

Reparaturschweißen von Mahlwalzen in Vertikalmühlen

Dr. Helmut Riegger, Jonas Wasserka VAUTID GmbH Ostfildern

1. Einleitung

Walzenschüsselmühlen oder Vertikalmühlen sind Schwermaschinen zum Mahlen von spröden mineralischen Werkstoffen. Sie werden meist in Verbindung mit internen Sichern betrieben (Bild 1).

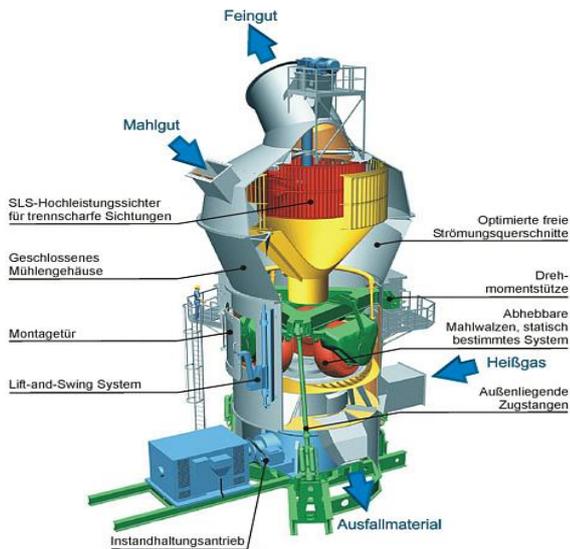


Bild 1: Schematische Darstellung einer Walzenschüsselmühle (Quelle: Gebr. Pfeiffer SE)

Der prinzipielle Aufbau besteht aus einem rotierenden Mahlteller, auf dem die Mahlwerkzeuge mit Eigengewicht oder unter zusätzlicher Kraft von Hydraulikzylindern angepresst werden. Diese Mahlwerkzeuge sind zylindrische und ballige Walzen. Sie sind die verschleißenden Komponenten einer Vertikalmühle: die rotationssymmetrischen Mahlwalzen, oder die Mahlbahnauflagen, die so genannten Mahlteller, welche in einzelne Segmente zerlegbar sind.

Die Mahlwalzen bestehen in der Erstausrüstung aus Hartgusslegierungen (z.B. Ni-Hard), deren Härte bereits am Rande der Zerspanbarkeit liegt.

Bei der Regenerierung von verschlissenen Mahlwerkzeugen wird mit Auftragschweißen eine Hartschicht erzeugt, die mit über 63 HRC als Härte des reinen Schweißgutes ebenfalls nicht mehr zerspanbar ist. Die Regenerierung oder Instandhaltung solcher Walzenschüsselmühlen wird in den folgenden Abschnitten beschrieben.

Der Einsatz von Vertikal- oder Walzenschüsselmühlen befindet sich hauptsächlich in der Zementindustrie und im Kohlekraftwerk. Es werden jedoch auch Kupfererze und andere Mineralien mit entsprechenden Mühlen fein gemahlen

2. Grundlagen zur Regenerierung der Mahlwalzen

Aus produktionstechnischen Gründen besteht die Instandhaltungskonzeption aus einem anderen Werkstoff

als die ursprüngliche Lieferung der Mahlwerkzeuge seitens des Herstellers. Der Hartguss wird abgelöst von Eisen-Chrom-Kohlenstoff-Auftragschweißwerkstoffen, die mit übereutektischem Gefüge den Originalgusswerkstoffen sogar überlegen sind. Es ergibt sich somit eine deutlich längere Standzeit als beim Originalbauteil. Prinzipiell könnte man meinen, dass ein Mahlwerkzeug beliebig oft regenerierbar ist. Die Erfahrung zeigt jedoch, dass nach drei- bis viermaliger Regenerierung ein Ermüdungseffekt – auch im Grundmaterial – eintritt, sodass eine komplette Erneuerung der Mahlwerkzeuge nach dem 4. Regenerieren notwendig ist. Bild 4 zeigt ein abgenutztes Mahlwerkzeug mit der klassischen „Dünenstruktur“ und eine reparaturgeschweißte Mahlwalze.



Bild 4: Instandhaltung von Mahlwerkzeugen

Die Instandhaltung wird entweder „in-situ“, also in der natürlichen Umgebung ohne Ausbau (dies gilt nicht für Kohlemühlen), durchgeführt oder durch komplizierten und aufwändigen Ausbau der Mahlwalzen und die Überführung in eine entsprechende Werkstatt. Um die Produktion nicht zu beeinträchtigen, werden gleichzeitig Ersatzwerkzeuge bereitgestellt und eingebaut.

3. Durchführung des Auftragschweißens

Zur Durchführung des Auftragschweißens sind zunächst investive Maßnahmen erforderlich:

Zum Auftragschweißen von vertikalen Walzen benötigt man die entsprechende Vorrichtung, die die Mahlwalzen mit einem Durchmesser von ca. 4 m bewegt. Mahlwalzen mit diesem Durchmesser sind segmentiert; besitzen die Mahlwalzen einen Durchmesser von ca. 1.500 mm oder kleiner, so sind sie aus einem einzigen Gussteil. Das Gleiche gilt auch für die Mahlteller, bei denen es je nach Größe ebenfalls einteilige und segmentierte Werkzeuge gibt. Vor der Auftragschweißung sind die 3 wichtigsten Beteiligten am metallkundlichen Vorgang des Schweißens theoretisch und praktisch zu überprüfen:

- a) der Grundwerkstoff
- b) das Schweißverfahren
- c) der Auftragschweißwerkstoff.

Zu a) Grundwerkstoff:

Die Überprüfung des Grundwerkstoffs auf Schweißbarkeit ist bei den Ni-Hard-Gusswerkstoffen nicht einfach zu beantworten. Grundsätzlich sind Werkstoffe mit Kohlenstoffgehalten > 2,5%, Nickelgehalten von 3 – 7% und Chromgehalten von 1 – 10% nicht schweißbar (Bild 5).

Zum Verbindungsschweißen von Stählen herrschen sehr strenge Regeln. Kohlenstoffgehalte dieser Größenordnung sind beim Verbindungsschweißen von Stählen undenkbar. Bild 5 weist jedoch darauf hin, dass große Phasenanteile von Austenit (γ – Phase) in der Legierung zu befriedigenden Schweißergebnissen führen können. Die gelbe Linie grenzt eine „Auftragschweißbarkeit“ ab, im grünen Bereich wurden Auftragschweißungen schon mehrfach mit gutem Erfolg durchgeführt.

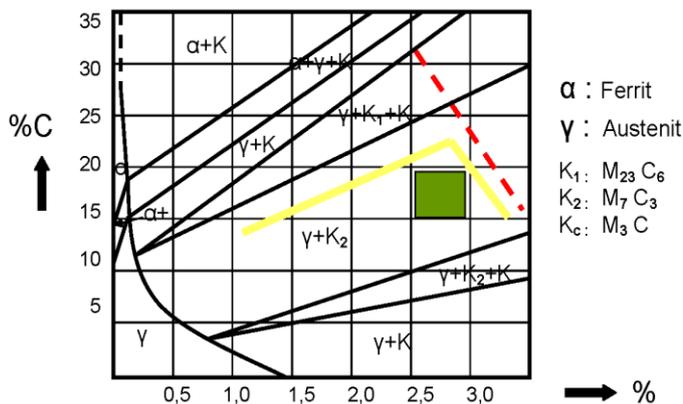


Bild 5: Isothermer Schnitt durch das Fe-Cr-C-Zustandschaubilds bei 1.000°C

Beim Auftragschweißen gelten jedoch andere Gesetzmäßigkeiten. In gewissen Bereichen ist bei zügigem Auftragschweißen (und bei niedriger Streckenenergie) eine Verbindung mit dem Grundmaterial möglich. Metallkundlich verbindet sich hier ein niedrig kohlenstoffhaltiger Austenit mit dem Auftragschweißwerkstoff. Um eine sichere Verbindung mit dem Grundwerkstoff herzustellen, empfehlen sich auch die so genannten Pufferwerkstoffe, niedrig kohlenstoffhaltige Austenite, die den Grundwerkstoff Ni-Hard in geradezu idealer Weise mit dem eisen-chrom-kohlenstoffhaltigen Auftragschweißwerkstoff verbinden. Auch diese Auftragschweißwerkstoffe enthalten bis zu 4,5% Kohle und ca. 30% Chrom. Ein weiteres Aufschweißen in mehreren Lagen ist möglich.

Das Vorwärmen des Grundwerkstoffs ist aufgrund des erwähnten hohen Kohlenstoffgehalts erforderlich. Ein zu errechnendes Kohlenstoffäquivalent ist bei diesen hohen Legierungsgehalten nicht sinnvoll. Der empirische Wert des Kohlenstoffäquivalents wurde für niedrig legierte Baustähle entwickelt. Es wird empfohlen, bei laufender Walze den Grundwerkstoff auf eine Temperatur von ca. 150 bis 200°C zu bringen.

Zu b) Schweißverfahren:

Im Allgemeinen wird ein Metalllichtbogenschweißen mit Fülldraht angewandt (Prozess 114 nach DIN EN ISO 4063). Das Metallschutzgasschweißen, ebenfalls mit Fülldraht, ist möglich, findet jedoch selten Einsatz, da

eine aufwändige Apparatur für das Schutzgas beim in situ-Schweißen notwendig ist (Prozess 137). Deshalb werden selbst schützende Fülldrähte zum open arc-Schweißen verwendet. Dies gilt nicht nur beim in situ-Schweißen, sondern auch beim Schweißen in den Instandhaltungswerkstätten. Der Schutz des Schweißguts kann auch durch Gas oder Pulver erzielt werden. Bei den erwähnten Walzenschüsselmühlen kommen diese jedoch selten zum Einsatz. Beim Reparaturschweißen von Walzenschüsselmühlen für Kohle wurde auch schon das UP-Schweißen (Prozess 125) erfolgreich angewandt.

Im Allgemeinen verwendet man dicke Fülldrähte mit einem Durchmesser 2,8 oder 3,2 mm, da somit ein effizientes Auftragschweißen mit einer mittleren Abschmelzleistung von 12 bis 15 kg/h möglich ist.

Zu c) Auftragschweißwerkstoff:

Die Auftragschweißwerkstoffe können maßgeschneidert eingesetzt werden. Der Instandhalter bestimmt das Beanspruchungskollektiv, das im Falle von Mahlwalzen hauptsächlich in einer Abrasion durch walzende Bewegung besteht. Tatsächlich walzen und mahlen die beiden metallischen Werkzeuge Zement, Kohle, Kupfererz oder andere Mineralien zwischen dem in der Konstruktion vorgesehenen Spalt, sodass feines, pulverförmiges Material entsteht. Bei dieser Art von Abrasion empfehlen sich hoch chrom-, hoch kohlenstoffhaltige Eisenwerkstoffe und solche, die mit Niob versetzt sind und nicht nur primäre Chromkarbide, sondern auch primäre Niobkarbide enthalten. Diese Sonderkarbide besitzen eine Mikrohärtigkeit von 2.200 Vickers und sind exzellent zum Mahlen von entsprechenden mineralischen Werkstoffen geeignet.

Das so genannte „Beanspruchungskollektiv“ besteht eigentlich aus Abrasion und Scherkräften.

Bild 9 zeigt das Gefüge eines FeCrNbC-haltigen Werkstoffs mit einer Gesamthärte von 63 – 65 HRC. Der Werkstoff ist aufgrund des Niobzusatzes teuer geworden, so dass häufig nur die chromkarbidhaltigen Werkstoffe zum Einsatz kommen.

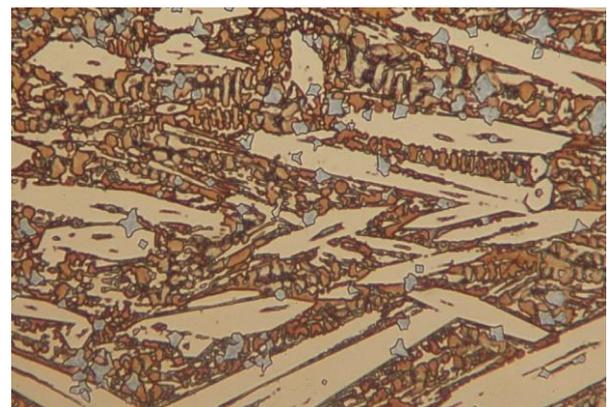


Bild 9: Gefüge einer FeCrNbC-Legierung

4. Standzeitverlängerungen anhand von einigen Fallbeispielen

a) Region: Südamerika

Mühlentyp: Gebr. Pfeiffer MPS 2650/1750

Vor der Regeneration mit VAUTID-Fülldrähten lag der Verschleiß bei ca. 3 Gramm pro gemahlene Tonne Kohle, wobei die Kapazität der Mühle bei ca. 700.000 – 800.000 Tonnen pro Jahr lag. Durch eine kundenspezifische Aufschweißung der Mahlbandagen und Tellersegment konnte der Verschleiß auf 1,7 Gramm pro Tonne Mahlgut verbessert werden, bei gleichzeitiger Erhöhung der Jahresproduktionsmenge. Zusätzlich sind die Vibrationen in der Walzenschüsselmühle zurückgegangen.



Bild 10: Geliieferte Rohgussteile vor der Aufschweißung



Bild 11: Geliieferte Mahltellersegmente mit Aufschweißung VAUTID-100-Mo



Bild 12: Regenerierte Mahlbandagensegmente mit VAUTID-100-Mo

b) Land: Volksrepublik China

Mühlentyp: lokaler Produzent von Vertikalmühlen

In dem größten Kohlekraftwerk im Raum Shanghai mit einer Kapazität von 2 x 10.000 MW wird zur Energieerzeugung Kohle in insgesamt 6 Vertikalmühlen pro Boiler vermahlen. In den Vertikalmühlen sind insgesamt 3 Mahlbandagen pro Mühle verbaut.



Bild 13: Verschlossene Mahlbandagen ohne Auftragschweißung mit typischem Verschleißbild



Bild 14: Aufgeschweißte Mahlbandagen mit Fülldraht VAUTID-100

Die angelieferten Mahlbandagen wurden mit dem Fülldraht VAUTID-100 in der Werkstatt repariert und wieder in Einsatz gebracht. Das Kraftwerk wünscht eine Lebensdauer von 10.000 Stunden nach der Aufschweißung. Die reparierten Mahlbandagen wurden im Jahre 2012 verbaut und laufen schon seit einigen tausend Stunden. Zwar ist die gewünschte Lebensdauer noch nicht zu Gänze erreicht, VAUTID ist jedoch sehr zuverlässig, dass dies bald der Fall sein wird.

c) Land: Deutschland
Mühlentyp: EVT Typ RP 943 X

An einen Energieversorger aus Süddeutschland wurden 9 kompletten Mahlbandagen geliefert. Diese Mahlbandagen wurden von VAUTID gegossen und entsprechend dem Verschleißprofils bearbeitet und dann mit VAUTID-Fülldrähten gepanzert. In diesem Fall kamen die einbaufertigen Mahlbandagen für die EVT Kohlemühle komplett aus einer Hand – Gussgrundkörper und die Aufschweißung.



Bild 15: Einbaufertige Mahlbandagen mit Auftragschweißung VAUTID-143

Mit dieser Lösung der Mahlbandagen kann die Standzeit gegenüber über ursprünglich eingesetzten Werkstoffen wie z.B. Ni-Hard oder hoch chromhaltigen Gusswerkstoffen um das 1,5 fache verlängert werden. Die Standzeitverlängerung steht immer in Abhängigkeit zur Qualität der vermahlenden Kohle (unterschiedliche Herkunft der Kohle und Kohlebestandteile kann zu erheblichen Veränderungen der Standzeit führen) und den Jahresproduktionsmengen der Mühlen.



Bild 16: Aufgeschweißte Mahlbandage und Gussgrundkörper vor der Aufschweißung mit VAUTID-100-Mo

d) Land: Deutschland
Mühlentyp: Gebr. Pfeiffer MPS 200

VAUTID erhielt den Auftrag einige Mahlbandagen eines Energieversorgers im Raum Stuttgart zu regenerieren. Es wurden verschlissene Mahlbandagen vom Kohlekraftwerk an VAUTID geliefert und in der Werkstatt mit VAUTID-100 Fülldrähten gepanzert.



Bild 17: Mahlbandagen mit Auftragsschweißung mit VAUTID-100

Mahlkörper in Vertikalmühlen die Kohle vermahlen und mit VAUTID-Auftragsschweißwerkstoffen gepanzert werden, können bis zu 10.000 Stunden Einsatzzeit erreichen. Durch diese Lösung können nicht nur die Instandhaltungskosten signifikant reduziert werden, sondern es ergibt sich auch ein positiver Effekt für die Produktionseffizienz der Mühlen.



Bild 18: Mahlbandagen mit Auftragsschweißung VAUTID-100 im eingebauten Zustand nach einigen tausend Stunden im Einsatz

5. Zusammenfassung

Beim Regenerieren von Mahlwalzen werden verschiedene Kenntnisse benötigt:

a) Das Know-how des Betriebes der entsprechenden Maschinen und Apparaturen. Für den horizontal laufenden Mahlteller benötigt man eine entsprechend große Drehvorrichtung, auf der bis zu 3 Brenner gleichzeitig Schweißgut aufbringen können. Für die vertikal arbeitenden Mahlwalzen genügt eine einfache Drehvorrichtung, die sich zur Hälfte in einer Grube befindet. Somit ist der höchste Punkt der Walze, der Ort des Auftragschweißens, für den Maschinenbediener erreichbar und einsehbar.

b) Die Kenntnis der metallurgischen Eigenschaften der zu schweißenden Grundwerkstoffe. Die Erstausrüstung der Mahlwerkzeuge besteht meistens aus Chrom-Nickel-Hartguss, der nach dem ersten Mahlverschleiß mit Chrom-Kohlenstoff-Hartlegierungen regeneriert wird. Ein unbegrenztes Reparieren ist nicht möglich. Nach der 3. – 5. Regeneration ist der Grundwerkstoff ermüdet. Mikroskopische Risse führen dann zu makroskopischen Fehlern, Rissen und Ausbrüchen.

c) Das Wissen über die Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Schweißverfahren. In den meisten Fällen wird ein Open - Arc – Lichtbogenschweißen durchgeführt. MIG - Schweißen oder Unterpulverschweißen sind ebenfalls möglich. Bei den beiden letzten Verfahren erzielt man eine bessere Schweißqualität, die Verfahren sind jedoch etwas teurer.

d) Die Kenntnis der Eigenschaften der Auftragschweißwerkstoffe, die aufgrund der mahlenden und verschleißenden Charakteristik des Prozesses notwendig sind. Auftragschweißwerkstoffe können maßgeschneidert auf das Verschleißkollektiv eingesetzt werden. Im vorliegenden Fall handelt es sich um Abrasion ohne nennenswerte Temperatur- oder Korrosionsbelastung. Eine FeCrC – Hartlegierung, deren reines Schweißgut eine Härte von ca. 63 HRC besitzt, ist die richtige Lösung, denn primäre Karbide in der Matrix verlängern die Lebensdauer der Mahlbandagen und Mahlteller um ein vielfaches.

e) Langjährige Erfahrungswerte aus verschiedenen Ländern und Einsatzgebieten, bieten die Gelegenheit kundenindividuelle Verschleißlösungen für den Einsatz in Kohlevertikalmühlen zu entwickeln. Dabei ist eines der Hauptthemen die Kosten-Nutzen-Analyse für den Endanwender. Hierbei sollte nicht nur die reinen Instandhaltungskosten berücksichtigt werden, sondern auch eventuelle Erhöhungen der Produktionskapazität und Verringerungen des Energieverbrauchs der Mühlen, denn diese Faktoren haben einen erheblichen wirtschaftlichen Effekt auf den Betrieb von Walzenschüsselmühlen.