

SMARTT – definierte Wasserstoffgehalte in Aluminiumschmelzen durch Rotorentgasung

AUTOR: Ronny Simon, Non Ferrous Technology Manager

Die globalen Automobilhersteller sind ein wichtiger Kunde der Aluminiumgießereien. Für qualitativ hochwertige Gussteile wird eine prozesssichere und reproduzierbare Schmelzebehandlung in Verbindung mit einem optimalen Gießprozess

immer wichtiger. Insbesondere die Fahrzeugindustrie fordert reproduzierbare Prozesse. Die Schmelzebehandlung muss konstante Ergebnisse hinsichtlich Wasserstoff- und Oxidgehalt liefern. Viele Qualitätsmanagementsysteme fordern

eine 100 %ige Rückverfolgbarkeit der Produktion, wodurch intelligente Behandlungsprozesse mit der Möglichkeit zur Speicherung aller Daten immer mehr in den Fokus rücken.

Einführung

Prozesssteuerung im Allgemeinen beschreibt, wie Gießereien die lückenlose Kontrolle über die einzelnen Komponenten und Produktionsschritte auf dem Weg zum fertigen Gussteil sicherstellen. Dabei leitet sich die Bedeutung von Prozesssteuerung und die strikte Einhaltung aller Parameter aus dem Ziel der Vermeidung von kostenintensiven Fehlern ab. Durch die enge Überwachung aller Prozessparameter können potentielle Fehler schneller erkannt werden, bevor sie später zu signifikanten Problemen führen. Der intelligente Einsatz aller Möglichkeiten zur Prozesssteuerung und -überwachung innerhalb eines Produktionsprozesses bietet zusätzliche Effekte, welche weit über das traditionelle Qualitätsmanagement hinausgehen:

- Erhöhte Produktivität der Bestandsanlagen
- Erhöhte Automatisierung und Verringerung des menschlichen

- Einflusses
- Weniger Nacharbeit, Abweichungen und Schrott
 - Erweiterte Produktionsmöglichkeiten und -kapazität.

Was beeinflusst die Entgasung?

Bei der Rotorentgasung unterscheidet man zwischen Faktoren, die über einen längeren Zeitraum nahezu konstant bleiben, und Variablen. Legierungszusammensetzung, Tiegelgeometrie und Qualitätsanforderungen am Behandlungsende sind oft definiert und verändern sich nur unwesentlich. Gewöhnlich werden unterschiedliche Programme mit den jeweiligen Zeiten, Rotordrehzahlen und Spülgasmengen in der SPS-Steuerung hinterlegt. Basierend auf festen Vorgaben wählt der Bediener eines der Programme aus. Dabei ist die Anzahl der Programme begrenzt; und Parameter müssen manuell auf Prozessveränderungen angepasst werden. Zusätzlich besteht das Risiko,

dass der Bediener das falsche Programm wählt.

Andere Faktoren wie Lufttemperatur und -feuchtigkeit oder Schmelztemperatur verändern sich in größeren Bandbreiten. Der Einfluss dieser Schwankungen wird oft unterschätzt oder der Bediener versucht, diese Faktoren mit Hilfe seiner Erfahrungen zu kompensieren.

Die Wasserstoffkonzentration in der Schmelze wurde mit Hilfe der Entgasungssimulation für unterschiedliche Umgebungsbedingungen berechnet. Grundlage waren die Gießerei typischen Parameter aus Tabelle 1. Veränderungen in den Parametern zeigen den Einfluss auf das Entgasungsergebnis und den Wasserstoffgehalt am Ende der jeweiligen Behandlung.

Tabelle 1: Simulationsparameter

ATL 1000 mit 850 kg Schmelze	XSR 220 Rotor
AlSi7Mg	420 1/min
750 °C Schmelztemperatur	20 l/min Inertgas
50 % Relative Luftfeuchtigkeit	20 l/min Formiergas mit 20 % Wasserstoff
25 °C Lufttemperatur	0,30 ml H ₂ / 100 g Al Startkonzentration

1. Umgebungsbedingungen

Die Schmelze bildet mit der Luftfeuchtigkeit in der Umgebung ein Gleichgewicht; ein warmes und feuchtes Klima führt zu einem höheren Wasserstoffgehalt in der Schmelze als kaltes und trockenes Wetter (Abbildung 1).

Während der Rotorentgasung ist die Schmelze in Wechselwirkung mit der Atmosphäre. Die Entgasungssimulation zeigt den Einfluss unterschiedlicher Umgebungsbedingungen (Diagramm 1):

Begasungsbehandlungen mit Formiergas – einem Gemisch aus Wasserstoff und Inertgas – enden gleichermaßen unterschiedlich (Diagramm 2).

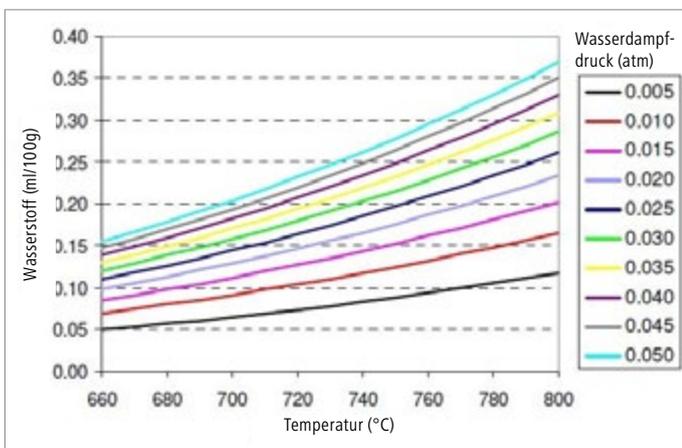


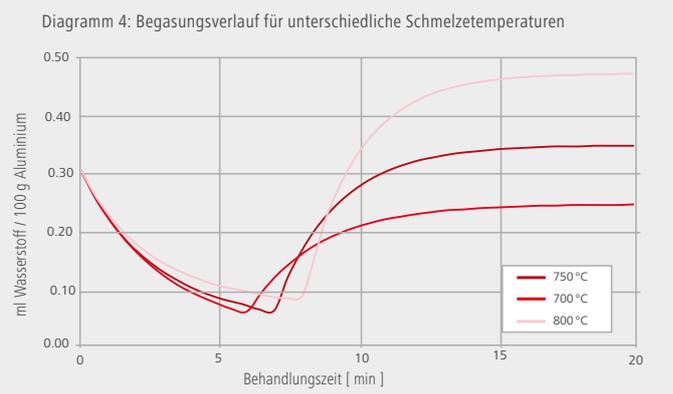
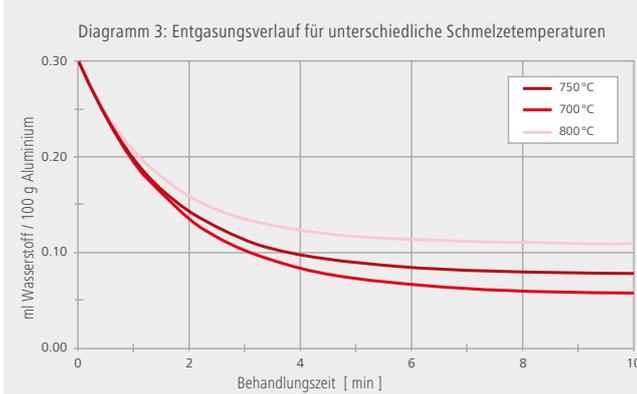
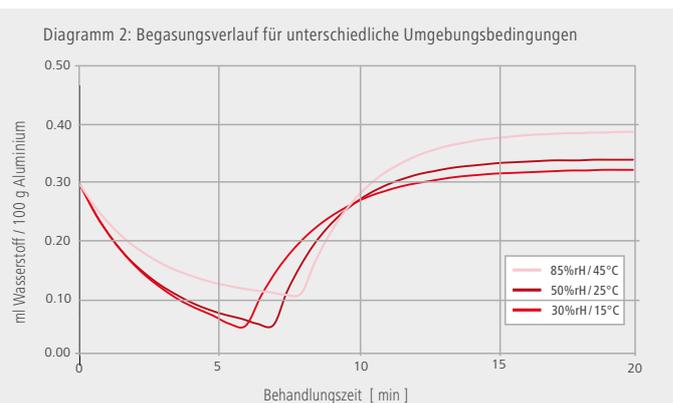
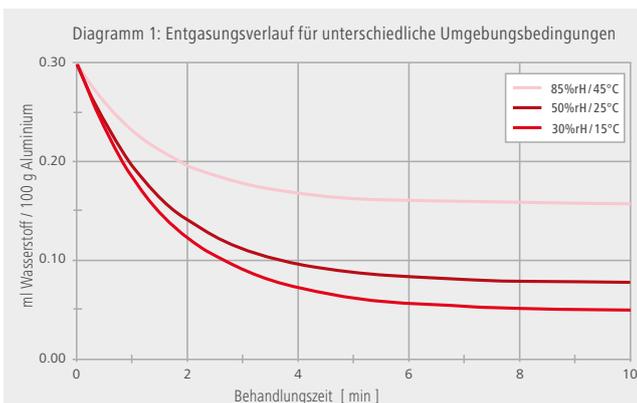
Abbildung 1: Einfluss der Umgebungsbedingungen auf die Wasserstofflöslichkeit
(0,005 atm = 5°C / 50% rH;
0,050 atm = 35 °C / 90 % rH)

2. Schmelztemperatur

Die Schmelztemperatur beeinflusst ebenfalls das Gleichgewicht mit der Atmosphäre, Schmelze mit höherer Temperatur löst dabei mehr Wasserstoff (Diagramm 3).

Beim Einsatz von Formiergas sind diese Unterschiede für verschiedene Schmelztemperaturen noch deutlicher (Diagramm 4).

Einen kompletten Bericht zu diesen Arbeiten finden Sie in der Foundry Practice 256 (2011).



SMARTT – innovative Prozesssteuerung

SMARTT ist die Abkürzung für *self-monitoring adaptive recalculation treatment* – die Software analysiert die für eine Rotorentgasung notwendigen Ausgangsparameter unmittelbar vor jeder Schmelzebehandlung. Ziel ist eine konstante Schmelzequalität am Ende einer jeden Behandlung. SMARTT ist auf einem Windows-PC installiert; die Ein- und Ausgabe erfolgt über einen Touchscreen. Der PC ist über LAN mit der Siemens SPS, welche das Entgasungsgerät steuert, verbunden. Ein handelsüblicher Sensor misst relative Luftfeuchtigkeit und -temperatur und ist in der Nähe des Schaltschranks angebracht. Der Sensor erfasst dabei die Bedingungen, in denen die FDU Behandlung stattfindet; er überträgt diese Daten in Echtzeit an SMARTT, wo sie gespeichert und als Basis für die Optimierung genutzt werden.

Einen kompletten Bericht über SMARTT finden Sie in der Foundry Practice 264 (2015).

Praxis der Entgasung

Für unterschiedliche Umgebungsbedingungen berechnet SMARTT die Parameter, um nach jeder Behandlung das Entgasungsziel zu erreichen. Mit steigender Lufttemperatur und -feuchtigkeit werden Rotordrehzahl und Inertgasdurchfluss erhöht, um den höheren Feuchtegehalt in der Atmosphäre zu kompensieren. Jede Optimierung beginnt bei der Minimum-Behandlungszeit, diese Zeit gewährleistet die notwendige Oxid- und Einschlusentfernung. Wenn Rotordrehzahl oder Inertgasmenge ihr spezifisches Limit erreicht haben, beginnt die Software die Behandlungszeit schrittweise zu erhöhen, um das Ziel zu erreichen (Tabelle 2, Abbildung 2). Eine maximale Behandlungszeit begrenzt den Prozess zur Vermeidung von zu hohem Temperaturverlust oder Mangel an behandelter Schmelze im nachfolgenden Gießprozess.

Schwankungen in der Schmelzetemperatur vor der Behandlung werden von SMARTT auf die gleiche Art und Weise ausgeglichen. Schlussendlich startet jeder Prozess mit spezifischer Rotordrehzahl, Spülgasmenge und Behandlungszeit. Dies geschieht immer mit dem Ziel eines konstanten Wasserstoffgehalts zum Ende der Behandlung. Versuche in Gießereien bestätigen das konstante Ergebnis unabhängig der Startbedingungen.

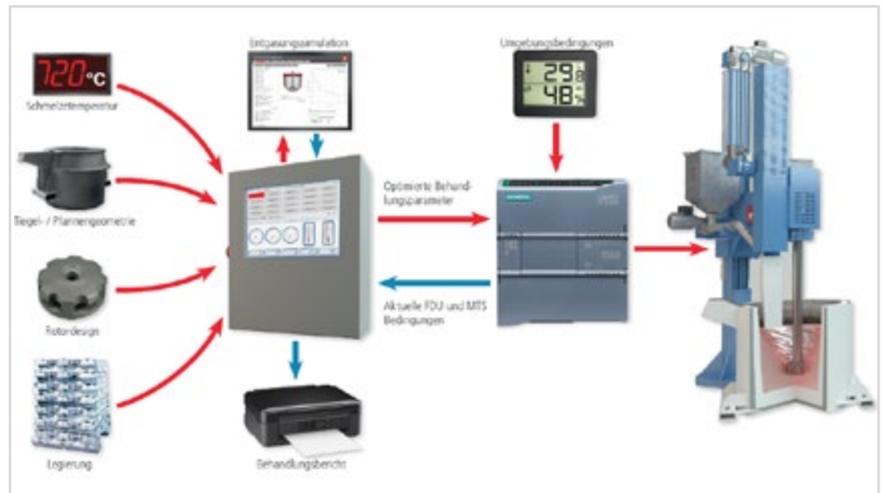


Abbildung 2: Schema einer SMARTT-Steuerung

BU 600 mit 530 kg Schmelze	0,06 ml H ₂ / 100 g Al Behandlungsziel
AlSi8Cu3	Standardoptimierung
750 °C Schmelzetemperatur	240 s Minimumzeit
XSR 190 Rotor	500 s Maximale Zeit

Tabelle 2: Prozessparameter für SMARTT-Entgasung

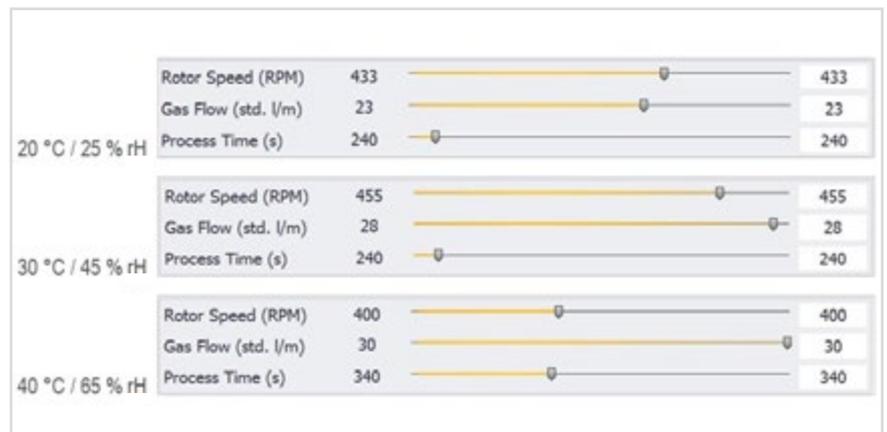


Abbildung 3: Behandlungsparameter für unterschiedliche Umgebungsbedingungen

Praxis der Begasung mit Formiergas

Einige Gussstücke wie beispielsweise Aluminiumfelgen erfordern einen definierten Wasserstoffgehalt. Üblicherweise sind sehr kurze Entgasungszeiten eingestellt, um nicht zu viel Wasserstoff aus der Schmelze zu entfernen. Dabei verbleiben jedoch besonders feine Oxide in der Schmelze. Durch den Einsatz von Formiergas – ein Gemisch aus N₂ oder Ar und H₂ – sind längere Zeiten realisierbar und Oxide werden besser entfernt. Erfahrungsgemäß sind die Schwankungen der Ergebnisse trotzdem noch beträchtlich. SMARTT ermöglicht eine

mehrstufige Behandlung, die mit Entgasen durch Inertgas beginnt. Daran schließen sich zwei Begasungsstufen an. Stufe 1 dosiert ausschließlich Formiergas bis zum Erreichen von etwa 90 % des Wasserstoffziels. In Stufe 2 werden Formiergas und Inertgas gemischt. Das Spülgas enthält den effektiven Wasserstoffgehalt, der das Gleichgewicht zwischen Schmelze, Atmosphäre und Behandlungsgas widerspiegelt (Diagramm 5).



Diagramm 5: Mehrstufiger Begasungsprozess

Bei höheren Temperaturen nimmt Schmelze mehr und schneller Wasserstoff auf, wodurch sich die Zeit der ersten Stufe verringert. Stufe 2 wird in gleicher Weise beeinflusst, wodurch sich der notwendige effektive Wasserstoffgehalt im Spülgas reduziert. Die Spülgaszusammensetzung entspricht exakt dem Gleichgewicht zwischen der Wasserstoffaufnahme an der Schmelzeoberfläche und dem Spülgas. Unter diesen Bedingungen wird der Wasserstoffgehalt in der Schmelze auf immer gleichem Level gehalten; eine Gleichgewichtszeit von 30 bis 45 Sekunden reicht aus, um stabile Bedingungen einzustellen.

Die Massedurchflussregler für Inertgas und Formiergas mischen die errechnete effektive Gaszusammensetzung ohne menschlichem Einfluss. Die unterschiedlichen effektiven Wasserstoffgehalte im Behandlungsgas (Tabelle 4) verdeutlichen die Komplexität der Begasungsbehandlung. Es ist damit offensichtlich, dass nur eine computergesteuerte Simulation alle Variationen der Startbedingungen erfassen und zu optimalen Parametern zusammenfassen kann.

ATL 1000 mit 850 kg Schmelze	0,08 ml H ₂ / 100 g Al Ziel für Entgasung
AlSi7Mg	0,15 ml H ₂ / 100 g Al Behandlungsziel
50 % Relative Luftfeuchtigkeit	360 s Minimumzeit
25 °C Umgebungstemperatur	600 s Maximale Zeit
FDR 220 Rotor	45 s Gleichgewichtszeit (2. Stufe)
Standardoptimierung	20 % Wasserstoff im Formiergas

Tabelle 3: Prozessparameter für SMARTT-Begasung

Schmelze-temperatur		Rotor [rpm]	Inertgas [l/min]	Formiergas [l/min]	Zeit [s]	Effektiver H ₂ -Gehalt
720 °C	Entgasung	315	16	0	360	0
	Stufe 1	400	0	35	28	20
	Stufe 2	400	26	9	45	5,3
740 °C	Entgasung	303	25	0	360	0
	Stufe 1	400	0	35	22	20
	Stufe 2	400	28	7	45	3,8
760 °C	Entgasung	309	30	0	360	0
	Stufe 1	400	0	35	17	20
	Stufe 2	400	30	5	45	2,8

Tabelle 4: Behandlungsparameter für mehrstufiges Begasen in Abhängigkeit der Schmelztemperatur

Die aktuelle SMARTT Version kommuniziert zusätzlich mit einer externen Temperaturquelle oder einem Handmessgerät. Externe Quelle kann ein vorhandenes Thermoelement aus Ofen oder Transportpfanne sein, welches die aktuelle Temperatur bereits an einen Datenserver schickt. Der Server wiederum aktualisiert die SMARTT-Software über Ethernet oder analoge Werte. Alternativ kann der Bediener ein Handgerät in die Schmelze tauchen, welches direkt mit SMARTT verbunden ist und die korrekte Starttemperatur unmittelbar vor der SMARTT-Optimierung speichert und überträgt.

Die Software enthält außerdem ein Berichtssystem. Alle Behandlungsdaten werden im Excel-Format gespeichert und können angezeigt oder extern weiterverarbeitet werden.

Zusammenfassung

SMARTT – innovative Prozesskontrolle – stellt eine komfortable und übersichtliche Oberfläche zur Verfügung, um alle Startbedingungen einer Rotorentgasung zu bestimmen und daraus die besten Behandlungsparameter zu ermitteln. Diese Vorhersage für einen bestimmten Ziel-Wasserstoffgehalt erfolgt unter Beachtung von prozessbedingten Vorgaben. Ein

Berichtssystem speichert alle Daten im Excel-Format und ermöglicht die Weiterverarbeitung in externen System.

Durch die Verwendung von SMARTT zur Entgasung werden konstante Wasserstoffwerte auch unter variierenden Anfangsbedingungen erreicht. Die Ziele sind auf kostengünstigem Weg erreichbar, es müssen keine Abweichungen zusätzlich kompensiert werden. Dadurch wird Zeit, Energie und Inertgas gespart sowie Verschleiß an Grafitschaft und -rotor minimiert.

Beim Begasen, oft in Felgengießereien verwendet, haben selbst kleinste Veränderungen in den Umgebungsbedingungen oder der Schmelztemperatur erheblichen Einfluss auf den Wasserstoffgehalt nach der Behandlung. Diese komplexen Abhängigkeiten können nur über ein mathematisches Modell erfasst werden.

Die SMARTT-Software, basierend auf der Entgasungssimulation, ist eine intelligente Lösung für Rotorentgasungsprozesse in Aluminiumgießereien.