



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

⑪ CH 653 936 A5

⑤① Int. Cl.4: B 23 K 9/04
B 23 K 9/23

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ **PATENTSCHRIFT** A5

⑳ Gesuchsnummer: 7017/81

⑦③ Inhaber:
Schweizerische Aluminium AG, Chippis,
Zustelladresse: Neuhausen am Rheinfall

㉒ Anmeldungsdatum: 03.11.1981

㉔ Patent erteilt: 31.01.1986

④⑤ Patentschrift
veröffentlicht: 31.01.1986

⑦② Erfinder:
Kesting, Marinus Christiaan, Spijkenisse (NL)

⑤④ **Verfahren zum Auftragen von Verschleisschutzschichten.**

⑤⑦ Das Aufbringen von Verschleisschutzschichten aus hochlegierten eisenhaltigen Zusatzwerkstoffen auf Basismaterial aus kohlenstoff- und manganhaltigen Eisenlegierungen wird je nach Kohlenstoff und Mangangehalt des Basismaterials mit oder ohne Pufferlage bei niedrigen Stromstärken durchgeführt, wobei der Quotient Stromstärke/Durchmesser des Fülldrahts für die Verschleisschutzschicht zwischen 70 - 80 und der entsprechende Quotient für die Pufferlage zwischen 120 und 160 liegt.

Als Zusatzwerkstoff sind Legierungen ausgezeichnet, die Gehalte von 3 - 4,5% Si, 1,5 - 2% Mn und $C \geq 5\%$ aufweisen, bevorzugt ist die Legierung 5,5% C, 12,5% Cr, 2,0% Mn, 4,0% Si, 8,0% Mo, 8,0% Nb, 2,0% W, 1,0% V, 57,0% Fe.

PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zum Auftragen von Verschleisschutzschichten aus hochlegierten eisenhaltigen Zusatzwerkstoffen auf Basismaterial aus kohlenstoff- und manganhaltigen Eisenlegierungen, die insbesondere in der kohlenstoffverarbeitenden Industrie Anwendung finden, durch Auftragschweißen in Umgebungsluft mit Hilfe von drahtförmigem Zusatzwerkstoff, dadurch gekennzeichnet, dass die Stromstärke je nach Durchmesser des Fülldrahts so gewählt wird, dass der Quotient $S = \text{Stromstärke/Durchmesser}$, Ampere/mm, im Bereich von 70–80 liegt und bei allfälliger Verwendung einer Pufferlage der Quotient $P = \text{Stromstärke zum Aufbringen der Pufferlage/Durchmesser}$ 120 bis 160 beträgt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass für die Pufferlage und für die Verschleisslage ein Zusatzwerkstoff der gleichen chemischen Zusammensetzung verwendet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass bei einem Basismaterial mit einem Kohlenstoffgehalt bis maximal 0,22 Gew.-% und einem Mangangehalt grösser oder gleich 5mal den Kohlenstoffgehalt die Verschleisschutzschicht direkt auf das Basismaterial aufgetragen wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass bei einem Basismaterial mit einem Kohlenstoffgehalt über 0,22 Gew.-% und einem Mangangehalt grösser oder gleich 5mal den Kohlenstoffgehalt

a) in Fällen, in denen es möglich ist, das Basismaterial vorrangig zu erhitzen, dieses auf 180–400 °C, vorzugsweise auf 180–250 °C, vorgewärmt und die Verschleisschutzschicht bei dieser Temperatur direkt auf das Basismaterial aufgetragen wird,

b) in Fällen, in denen eine Vorwärmung des Basismaterials nicht möglich ist, dieses mit einer Pufferlage versehen und bei noch erwärmter Pufferlage um 350 °C die endgültige Verschleisschutzschicht aufgetragen wird.

5. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass bei einem Basismaterial mit einem Kohlenstoffgehalt über 0,22 Gew.-% und einem Mangangehalt, von weniger als 5mal den Kohlenstoffgehalt, zunächst eine Pufferlage und nach Abkühlen derselben auf Raumtemperatur die Verschleisschutzschicht aufgetragen wird.

6. Verfahren nach Anspruch 3 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Auftrag der Verschleisschutzschicht intermittierend erfolgt.

7. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Oberfläche des Basismaterials mit reduzierenden heissen Gasen gereinigt wird und die Auftragsschweißung erst nach Abkühlung erfolgt.

8. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Quotient S bei 75 liegt.

9. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Quotient P das doppelte von S beträgt.

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Auftragen von Verschleisschutzschichten auf stark beanspruchte Oberflächen von Maschinen- und Apparateilen aus kohlenstoff- und manganhaltigen Eisenlegierungen, besonders solchen, die in der kohlenstoffverarbeitenden Industrie, insbesondere bei der Herstellung von Elektroden für die Schmelzflusselektrolyse von Aluminium nach Hall-Héroult, zum Einsatz kommen.

Für die Bereitstellung des Masseversatzes zur Herstellung von Elektroden, insbesondere von Anoden für die Schmelzflusselektrolyse zur Gewinnung von Aluminium nach dem Hall-Héroult-Verfahren, werden grosse Mengen

von kohlenstoffhaltigem Material wie beispielsweise Koks verschiedener Art, Anodenreste, Teer- und Pechbinder transportiert, gebrochen, gemahlen, klassiert und gemischt. Die zum Einsatz gelangenden Geräte wie Brecher, Mühlen, Mischer, Transportanlagen usw. unterliegen einem intensiven Verschleiss. Man begegnet diesem durch z. T. sehr unterschiedlichen Massnahmen.

Bei Maschinen- und Apparateilen aus Eisenwerkstoffen ist neben Flamspritzen und Auskleiden mit keramischen Materialien das Aufbringen von verschleissfesten Stoffen mittels elektrischem Flammboogenschweißen bekannt.

Eine der bekanntesten Gegenmassnahmen zur Verhinderung von vorzeitigem Bruch bei mechanisch hoch beanspruchten Teilen ist der Einsatz von Verbundlösungen, insbesondere das Auftragsschweißen von Hartstoffen auf zähes Basismaterial. In jedem Fall ist es nötig, die Zusammensetzung der Schutzlage dem Anwendungsfall anzupassen, wobei sowohl die Art der physikalischen Einwirkung wie Abrieb und/oder Zerrüttung als auch Adhäsion und chemische Eigenschaften – insbesondere in bezug auf tribochemische Reaktionen – des den Verschleiss verursachenden Materials und besonders die Betriebstemperatur von Bedeutung sind.

Ein detaillierter Stand der Technik zur Verschleisschutztechnologie wird in Aufbereitungs-Technik Nr. 10, 1979, wiedergegeben, insbesondere wird das Verfahren der Auftragsschweißung auf den Seiten 562–565 behandelt.

Beim Auftragsschweißen ist ein Schutzverfahren bekannt, bei dem auf das Eisen enthaltende Basismaterial zuerst eine sogenannte Pufferlage aufgebracht wird, wofür z. B. Röhrendrahtelektroden mit einem Durchmesser um 3 mm verwendet werden und mit einem Schweißstrom von 300–350 Ampere gearbeitet wird. Auf die Pufferlage wird die eigentliche Verschleisslage aufgebracht.

In der Kohlenstoff verarbeitenden Industrie, insbesondere der zur Herstellung von Elektroden für die Aluminiumerzeugung, werden bei den zum Einsatz kommenden Geräten zur Verarbeitung von Kohlenstoff in Form von Petrolkoks, Pechkoks und Anthrazit sowie bei der Zerkleinerung von Kunstkohlekörpern, hergestellt aus den genannten Rohstoffen unter Verwendung von pech- und teerhaltigen Bindemitteln, für die Verschleissbekämpfung nach dem oben genannten Stand der Technik zur Auftragsschweißung beispielsweise bei Basismaterial aus Kohlenstoff und Mangan enthaltenden Eisenlegierungen Fülldrähte der folgenden Zusammensetzung verwendet:

C	= ca. 5,5%,
Cr	= ca. 20,0–23,0%,
Mn	= ca. 0,5%,
Si	= ca. 0,5%,
Mo	= ca. 6,0–8,0%,
Nb	= ca. 6,0–8,0%,
W	= ca. 2,0%,
V	= ca. 1,0%,
Fe	= Rest.

Hier und in allen folgenden Prozentangaben sind Gewichtsprozente gemeint.

Mit diesem im Handel erhältlichen Zusatzwerkstoff (z. B. Fa. Kestra Schweisstechnik GmbH & Co. KG, 404 Neuss, BRD) wird eine Härte von 59–64 HRC bei Umgebungstemperaturen oder eine Härte von 40–44 HRC bei Arbeitstemperaturen von 600 °C erreicht. Es kann mit diesem oder einem ähnlichen Werkstoff bei Einsatz geeigneter Schweißgeräte eine Verschleisslage mit guter Verbindung zwischen Basismaterial und Schutzlage hergestellt werden.

Die verschleissmindernde Wirkung der aufgetragenen Schichten befriedigt in der Praxis jedoch nicht. Beim Dauerbetrieb der Anlagen, wie es in der genannten Industrie üblich ist, trägt sich die aufgebrachte Verschleisschicht schnell ab.

Es ist daher erforderlich, schon nach wenigen Wochen den Verschleisschutz zu erneuern, was zu erheblichen Unterhaltskosten und, bedingt durch den unerwünschten Anlagestillstand, zu hohen Betriebskosten führt.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist, den Verschleisschutz bei Maschinen- und Apparateilen aus kohlenstoff- und manganhaltigen Eisenlegierungen, insbesondere von Geräten, die in der Kohlenstoff verarbeitenden Industrie, vornehmlich der zur Herstellung von Elektroden für die Aluminiumproduktion, gebraucht werden, zu verbessern, d. h. die Standzeit der Aggregate zu erhöhen.

Der Erfinder hat sich zum Ziel gesetzt, nach praxisnahen Lösungen zu suchen, die nicht nur von Spezialisten, sondern im Betrieb kurzzeitig und erfolgreich von den allgemeinen Wartungsequipen ausgeführt werden können. Die wirtschaftlichen Aufwendungen sollen jedoch von mit dem analogen Stand der Technik vergleichbarer Grössenordnung sein, da ohne diese Nebenbedingung höhere Technologien zur Lösung der gestellten Aufgabe in Frage kommen, die im praktischen Betrieb nicht eingesetzt werden, weil sie erhebliche Kosten durch den notwendigen Maschinenstillstand verursachen.

Die Lösung der gestellten Aufgabe kann sowohl von der Verfahrensseite als auch von der Materialseite her erfolgen.

Unter Verwendung eines Zusatzwerkstoffes, der nach dem Stand der Technik als anerkannt guter Verschleisschutz für den entsprechenden Zweck gilt, z. B. die oben angeführte Legierung, wird die Aufgabe einerseits dadurch gelöst, dass die Auftragsschweissung mit Hilfe von Fülldraht mit Gleichstrom in Umgebungsatmosphäre, d. h. ohne Schutzgas, erfolgt und die Stromstärke je nach Durchmesser des zugesetzten Werkstoffes so gewählt wird, dass der Quotient $S = \text{Stromstärke/Durchmesser (Ampere/mm)}$ im Bereich von 70–80, vorzugsweise bei 75, liegt.

Gegebenenfalls bei Verwendung einer Pufferlage soll der entsprechende Quotient P , d. h. $P = \text{Stromstärke zum Aufbringen der Pufferlage/verwendeter Drahtdurchmesser (Ampere/mm)}$, zwischen 120 und 160 liegen, vorzugsweise das Doppelte von S betragen.

Vorteilhaft ist es, sowohl für die Pufferlage als auch für die Verschleisschutzschicht einen Zusatzwerkstoff derselben Zusammensetzung zu verwenden. Ein weiterer Vorteil wird erzielt, wenn das erfinderische Verfahren je nach Kohlenstoff- und Mangangehalt des Basismaterials in folgender Weise durchgeführt wird:

1. Kohlenstoffhaltiges Basismaterial mit einem Kohlenstoffgehalt bis maximal 0,22% und einem Mangangehalt grösser/gleich 5mal den Kohlenstoffgehalt wird ohne Pufferlage mit der Verschleisschutzschicht versehen,

2. Basismaterial mit einem Kohlenstoffgehalt über 0,22% und einem Mangangehalt grösser/gleich 5mal den Kohlenstoffgehalt wird

a) in Fällen, in denen eine Erhitzung möglich ist, vorrangig auf ca. 200–400 °C, vorzugsweise 180–250 °C, vorgewärmt und die Verschleisslage bei dieser Temperatur ohne Pufferlage aufgeschweisst,

b) in Fällen, in denen eine Vorwärmung nicht möglich ist, mit einer Pufferlage versehen und bei noch erwärmter Pufferlage um 350 °C die endgültige Verschleisschicht aufgetragen.

3. Basismaterial mit einem Kohlenstoffgehalt grösser/gleich 0,22% und einem Mangangehalt von weniger als 5mal den Kohlenstoffgehalt wird mit einer Pufferlage versehen, auf Raumtemperatur abgekühlt und die Verschleisslage aufgeschweisst.

In den Fällen 1 und 3 muss das Aufbringen der Schutzlage bei möglichst niedriger Temperatur erfolgen, d. h. möglichst bei Temperaturen unter 180 °C. Dies kann z. B. durch

folgende Massnahmen, einzeln oder kombiniert geschehen:

- Wärmeabfuhr durch Einspannen des Werkstückes zwischen gut wärmeleitenden Metallblöcken,
- intermittierendes Aufbringen der verschleissfesten Lage, wobei der Schweissstelle immer wieder Gelegenheit zum Abkühlen gegeben wird (durch Bearbeitung mehrerer Werkstücke im Kreislauf wird dadurch kaum Zeit verloren),
- pulsierendes Schweiessen mit einer Pulsfrequenz von ca. 2,5 Impulsen/Sek.

Die Wirkung des erfinderischen Verfahrens wird wesentlich durch geeignete Abstimmung der Ausbildung des Schweissmaterials und des Schweissstroms erhöht. Besonders günstig zum Erzielen der oben erwähnten begünstigten niedrigeren Temperaturen sind möglichst geringe Durchmesser. Durchmesser von lediglich 1,6 mm – dies dürfte der geringste Durchmesser sein, der für die Herstellung hochlegierter Schweissdrähte heute möglich ist – sind geeignet und erfordern die niedrigsten Stromstärken. Durchmesser von 2,4 mm haben sich sowohl von der Handhabung als auch von dem erreichten Resultat besonders gut bewährt. In jedem Fall ist der Schweissstrom zum Auftragen von Verschleisschutzschicht beim erfinderischen Verfahren niedriger als er nach dem Stand der Technik angeführt wird. Er liegt deutlich unter dem Schweissstrom, der vom Hersteller des Zusatzwerkstoffes in den Verwendungsvorschriften angegeben wird.

Als Stromquelle muss ein Gleichrichter mit einer flachen Spannungscharakteristik verwendet werden, um den niedrigen Schweissstrom aufrecht erhalten zu können.

Das für das Aufbringen des Verschleisschutzes vorgesehene Werkstück muss von Verunreinigungen befreit werden. Insbesondere ist auf eine intensive Reinigung von anhaftenden Kohlenstoffprodukten zu achten, da diese bei nicht sorgfältiger Entfernung den Kohlenstoffgehalt auf der Oberfläche des Basismaterials erhöhen und damit andere Schweissbedingungen schaffen. Zur Reinigung eignen sich erfindungsgemäss heisse reduzierende Gase, z. B. Flammen mit geringem Überschuss von Propan, wobei sich das Werkstück auf Temperaturen bis ca. 300 °C aufwärmen kann. Die Reinigung ist bis zum Beenden der Gasbildung der Zersetzungsprodukte fortzusetzen. Gegebenenfalls erfolgt nachträglich die bisher übliche mechanische Nachbehandlung, z. B. Sandstrahlen, zur Entfernung der anhaftenden Zersetzungsrückstände.

Bei Versuchen zur Lösung der gestellten Aufgabe von der Materialseite her hat sich herausgestellt, dass in Verschleisschutzlegierungen ein Gehalt an Silizium in der Grössenordnung von 3–4,5%, insbesondere 4–4,5%, die Standzeit der Auftragsschweisschicht in überraschender Weise erhöht. Weiterhin zeigte sich, dass eine Steigerung der Standzeit zu erreichen ist, wenn zusätzlich der Mangangehalt im Bereich von 1,5–2% liegt. Die Wirkung des angeführten Silizium- oder Silizium- und Mangangehalts ist besonders vorteilhaft, wenn gleichzeitig Kohlenstoff in der Grössenordnung von grösser/gleich 5,5% zugegen ist.

Eine weitere Erhöhung der Standzeit konnte dadurch erreicht werden, dass man das erfinderische Verfahren mit Zusatzwerkstoffen durchführte, die die genannten Elemente, einzeln oder erfolgreicher in Kombination, in den angeführten Mengen enthalten.

Eine Schweisslegierung im Bereich der folgenden Zusammensetzung

C	=	5,5– 6,5%,
Cr	=	12,0–13,0%,
Mn	=	1,5– 2,0%,
Si	=	3,5– 4,5%,
Mo	=	7,0– 8,0%,
Nb	=	7,0– 8,0%,
W	=	1,5– 2,0%,

V	= 1,0– 1,5%,
Fe	= 61,0–54,5%

bietet einen hervorragenden Verschleisschutz, wobei insbesondere die Legierungszusammensetzung

C	= 5,5%,
Cr	= 12,5%,
Mn	= 2,0%,
Si	= 4,0%,
Mo	= 8,0%,
Nb	= 8,0%,
W	= 2,0%,
V	= 1,0%,
Fe	= 57,0%

bevorzugte verschleissmindernde Eigenschaften aufweist.

Die angeführten Grenzen sind durch Herstellungsschwankungen bedingt. Der Einsatz einer derartigen Legierung empfiehlt sich besonders bei Gebrauchstemperaturen bis 800 °C und dort, wo die reduzierte selbstpolierende Eigenschaft, die für diese Legierung typisch ist, in Kauf genommen werden kann.

Das erfinderische Verfahren unter Verwendung der vorgenannten Schweisslegierung als Zusatzwerkstoff ergibt einen optimalen Verschleisschutz für Maschinen- und Apparateile aus kohlenstoff- und manganhaltigen Eisenwerkstoffen, insbesondere solche, die in der kohlenstoffverarbeitenden Industrie Anwendung finden.

Die erfindungsgemäss aufgetragenen Verschleisschichten, insbesondere unter Verwendung der vorgenannten Legierungen, sind weniger hart als bei Anwendung der üblichen Verarbeitungsvorschriften. So werden bei Verwendung der zuletzt genannten Legierungszusammensetzung unter Anwendung der bekannten Auftragstechnik bei Umgebungstemperatur Härten in der Grössenordnung von 60 HRC und mehr erreicht, gemäss dem erfinderischen Verfahren jedoch nur ca. 50 HRC. Weiterhin ist eine Folge der erfindungsgemässen Auftragstechnik bei Verwendung der vorgenannten Legierung, dass die Schweisslage weniger schön aussieht, d. h. ungleichmässig ausgebildet ist und den Eindruck erweckt, die Schweisslage sei kaum mit dem Basismaterial verbunden. Die Praxis zeigt jedoch, dass die Verbindung genügt und ein Abfallen oder Abspringen einerseits nicht auftritt und andererseits die verschleisshemmenden Eigenschaften der Schutzlage nicht durch Aufmischen von Basismaterial nachteilig beeinflusst werden.

Das erfinderische Verfahren ist derartig vorteilhaft, dass es nicht unbedingt nötig ist, die dem Verschleiss unterworfenen Maschinenteile aus einem hochlegierten Basiswerkstoff zu fertigen. Es genügt, die Maschinenteile aus billigem Eisenwerkstoff herzustellen und nach dem erfindungsgemässen Verfahren mit einer Verschleisschutzschicht, bestehend aus einem bekannten, oder vorteilhafter aus dem vorgenannten Zusatzwerkstoff, zu versehen.

Anhand vergleichender Beispiele soll folgend die Erfindung erläutert werden.

Vergleichsbeispiel 1

Bei der Zerkleinerung von Petrolkoks und Anodenresten in einer Hammermühle tritt hauptsächlich schlagender und schiebender Verschleiss auf.

Bei einem Durchsatz von 5 t Koks pro Stunde waren die Originalhämmer – bestehend aus C35-Stahl mit 0,35% Kohlenstoff und 0,35% Mangan, oberflächlich 1 mm tief gehärtet – mit einem Loch von 50 mm Durchmesser und von je 200 mm Länge, 100 mm Breite, 30 mm Dicke und einem Gewicht von 4,3 kg nach 240 Stunden derart stark verschlissen, dass ein weiterer Einsatz nicht möglich war. Das Gewicht des Hammers reduzierte sich auf 2,4 kg (Mittelwert).

a) Ein gleicher Hammer, jedoch nicht gehärtet und an den beiden Längsseiten sowie an der Stirnseite je 5 mm abgeschliffen, sodass dieser die Masse 195 mm Länge, 90 mm Breite und 30 mm Dicke aufweist, wurde auf der Stirnfläche und zur Hälfte auf den beiden Längsflächen mit einer Verschleisschutzschicht, bestehend aus einem Zusatzwerkstoff F-EH Cr 65, dessen Zusammensetzung etwa der auf Seite 3 genannten Legierung entspricht, der Firma Kestra versehen, wodurch das ursprüngliche Mass des Hammers an diesen Stellen wieder hergestellt wurde. Der Auftrag erfolgte mit einem Draht des Durchmessers von 2,4 mm nach Anweisung der Herstellerfirma des Zusatzwerkstoffs mit 250 Ampere, was einen Quotienten S von 104 ergibt. Nach 2000 Betriebsstunden bei einem Durchsatz von 5 t Koks pro Stunde hatte sich das Gewicht des Hammers von ursprünglich 4,3 kg auf 3,1 kg reduziert, wobei nur ein geringer Anteil des Gewichtsverlusts auf die Ausdünnung des ungeschützten Hammerteils zurückzuführen ist.

b) Ein gleicher Hammer wurde mit dem gleichen Verschleisschutz wie im vorgehenden Beispiel in erfindungsgemässer Weise aufgetragen. Pufferlage und Verschleisschutzschicht bestanden aus demselben Drahtmaterial mit Durchmesser von 2,4 mm. Die Pufferlage wurde mit 360 Ampere und die Verschleisslage nach Abkühlen des Werkstücks mit 180 Ampere aufgetragen, was Quotienten von P = 150 und S = 75 ergibt. Nach 2000 Betriebsstunden bei gleichen Durchsatzbedingungen wie bei (a) reduzierte sich das anfängliche Gewicht des Hammers von 4,3 kg auf 3,5 kg. Die Standzeit verbesserte sich wesentlich gegenüber Beispiel (a).

Vergleichsbeispiel 2

a) An einem Hammer mit den gleichen Massen und zum selben Zweck wie in Vergleichsbeispiel 1, jedoch aus Normalstahl, enthaltend 0,12% Kohlenstoff und 0,7% Mangan, wurden die analogen Flächen mit einer 5 mm dicken Verschleisschicht des Zusatzwerkstoffes F-EH Cr 65 der Firma Kestra versehen, wobei nach Anweisung des Herstellers mit einem Draht von 2,4 mm bei 300 Ampere gearbeitet wurde, was einem Quotienten S von 125 entspricht. Nach 2000 Betriebsstunden unter gleichen Durchsatzbedingungen wie im Vergleichsbeispiel 1 reduzierte sich das Gewicht des Hammers von anfänglich 4,3 kg auf 3,3 kg.

b) Bei einem gleichen Hammer unter Verwendung des gleichen Zusatzwerkstoffes wie in (a) wurde der Zusatzwerkstoff ebenfalls 5 mm dick nach dem erfindungsgemässen Verfahren bei nur 175 Ampere aufgetragen, was einem Quotienten S von 73 entspricht. Nach 2000 Betriebsstunden bei analogem Durchsatz wie in den vorgehenden Beispielen reduzierte sich das Gewicht des Hammers nur auf 3,7 kg. Somit hat sich die Standzeit gegenüber dem vorherigen Beispiel deutlich erhöht.

c) Hammer und Vorgehensweise waren gleich wie in Beispiel (b). Es wurde jedoch der Zusatzwerkstoff der Zusammensetzung C = 6,5%, Cr = 13%, Mn = 2%, Si = 4,5%, Mo = 8%, Nb = 8%, W = 2%, V = 1,5%, Fe = 54,5% verwendet. Nach 2000 Betriebsstunden hatte der Hammer die ursprüngliche Form beibehalten; von Auge beobachtete man praktisch keinen Verschleiss. Der Gewichtsverlust, der praktisch nur auf Verschleiss des ungeschützten Hammerteils beruhte, betrug nur 100 g. Der Hammer konnte ohne Wartungsarbeit weiter eingesetzt werden.

Vergleichsbeispiel 3

Kokneter werden bei der Herstellung von Anoden für die Aluminiumindustrie zum innigen Vermischen von kohlehaltigen Massen bei Temperaturen von 250–280 °C verwendet. Die sich auf einer Welle befindlichen Knetflügel bestehen im Originalzustand aus Stahl mit 0,46% Kohlenstoff und

0,7% Mangan. Das gleiche Material wird für die Knetierzähne, die sich auf rohrförmig angeordneten Panzerplatten befinden, verwendet. Die Originalpanzerplatten sind aus Stahl 120 Mn 12 mit 1,2% Kohlenstoff und 12% Mangan.

Im Originalzustand sind unter normalen Betriebsbedingungen die Flügel und Zähne nach 1500 Drehstunden total verschlissen; das gesamte Material ist abgetragen, so dass der Knetter nicht mehr arbeitsfähig ist. Die Panzerplatten halten etwas länger. Nach 1800 Drehstunden sind sie durchgeschlissen und vollkommen unbrauchbar. Die Reparatur erfordert eine zweitägige Stillstandzeit, weil sowohl Platten als auch Flügel und Zähne vollständig ersetzt werden müssen, was den Ausbau der Welle notwendig macht.

a) Eine gemäss Anwendungsvorschrift bei 300 Ampere auf Panzerplatten aufgebrachte Verschleisschutzschicht aus drahtförmigem Zusatzwerkstoff Typ F-EH Cr 65 des Durchmessers 2,4 mm der Firma Kestra, was einen Quotienten S von 125 ergibt, war nach 9000 Betriebsstunden lokal total verschwunden. Teilweise wiesen die Platten Löcher auf. Derartige Platten mussten erneuert werden, die anderen konnten am Ort durch eine erneute Auftragschweissung wieder geschützt werden.

Eine analoge Verschleisschicht wurde in gleicher Weise auf einen Flügel aufgetragen. Nach 9000 Betriebsstunden war der Flügel eingekürzt und machte eine erneute Auftragschweissung notwendig.

b) Sowohl Platten als auch Flügel und Zähne wurden mit einer 5 mm starken Schicht des Zusatzwerkstoffs F-EH Cr 65 der Firma Kestra nach dem erfindungsgemässen Verfahren versehen. Zur Anwendung kam Fülldraht des Durchmessers 1,6 mm und Gleichstrom, geliefert von einem Gleichrichter mit flacher Spannungscharakteristik. In allen Fällen wurde zunächst eine Pufferlage von etwa 3 mm bei 250 Ampere, aufgetragen, was einen Quotienten P von 156 ergibt. Bei den Platten wurde anschliessend die Verschleisschutzschicht aus demselben Zusatzwerkstoff bei noch erwärmter Pufferschicht – 337 °C, gemessen mit einem Kon-

taktthermometer zu Beginn des Verschleisschutzauftrags –, bei den Flügeln und Zähnen erst nach Abkühlen der Werkstücke auf Raumtemperatur aufgebracht, wobei immer mit 125 Ampere gearbeitet wurde, was einen Quotienten S von $78 = 0,5 \cdot P$ ergibt. Durch alternierende Bearbeitung der Flügel und Zähne im Kreislauf konnte eine starke Erwärmung der Werkstücke verhindert werden. Nach 9000 Betriebsstunden überdeckte die Verschleisschicht noch vollkommen alle Teile. Erst nach 12'000 Betriebsstunden liess sich auf den Platten lokaler Abtrag der Verschleisschicht feststellen. Die Flügel zeigten bei 12'000 Betriebsstunden etwa den gleichen Zustand wie die des Beispiels (a) nach 9000 Betriebsstunden. Die Zähne waren nach 12'000 Betriebsstunden ebenfalls eingekürzt. Jedoch konnten sowohl Flügel wie Zähne in diesem Zustand erneut mit einer Verschleisschicht versehen werden, wozu die Teile vorgängig erfindungsgemäss mit einer Propan im Überschuss enthaltenden Flamme gereinigt wurden. Ein Ausbau der Welle war nicht notwendig.

c) Platten als auch Flügel und Zähne wurden in analoger Weise behandelt wie im vorgehenden Beispiel (b), jedoch mit dem Unterschied, dass der Zusatzwerkstoff mit der Zusammensetzung C = 5,5%, Cr = 12,5%, Mn = 2,0%, Si = 4,0 %, Mo = 8,0%, Nb = 8,0%, W = 2,0%, V = 1,0%, Fe = 57,0% verwendet wurde. Bei Kontrollen nach 9000 und 12'000 Betriebsstunden war an allen Teilen praktisch kein Verschleiss festzustellen. Erst nach 16'000 Betriebsstunden wurde Verschleiss beobachtet. Jedoch war die Verschleisschicht an keiner Stelle durchbrochen, so dass ein weiterer Betrieb möglich gewesen wäre. Vorsorglich wurde aber ohne Pufferlage eine erneute Verschleisschutzschicht aufgetragen.

Durch das erfindungsgemässe Verfahren unter Verwendung des erfindungsgemässen Zusatzwerkstoffs konnte der Aufwand für die Revision gegenüber der von Beispiel (a) bezüglich Zeit um ca. 50%, bezüglich Personal sogar um 65% eingeschränkt werden.