composite sheet enables it to support itself.

Naturally, the coated sheets can also be deformed and shaped. This is done in 3 or 4-roll bending machines (**Fig. 8**). For 8-mm-thick base sheets with a 5-mm facing, a bending radius of 200 mm can be achieved. If the facing is inside the pipe, bending is uncritical with regard to system-immanent cracks, as the cracks are pressed closed. If the facing is on the outer skin of the sheet during bending, the cracks grow larger and gape open. It is advisable to close these gaps by rewelding with tubular wire or electrodes. The tubular wire should be of the same welded material as the facing.

5. Typical Applications for Composite Sheets

The following figures show typical applications for composite sheets. The composite sheets are first cut into suitable, pre-defined, two-dimensional lengths. Then the lengths are bent, if necessary, ready to be welded to a total construction. **Fig. 9** shows a screw conveyor for asphalt constructed and welded according to this principle.

Fig. 10 shows the outside of a large transport pipeline with branching, with a total height of 2 m. Naturally, these structures



Bild 12: Materialtrichter, geschweißt und zusammengebaut aus Verschleißverbundplatten

Fig. 12: Material hopper, constructed and welded from wear-resistant composite sheets

Schrifttum/References

- [1] *Uetz, H.* (Hrs.): Abrasion und Erosion. Carl Hanser Verlag München Wien (1986)
- [2] *Wahl, W.*: DVS – Berichte, Band 162
- [3] *Maratray, F.* u. *Usseglio-Nanot, R.*: Einflussfaktoren auf die Gefügestruktur des chrom- und chrom-molybdän-legierten weißen Gusseisens. CLIMAX Molybdenum, Paris

must be welded in different ways. The pieces cut with a plasma arc cutter are first tacked together and then joint welded. Then tubular wire or electrodes are used to bond the hard face to wear face, so that a wear-resistant, high chromium-carbide overlay is formed even at the corners and edges.

Fig. 11 shows a screen for separating lumpy material. The screens are manufactured by means of water jet cutting.

Finally a material hopper is shown in **Fig. 12**; this is constructed and welded from composite sheets. The entire structure weighs 2.5 t and has a square opening measuring 3,500 x 2,800 mm.