

Schmelzen von kontaminierten Aluminiumschrotten

Verringerung des Metallabbrands im Zweikammer Schmelz- & Recyclingofen TCF®

Auf dem Markt für Aluminiumschrotte wächst der Anteil mit erhöhtem Kontaminat. Da ein erhöhter Kontaminatanteil in der Regel auch zu einem höheren Metallabbrand führt, muss die Anlagentechnik Lösungen schaffen, die Metallausbringung weiter zu optimieren. Die aktuelle Generation des Zweikammer Schmelz- & Recyclingofens TCF® erreicht dies mit einer innovativen Ergänzung der Schrotterwärmung.

Von Hartwig Thie und Dr. Christian Wuppermann, Tenova LOI Thermprocess, Duisburg

Für eine Gesellschaft, die sich der Nachhaltigkeit verschrieben hat, führt kein Weg am Recycling vorbei. Natürlich ist das Recycling auch im wirtschaftlichen Interesse, weil die Aluminiumpreise sich gerade in der letzten Zeit deutlich nach oben entwickelt haben.

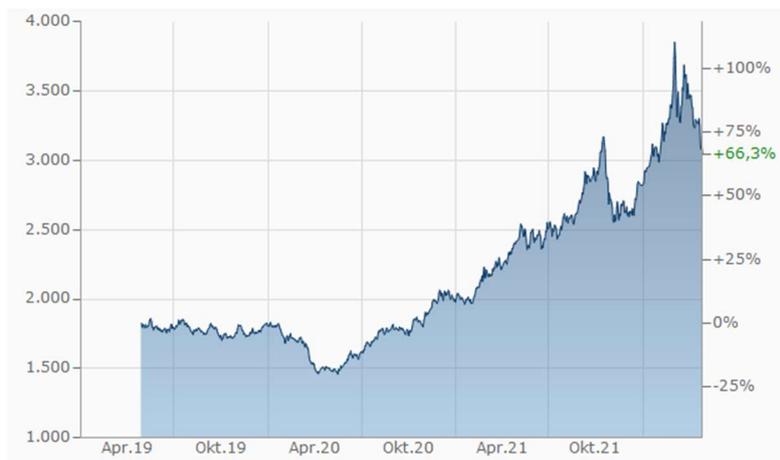


Bild 1: LME Preis für Aluminium Stand Ende 4/2022

Mit dem Preis für Hüttenaluminium steigt auch der Preis für die Schrotte. Für ein Unternehmen wird es also unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten immer wichtiger, den Bedarf für die Schmelzkapazität über höher kontaminierte Schrotte zu decken, weil diese deutlich preiswerte als blanken und sortenreinen Schrotte sind.

Anfang der 1990er Jahre hat sich das System Zweikammer Schmelz- & Recyclingofen TCF® etabliert, weil mit dieser Ofenart auf der einen Seite, der Schrottkammer, eine „sanfte“ und kontrollierbare Erwärmung des Schrotts möglich wird, während auf der anderen Seite des Ofens, der Heizkammer, mit einer hohen Temperatur gearbeitet werden kann, um die Schmelze damit schnell und wirtschaftlich zu erwärmen. Erste Ofenanlagen hatten eine Schmelzkapazität von 2,2t/h bei einer Schrottkammerbreite von 4m. Dort wurde der Ofen mit Schaufelradladern chargiert. Die Verbrennungsluft erwärmung erfolgte über einen Zentralrekuperator, und die Nachverbrennung der flüchtigen Bestandteile aus dem Kontaminat erfolgte mit Hilfe einer gestuften Steuerung. Während die Heizkammer bereits mit 1050°C betrieben wurde, war die Schrottkammertemperatur aufgrund der Anlagenkomponenten auf maximal 750°C begrenzt.



Bild 2: Erste Generation Zweikammer Schmelz- & Recyclingofen TCF® von 1990

Das Foto zeigt die geöffnete Schrottkammer eines Zweikammer Schmelz- & Recyclingofens TCF® der ersten Generation nach der Chargierung mit einem Schaufelradlader.

Weiterentwicklung des Zweikammer Schmelz- & Recyclingofens TCF®

Mit der Zunahme an Consumer- und Rücklaufschrotten mussten leistungsfähigere Aggregate gebaut werden. Die Ofengeometrie wurde an den Bedarf angepasst. So wuchs die Ofenbreite auf der Heiz- und Schrottkammerseite auf bis zu 7,7 m. Die Schmelzbadfläche auf der Heizkammerseite wurde an die gewünschte Leistung angepasst. Einschränkungen gibt es bei der Tiefe der beiden Kammern. Es muss sichergestellt werden können, dass die verfügbaren Abkrätzwerkzeuge in der Lage sind, die Badoberflächen und die Böden vollständig zu reinigen. Die Schmelzbadfläche muss die Energie aufnehmen können, die notwendig ist, die gewünschte Menge Schrott von einer mittleren Temperatur um 350°C, die auf der Schrottkammerbrücke erreicht wird, schmelzflüssig auf 720 bis 740°C zu bringen. Die dafür notwendigen Enthalpien setzen sich aus der Temperaturdifferenz und der Schmelzenthalpie zusammen.



Bild 3: Zweikammer Schmelz- & Recyclingofen TCF® der aktuellen Generation mit Nebenaggregaten

Das Bild 3 zeigt einen TCF wie er aktuell für große Schmelzleistung gebaut wird. Eine regenerative Beheizung, sowie eine Spänechargiermöglichkeit und eine Schmelzenumwälzung sind bei den neueren Anlagen bereits Standard. Daneben können die Drücke sowohl in der Schrottkammer wie

auch in der Heizkammer getrennt geregelt werden. Um den Energieverbrauch weiter zu senken, wurde auch auf der Schrottkammerseite eine regenerative Beheizung für eine Luftvorwärmtemperatur von 800°C eingesetzt. Dabei ist es selbstverständlich, dass der Energieinhalt aus den Kontaminaten in dem Ofen so eingesetzt wird, dass damit direkt die zugeführte Energie, in der Regel Erdgas, reduziert werden kann. Nur so ist der spezifische Energieeinsatz an Erdgas je nach Kontaminatmenge auf bis zu 400kWh/t zu senken. Derzeit erlaubt der Zweikammer Schmelz- & Recyclingofen TCF® einen Kontaminatanteil von bis zu 8%. Damit kann der spezifische Energiebedarf im Vergleich zu der ersten TCF® – Generation auf weniger als die Hälfte gesenkt werden.

Erhöhung der Kontaminatmenge

Ziel der Ofenbetreiber ist es, den Schrott möglichst preiswert einzukaufen. Daher werden in zunehmenden Maße höher kontaminierte Schrotte eingesetzt. Die Preise orientieren sich am Kontaminatanteil einerseits, weil der Kontaminatanteil massenmäßig verloren geht, hauptsächlich aber weil der Abbrand mit zunehmendem Kontaminatanteil wächst, was im Weiteren noch erläutert wird.

Nach dem Einsetzen des Schrotts in die Schrottkammer, wird der Schrott erwärmt, so dass die Kontamine pyrolysiert werden. Die VOCs als Teil der Pyrolyseprodukte sind ein brennbares Gas, deren Heizwert sich nach dem Ausgangsmaterial unterscheidet. In der dritten Generation des Zweikammer Schmelz- & Recyclingofens TCF® sah der Prozess vor, dass das Pyrolysegas ausschließlich in der Heizkammer verbrannt wird. Die Regelung der Heizkammer orientiert sich an dem Bedarf zur Energieübertragung an das Bad und der Abgastemperatur, um den Ofen nicht zu überhitzen. Damit wird deutlich, dass keine beliebige Menge an Kontaminat/VOC umgesetzt beziehungsweise chargiert werden darf.

Dennoch muss der Anlagenhersteller dem Bedarf der Kunden Rechnung tragen. In der aktuellen vierten Generation des Zweikammer Schmelz- & Recyclingofens TCF® wird ein geregelter Teil des Pyrolysegases bereits in der Schrottkammer verbrannt. Damit wird einerseits die Schrottcharge schneller erwärmt und vermieden, dass zu viel Pyrolysegas in der Heizkammer zur einer Überhitzung führen kann.

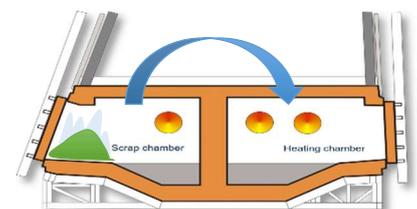
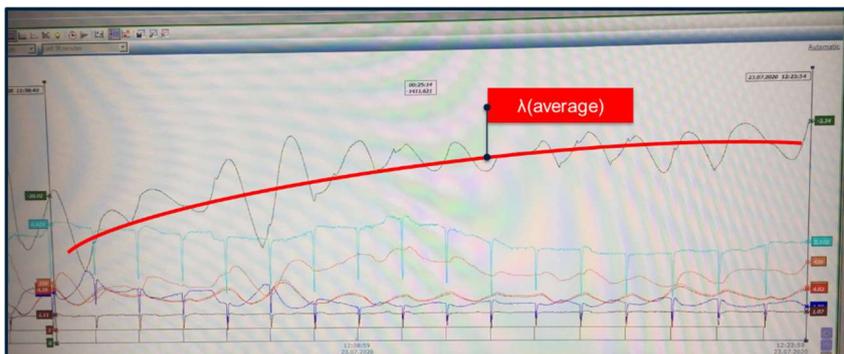


Bild 4: Entwicklung des Sauerstoffwertes während der Pyrolysegasverbrennung betrachtet über einen Chargierzyklus

Die Grafik zeigt die einzustellende Luftzahl über einem Chargierzyklus von etwa 30 Minuten. Zum Ende des Zyklus gleicht sich die Luftzahl wieder asymptotisch der für eine Erdgasverbrennung üblichen Zahl an, was einem Gas-/Luftverhältnis von 1/10 oder 1/11 je nach Erdgas L oder H entspricht.

Der Pyrolyseprozess ist endotherm, kann also nur durch Energiezufuhr ablaufen. Je mehr Kontaminat pyrolysiert werden soll, desto mehr Energie muss zugeführt werden. Die vierte Generation des TCF hat dafür eine Lösung geschaffen.

Aluminium ist ein reaktionsafines Metall. In seiner festen Form, bildet es jedoch einen Oxidmantel, der das Metall vor einer weiteren Oxidation schützt. Sobald das Metall in die schmelzflüssige Phase übergeht, verliert das Metall den schützenden Oxidmantel und reagiert erneut mit Reaktionspartnern, vorzugsweise mit Sauerstoff aus der Atmosphäre des Verbrennungsgases im Ofen.

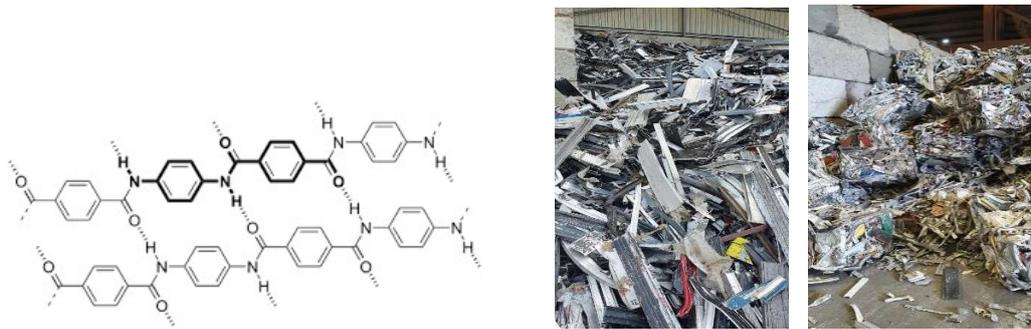


Bild 5: Kunststoffmolekül, Kontaminat im Aluminiumschrott

Am Beispiel eines Kunststoffmoleküls wird deutlich, dass beim thermischen Cracken des Moleküls Sauerstoffatome, wenn auch nur für den Bruchteil einer Sekunde, frei werden und als Reaktionspartner für das flüssige Aluminium zur Verfügung stehen. Damit entsteht Al_2O_3 , das nur elektrolytisch wieder reduziert werden kann. Damit ist das Aluminium als Oxid im Sekundärprozess als Metall verloren. Bei den Schrotten muss also genau darauf geachtet werden, welche Art des Kontaminats an den Schrotten haftet, da sich die Kontaminante im Heizwert, der Pyrolysiertemperatur/ Verdampfungstemperatur, der Reaktionsgeschwindigkeit und dem Sauerstoffgehalt in den Molekülketten deutlich unterscheiden.

Als Postulat definiert sich daraus, dass die Pyrolyse nicht an der Schmelzbadgrenze erfolgen darf, sondern vor dem Einschmelzen abgeschlossen sein muss.

Für einen wirtschaftlichen Prozess mit hohen Schrottschmelzraten ergibt sich die Forderung, dass der Schrott schnell und gleichmäßig erwärmt werden muss, wobei das Kontaminat pyrolysiert wird.

Die für einen wirtschaftlichen Betrieb kontinuierliche Erhöhung der Schrottschmelzraten führte dazu, dass die Schrottchargen stets größer wurden und heute bis zu 6t pro Beladung in der Chargiermaschine betragen. Bei einem Schüttgewicht von 400kg/m^3 entspricht das einem Volumen von 15 m^3 . Ein von der Chargiermaschine auf der Schrottkammerbrücke abgelegter Schrotthaufen hat mit 7 mal 2,5m Grundfläche eine maximale Höhe von etwa 1,4m. Die projektierte Oberfläche ist also mit 20 bis 25m^2 nicht ausreichend, um den Schrott in 30 Minuten ausreichend zu erwärmen und damit die Kontaminante zu pyrolysieren. Auch wenn die am höchsten kontaminierten Schrotte im Schrotthaufen oben abgelegt werden, reicht die Wärmeübertragung nicht aus, den Schrotthaufen auf eine ausreichend hohe Temperatur zu bringen. Der Wärmeübergang durch Strahlung und Konvektion auf die Oberfläche des Schrotthaufens würde dabei nur zu einer Temperaturerhöhung von 100K bis 130K je nach Oberflächenbeschaffenheit führen. Einen kleinen Beitrag leistet auch der Wärmeübergang von der Brücke auf den Schrotthaufen.

Der Ansatz ist nun, dem Schrotthaufen eine geregelte Menge an Sauerstoff zuzuführen, so dass, einfach betrachtet, das Kontaminat des Schrotthaufens zum Teil in der Schrottkammer verbrannt wird, womit die Pyrolyse und damit eine ausreichende Erwärmung erfolgen kann. Die Regelung

erkennt dies durch die asymptotische Annäherung des Gas-/Luftverhältnisses an die Erdgasverbrennung wie in Bild 4 dargestellt.

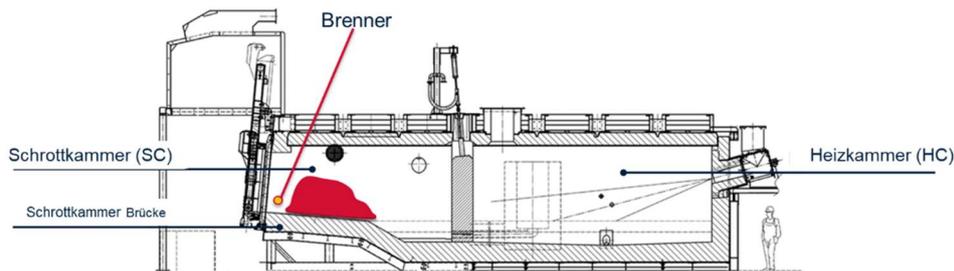


Bild 6: TCF – Aufbau für eine gleichmäßige Erwärmung des Schrotthaufens

Der Schrotthaufen auf der Brücke der Schrottkammer wird von allen Seiten mit einer geregelten Menge Sauerstoff für eine Teilverbrennung der VOCs beaufschlagt. Zwischen Tür und Schrotthaufen ist in der Regel der kälteste Bereich. Zur Vermeidung eines Zeitverzugs für die Pyrolyse, kann dieser Bereich zusätzlich durch Brenner erwärmt werden. Mit einer geregelten Sauerstoffzufuhr sowie einer Unterstützung der Temperaturgleichmäßigkeit wird der Schrotthaufen während der Liegezeit auf der Brücke so weit vorgewärmt, dass die Kontaminate weitestgehend pyrolysiert werden können.

Die Eindüsung von Sauerstoff für die gezielte Pyrolyse in der Schrottkammer sowie die Unterstützung der Heizleistung durch die Brenner zwischen Tür und Schrottcharge folgen einem komplizierten Algorithmus, so dass dies in optimaler Weise nur automatisch erfolgen kann und nicht gesteuert oder eingeschaltet werden muss. Der Algorithmus erkennt auch, wenn die Pyrolyse noch nicht weit genug fortgeschritten ist, so dass eine neue Charge noch nicht auf der Brücke abgelegt werden sollte. Der Algorithmus ist auf eine Maximierung der Ausbringung mit einem möglichst geringen Metallabbrand erstellt, wobei durch die Wahl der Parameter die Ziele Metallausbringung und Produktionsleistung je nach Auslastung variiert werden können.

Aktueller Stand der TCF – Weiterentwicklung

Nach mehr als 30 Jahren Betriebserfahrung mit den Generationen des Zweikammer Schmelz- & Recyclingofens TCF® wurde dieser kontinuierlich für die aktuellen Bedürfnisse des Marktes weiterentwickelt. In der momentanen Fassung optimiert der TCF® seinen Betrieb eigenständig, wobei die Gewichtungparameter für die Ausbringung und die Produktionsleistung vom Betrieb vorgegeben werden können, um so flexibel auf Verschiebungen bei Mengen und Qualitäten reagieren zu können.