



REGENERIERUNG VON ANORGANISCH GEBUNDENEN SANDSYSTEMEN - AUF DEM WEG ZU EINEM NACHHALTIGEREN KERNHERSTELLUNGSPROZESS



Autoren: Dr. Vincent Haanappel und Thomas Linke, Foseco und Markus Jendrock und Dr. Enno Schulte, KLEIN Anlagenbau AG

In den Aluminiumgießereien der Automobilindustrie werden zunehmend organische durch anorganische Bindemittelsysteme ersetzt, um die organischen Emissionen zu reduzieren und einen nachhaltigeren Produktionsprozess zu gewährleisten. Wenn auch ein effizienter Sandregenerierungsprozess für anorganisch gebundenen Sand entwickelt werden kann, bietet dies mehr Vorteile für reduzierte Emissionen und Energieverbrauch. In dieser Studie wird ein innovatives Verfahren zur Regenerierung von anorganisch gebundenem Gießereisand vorgestellt, das auf einem mechanisch adsorptiven Prozess basiert, der auch als CLUSTREG-Prozess bezeichnet wird. Die Ergebnisse von zehn Regenerierungszyklen haben gezeigt, dass selbst nach zehn Prozessdurchläufen der Gießereisand aus Kernen mit SOLOSIL TX anorganischen Bindemittelsystemen wiederverwendet werden konnte, ohne die Fließfähigkeit der Sandmischung sowie die mechanischen Eigenschaften und die Gasdurchlässigkeit der hergestellten Kerne zu beeinträchtigen. Da es sich um Kernsand aus Kernen mit anorganischen Bindemittelsystemen handelte, waren sowohl der pH-Wert als auch die Leitfähigkeit bereits nach einem Regenerierungszyklus deutlich erhöht. Dies hatte jedoch keinen negativen Einfluss auf die Kernqualität des Regeneratsandes.

EINLEITUNG

Es ist allgemein bekannt, dass bis heute eine große Anzahl von Gussteilen in tongebundenen Formstoffen hergestellt wird [1]. Aus technischen und wirtschaftlichen Gründen wird heutzutage der bentonit- oder tongebundene Sand durch ein Kreislaufsystem oder -verfahren aufbereitet, um letztlich Kosten und Umweltbelastung zu reduzieren und zu erreichen, dass der größte Teil des Materials nach einem spezifisch entwickelten Materialaufbereitungsprozess wiederverwendet werden kann, letzteres auch als Regenerierung bezeichnet.

Darüber hinaus gibt es, losgelöst von den oben erwähnten tongebundenen Sandsystemen, eine Vielzahl von organischen Bindemittelsystemen für die Kern- und Formenherstellung [2]. Auch diese Materialien können durch eine mechanische und thermische Behandlung rekonditioniert werden. Der harz- oder organisch gebundene Sand wird während des Gießens und Abkühlens einer thermischen Belastung ausgesetzt, bevor die Kernreste regeneriert werden. Einige der Binderbrücken in der Nähe der Gussoberfläche waren hohen Temperaturen ausgesetzt und wurden fast vollständig zersetzt, was das Entkernen der Gussstücke einfacher macht. Bei der mechanischen Rückgewinnung kann der Binder relativ leicht von der Oberfläche der Sandkörner entfernt werden, da die Festigkeit der organischen Binderbrücken recht gering ist.

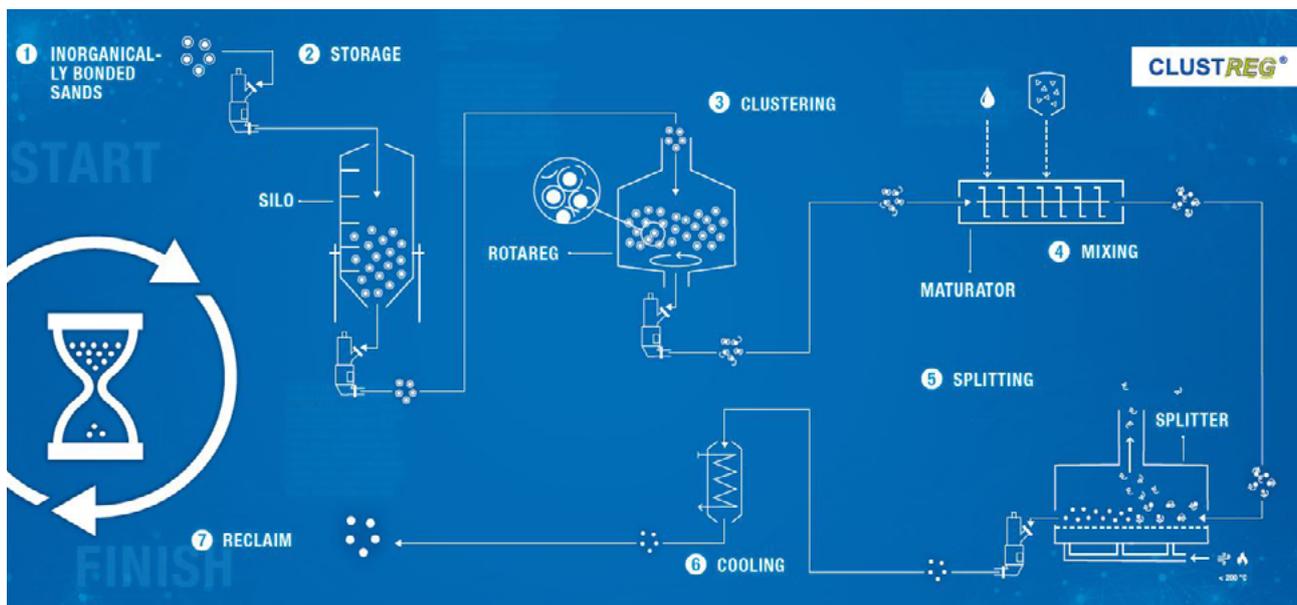
Bei der Verwendung von organisch gebundenen Sanden entstehen die Emissionen in Gießereien hauptsächlich durch das Abbrennen der organischen Binderbestandteile in den Sandformen oder Kernen während des Gießprozesses. In den Aluminiumgießereien der Automobilindustrie werden die organischen Bindemittel zunehmend durch anorganische ersetzt, um die organischen Emissionen (flüchtige organische Verbindungen) zu reduzieren und einen nachhaltigeren Produktionsprozess zu gewährleisten [3]. Falls auch für anorganisch gebundenen Sand ein effizientes Sandregenerierungsverfahren entwickelt werden kann, bietet dies noch mehr Vorteile für reduzierte Emissionen und

Energieverbrauch. Der Rückgewinnungsprozess für diesen anorganisch gebundenen Sand (IOB) unterscheidet sich jedoch aus technischer Sicht wesentlich von den Regenerierprozessen für organisch gebundene Sande.

Die Aluminium-Automobilgießereien verwenden Kernpakete, die aus Basiskernen, Einlass-, Auslasskernen und Wassermantelkernen bestehen. Das System versteht sich als Monosystem, da nur ein Bindemittelsystem mit ggf. zwei verschiedenen Korngrößen (Verteilung) für den Quarzsand verwendet wird. Während des Gießprozesses ist das Kernpaket nur in einigen Bereichen einer geringen thermischen Belastung ausgesetzt, wie z.B. die Einlass-, Auslasskerne und die Wassermantelkerne. Aufgrund der geringen thermischen Belastung bleiben einige Bereiche im Kernpaket bei Raumtemperatur und andere Teile mit einer sehr kurzen thermischen Belastung bei 500 °C mit einer schnellen Abkühlung auf 200 °C innerhalb von ca. 30 Minuten.

Bei der Verwendung anorganischer Bindemittelsysteme sind die Bindemittelbrücken im Allgemeinen steifer, d. h. mechanisch widerstandsfähiger als bei organischen Bindemitteln; die Härte des ausgehärteten anorganischen Bindemittels liegt nahe an der Härte des verwendeten Quarzsandes. Die höhere Abriebfestigkeit des ausgehärteten Bindemittels veranschaulicht, dass reine korndrehende Verfahren für diese Sandregenerierung nicht zu empfehlen sind.

Die vorliegende Studie beschäftigt sich mit der Entwicklung eines Sandregenerierungsverfahrens für anorganisch gebundene Sandkerne aus einer Automobilgießerei. Im Einzelnen werden nach der Vorstellung des Sandregenerierungsprozesses CLUSTREG die Ergebnisse von zehn Regenerierzyklen beleuchtet, in diesem Fall Sandeigenschaften (Korngröße (-verteilung), Glühverlust, pH-Wert, Leitfähigkeit), Fließfähigkeit des Sandgemisches, Biegefestigkeitswerte und Gasdurchlässigkeit der hergestellten Kerne.



BESCHREIBUNG DES VERFAHENS ZUR REGENERIERUNG VON ANORGANISCH GEBUNDENEM SAND

Mit CLUSTREG (Abbildung 1) hat die KLEIN Anlagenbau AG (WO 2017/137113 A1 / EP 3202927 B1, METHOD AND DEVICE FOR REGENERATING FOUNDRY SAND) ein innovatives Verfahren zur Regenerierung von wasserglasgebundenem Gießereisand entwickelt, das als mechanisch adsorptiver Prozess beschrieben werden kann. Bei dem Verfahren sind drei Hauptprozessschritte hintereinandergeschaltet. Im ersten Prozessschritt wird der Altsand in der mechanischen Vorreinigungsanlage ROTAREG aufbereitet (Bild 2). Dabei werden in einer ersten Behandlungsstufe die Bindemittelreste, Zusatzstoffe und ggf. Quarzstaub von den Sandkörnern gelöst und entstaubt. Der Altsand fällt von oben mit einem definierten Massenstrom (10 t/h) senkrecht auf einen schnell rotierenden Drehteller. Dieser beschleunigt den Sand nach außen und schießt ihn nahezu radial in ein Sandbett. Der Sand wird durch den Aufprall und durch das Aneinanderreiben der Sandkörner gereinigt. Je nach gewünschtem Reinigungsgrad kann der Sand mehrmals zirkulieren. In der Aufbereitungskammer ist eine erste Vorentstaubungsstufe integriert.

Nach diesem mechanischen Behandlungsschritt wird der Sand in einem nachgeschalteten Sichter nochmals intensiv entstaubt. Die wesentlichen Vorteile des ROTAREG sind die schonende Sandaufbereitung, die robuste und kostengünstige Anlagentechnik und die Einsetzbarkeit für viele verschiedene Bindemittelsysteme, insbesondere für wasserglasgebundene Gießereisande. In einem innovativen nächsten Schritt wird der mechanisch vorbehandelte Sand im so genannten Maturator mit einem Haftvermittler und einem Trägermaterial gezielt gerührt und durchmischt und erfährt einen Reifeprozess. Bindemittelreste und Staubpartikel werden im Altsand-Bindemittel-Trägermaterial-Gemisch an das Trägermaterial gebunden. Auch die Kornoberfläche wird von den feinen Staubpartikeln gereinigt. Nachdem das Gemisch den Maturator durchlaufen hat, gelangt es in die nächste innovative Aufbereitungsstufe, den sogenannten Splitter.

Im Splitter werden der Sand und das Trägermaterial mit Bindemittelresten und Staubbestandteilen voneinander getrennt. Dazu wird das Gemisch über ein Wirbelbett geleitet, das von unten mit erwärmter Luft ($< 200^{\circ}\text{C}$) durchströmt wird. Durch die Fluidisierung und eine spezifische Absaugung sowie die geringe Dichte des Trägermaterials im Vergleich zum Sand werden Trägermaterial, Binderreste und Staubpartikel nach oben ausgetragen. Nachdem der Sand den Splitter durchlaufen hat, ist der Regenerationsprozess abgeschlossen und das CLUSTREG-Regenerat kann z. B. in ein Regeneratsilo gefördert werden, von wo aus das Regenerat wiederverwendet werden kann.

Bei dem Entwicklungsprozess wurde großer Wert daraufgelegt, dass die Anlagentechnik einfach und robust ist und dass außer den üblichen gehärteten Verschleißteilen, die für die Sandaufbereitung benötigt werden, keine besonderen Materialien verwendet werden müssen (keine hitzebeständigen

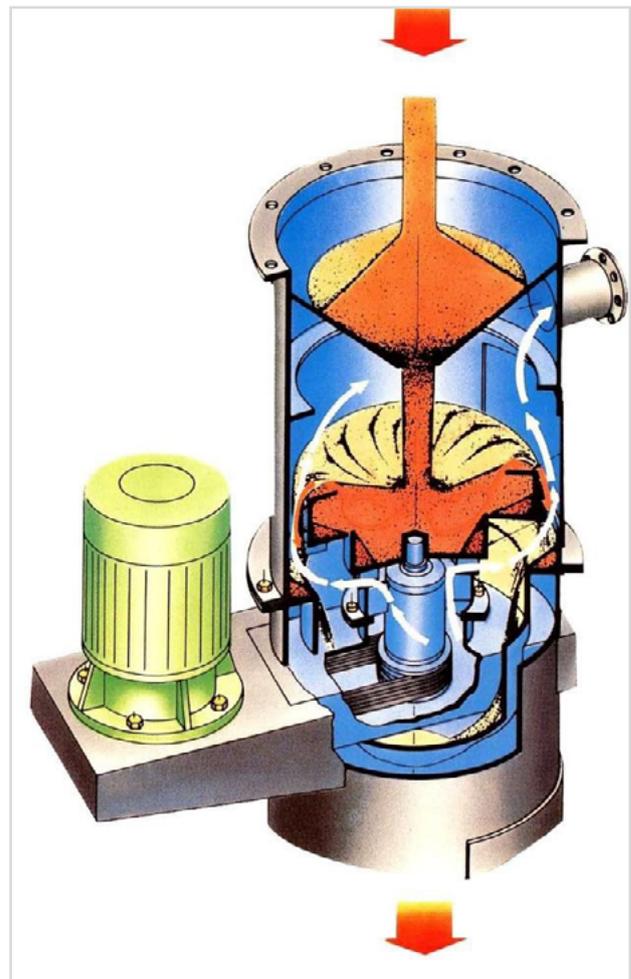


Abbildung 2: Prinzip des ROTAREG Fliehkraftreiniger, KLEIN Anlagenbau AG

Stähle, spezielle Dichtungsmaterialien etc.). Wichtig zu erwähnen ist, dass der Energieverbrauch nur ca. 20% des Energieverbrauchs von thermischen Aufbereitungsanlagen für die Aufbereitung von wasserglasgebundenen Gießereisanden beträgt. Darüber hinaus zeichnen sich CLUSTREG-Anlagen durch sehr erfreuliche Regenerierungsergebnisse einschließlich geringer Sandverluste aus.

AUFBEREITUNGSPARAMETER

Für die Regenerationsversuche wurden Sandkerne auf einer Kernschießmaschine vom Typ Laempe hergestellt. Um die Robustheit des Verfahrens zu testen, erfuhren die Sandkerne nur eine Heißaushärtung ohne jegliche Wärmenachbehandlung. Der Regenerierungsprozess wurde mit anorganisch gebundenen Sandkernen mit voll entwickelter mechanischer Festigkeit durchgeführt.

Die Beschreibung des angewandten Prozesses zeigt, dass die Anlage durch verschiedene Eingangsparameter gekennzeichnet ist, die für diesen Typ anorganisch gebundener Sandkerne optimiert werden mussten. Nach mehreren Versuchsschritten, u. a. zur Ermittlung der optimierten Aufbereitungsparameter, wurde eine erste Versuchsreihe zur Regenerierung mit jeweils 20 kg anorganisch gebundenem Altsand gestartet. Während dieser Zyklen wurden die Maschinen- und Verarbeitungsparameter konstant gehalten.

VERSUCHE UND ERGEBNISSE

In diesem Abschnitt werden verschiedene Versuchsmethoden vorgestellt und die Ergebnisse näher erläutert. Die Absicht dieses Beitrags ist es jedoch nicht, alle verfügbaren Versuchsergebnisse zu präsentieren, denn das würde den Rahmen dieser Präsentation sprengen, sondern die relevantesten Daten aus dem Regenerierungsprozess für das weitere Management von Sandsystemen in der Gießereiindustrie zu sammeln. So werden Ergebnisse aus zehn Zyklen vorgestellt, in diesem Fall Sandeigenschaften (Korngröße und -verteilung), Glühverlust, pH-Wert, Leitfähigkeit, Fließfähigkeit der Sandmischung, Biegefestigkeitswerte und Gasdurchlässigkeit der hergestellten Kerne.

Sandeigenschaften

Ausgangspunkt war ein thermisch aufbereiteter, organisch gebundener Sand auf der Basis von LA32. Frühere Tests haben gezeigt, dass die Daten / Ergebnisse dieses thermisch behandelten Sandes identisch mit Neusand sind. Die Sandkerne wurden mit der Kernschießmaschine mit Zugaben von 1,70 Gew.-% SOLOSIL TX (flüssiges Bindemittel) und 0,80 Gew.-% SOLOSIL TX (Additiv) hergestellt; alle Prozentangaben bezogen auf die Sandmasse. In Tabelle 1 sind die durchschnittliche Partikelgröße des Regenerats sowie die Werte für pH-Wert, Leitfähigkeit und Glühverlust aufgeführt.

Aus dieser Tabelle lässt sich schließen, dass die Korngröße nach der Regenerierung nur geringfügig geringer war (AFS = 53-

54) als die Nullprobe (also der thermisch behandelte organisch gebundene Sand mit einem AFS von 51). Interessanter war der pH-Wert und die Leitfähigkeit des regenerierten Sandes. Nach dem ersten Regenerierungszyklus stieg der pH-Wert auf Werte über 10 an, während die Leitfähigkeit einen deutlichen Sprung in Richtung von etwa 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ zeigte. Nach zwei Zyklen lag der pH-Wert bei etwa 11 und die Leitfähigkeit stieg auf Werte von über 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Diese hohen Werte können auf die Verwendung der alkalischen anorganischen Bindemittelsysteme, hauptsächlich auf der Basis von Natriumsilikat, zurückgeführt werden. Wahrscheinlich befindet sich noch eine geringe Menge des Bindemittels auf der Oberfläche der Sandkörner. Es war kein negativer Einfluss auf die Festigkeitsdaten erkennbar, wie aus Tabelle 2 zu entnehmen ist. Die Glühverlust-Werte waren immer relativ niedrig, unabhängig von der Anzahl der Regenerierzyklen. Dies ist auf die Verwendung des anorganischen Bindemittelsystems zurückzuführen.

Wie bereits erwähnt, war die Korngrößenverteilung recht stabil ohne signifikante Veränderungen. Abbildung 3 zeigt Mikroskopbilder von Sand nach 0, 5 und 10 Umläufen. Interessant zu erwähnen ist, dass selbst nach zehn Zyklen die Sandkörner noch hell und glänzend sind, ein Hinweis auf die Effektivität des Sandregenerierungsprozesses. Es wurde festgestellt, dass die mechanische Festigkeit und die Fließfähigkeit der Sandmischung umso niedriger sind, je geringer der Glanz der Sandkörner ist, was sich nachteilig auf die Regeneratqualität auswirkt. Dies ist in Abbildung 4 zu sehen, in der zwei Chargen dargestellt sind, der linke Teil nach Reifezeit 1 und Reifezeit 2 (Reifezeit 2 < Reifezeit 1).

Probe	Mittlerer Korn-durchmesser (AFS)	pH-Wert	Leitfähigkeit	Glühverlust
00 – Foundry sand	272 μm (51)	6.1	4 $\mu\text{S}/\text{cm}$	0.18 %
01 – EN 1275	266 μm (52)	10.8	198 $\mu\text{S}/\text{cm}$	0.25 %
02 – EN 1305	260 μm (53)	10.8	358 $\mu\text{S}/\text{cm}$	0.22 %
03 – EN 1313	255 μm (54)	11.2	323 $\mu\text{S}/\text{cm}$	0.26 %
04 – EN 1317	254 μm (54)	11.0	326 $\mu\text{S}/\text{cm}$	0.28 %
05 – EN 1334	258 μm (54)	11.0	291 $\mu\text{S}/\text{cm}$	0.35 %
06 – EN 1478	262 μm (53)	11.4	372 $\mu\text{S}/\text{cm}$	0.34 %
07 – EN 1497	266 μm (52)	11.2	424 $\mu\text{S}/\text{cm}$	0.40 %
08 – EN 1531	263 μm (53)	11.6	438 $\mu\text{S}/\text{cm}$	0.41 %
09 – EN 1544	262 μm (53)	11.6	478 $\mu\text{S}/\text{cm}$	0.52 %
10 – EN 1578	253 μm (54)	11.0	417 $\mu\text{S}/\text{cm}$	0.42 %

Tabelle 1: Durchschnittliche Partikelgröße, pH-Wert, Leitfähigkeit und Glühverlust in Abhängigkeit vom Regenerierzyklus (Gießereisand LA32).

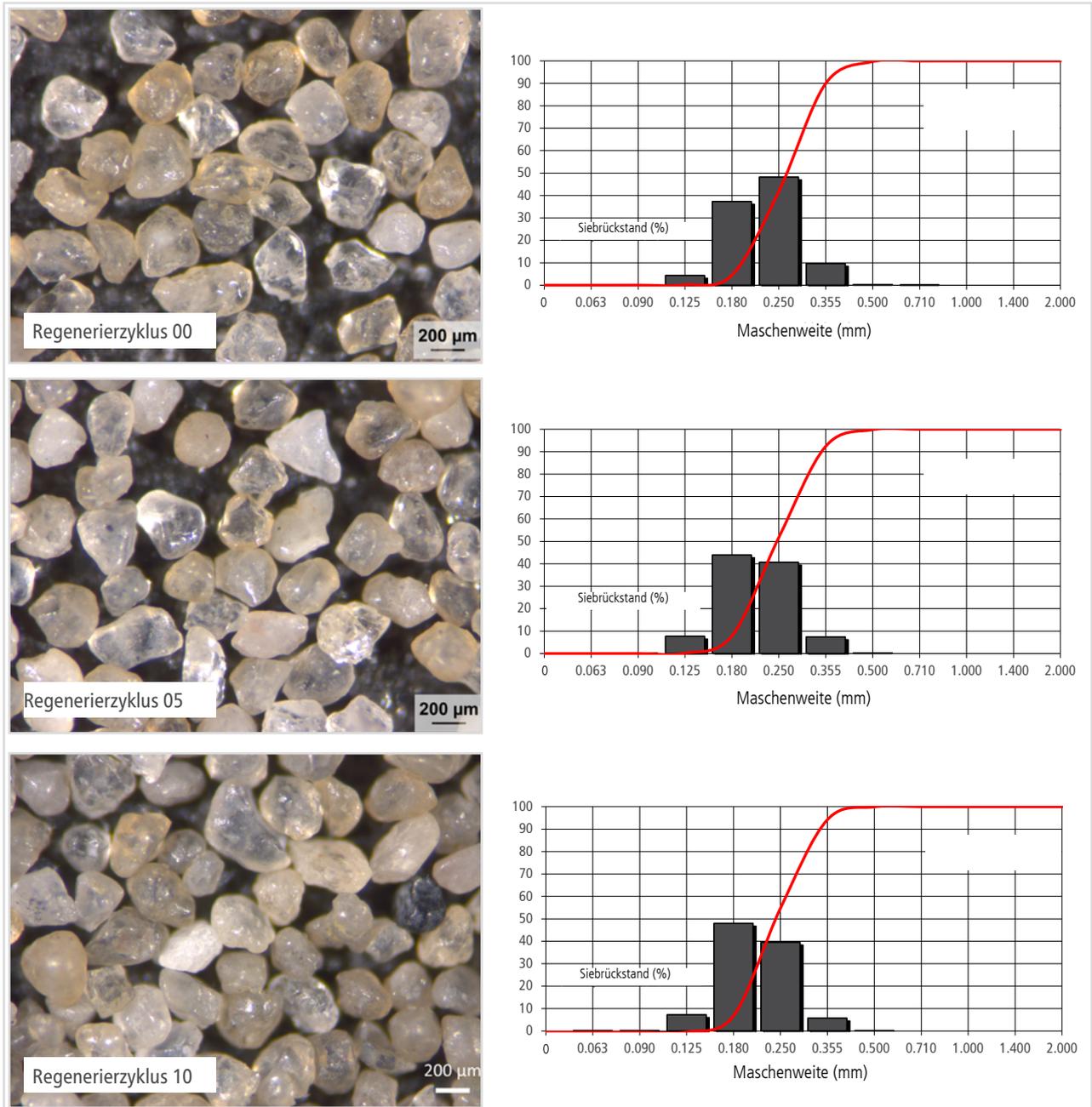


Abbildung 3: Mikroskopbilder vom Regenerat einschließlich Korngrößenverteilung. Oben: nach 0 Zyklen; Mitte: nach 5 Zyklen; unten: nach 10 Zyklen.

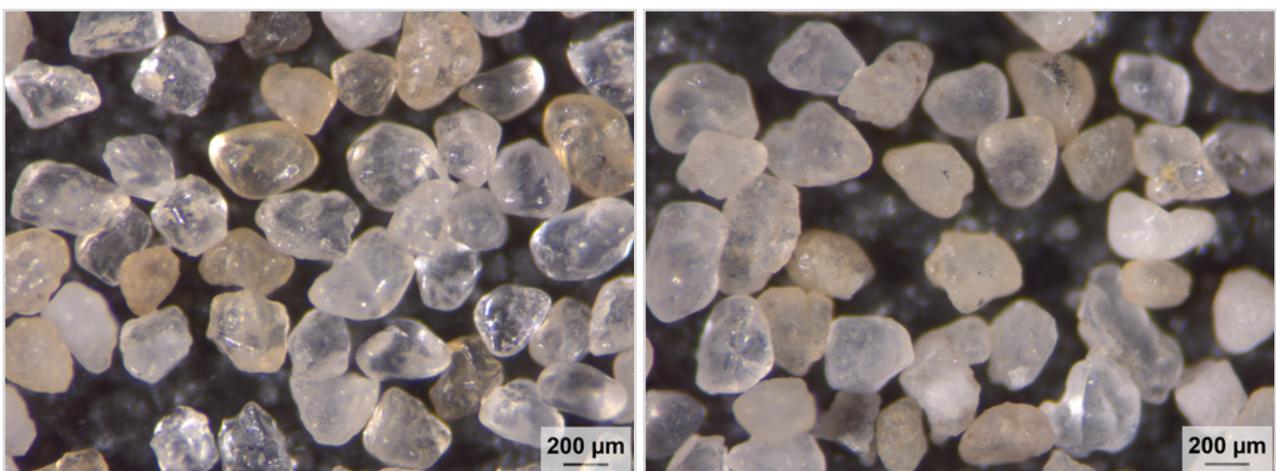


Abbildung 4: Erscheinungsbild der Sandkörner - Reifezeit 1 und Reifezeit 2 (Reifezeit 2 < Reifezeit 1)

Fließfähigkeit

Die Fließfähigkeit der Sandmischung wurde mit dem Brookfield Powder Flow Tester gemessen. Dieser Powder Flow Tester wurde ursprünglich entwickelt, um das Fließverhalten von festem Pulvermaterial mit Partikelgrößen bis maximal etwa 1 mm zu charakterisieren. Da aber auch der Bedarf bestand, die Fließfähigkeit von Sandgemischen mit einer relativ geringen Menge einer Flüssigkeit zu bestimmen und zu definieren, wurde erwogen, den PFT auch für diese Anwendungen einzusetzen.

Um verschiedene Arten von Sandgemischen zu vergleichen, werden die Ergebnisse in Form einer sogenannten Fließfähigkeitskurve dargestellt. Weitere Informationen zum Hintergrund wurden bereits von Schulze [4] veröffentlicht. Dieses Diagramm zeigt die Fließfähigkeit verschiedener Proben über sogenannte unterschiedliche "Konsolidierungsspannungen", wobei letztere als Druckspannung betrachtet werden. Dieser Plot zeigt verschiedene Bereiche beginnend von frei fließend, über leicht fließend, kohäsiv, sehr kohäsiv bis hin zu nicht fließend. Je niedriger die Kurve ist, desto höher ist die gemessene Fließfähigkeit. Abbildung 5 zeigt die einaxiale Bruchfestigkeit (kPa) in Abhängigkeit von der Hauptverfestigungsspannung (kPa). Die Ergebnisse der Sandmischungen unabhängig von der Anzahl der Regenerierzyklen zeigen deutlich, dass

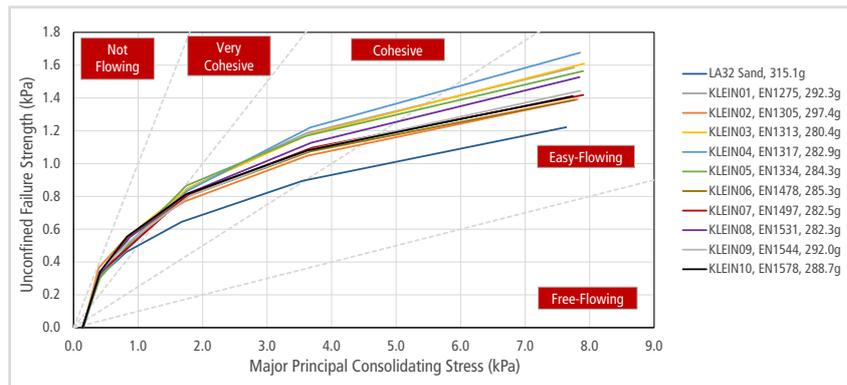


Abbildung 5: Fließfähigkeit von Sandmischungen nach verschiedenen Regenerierzyklen.

die Sandmischung unter der höchsten Druckspannung und in allen Fällen "leicht fließend" war. Die höchste Fließfähigkeit wurde mit der Sandmischung ohne Regenerierung erreicht.

Im Zusammenhang mit diesem Gerät kann auch das Gewicht des Sandgemisches, das in den Probenhalter gegeben wurde, ein indirekter Hinweis auf die Fließfähigkeit sein. In diesem Fall wird manchmal das Hausner-Verhältnis [5] oder der Carr-Index C [6] verwendet, mit denen ein quantitativer Wert der Fließfähigkeit ermittelt werden kann. Das Gewicht der Ausgangsprobe (ohne Regenerierung) betrug in diesem Fall 315 g und für die anderen Sandmischungen weniger als 300 g, was auf eine etwas geringere Verdichtung entsprechend einer etwas geringeren Fließfähigkeit hinweist.

Kerneigenschaften

Tabelle 2 listet das Kerngewicht, die Biegefestigkeit, den Biegemodul und die Gasdurchlässigkeit in Abhängigkeit von der Anzahl der Regenerierzyklen auf. Die Messungen an den Kernen wurden nach 12 h Lagerung bei 25 °C und 30 % relativer Luftfeuchtigkeit durchgeführt. Die Tabelle zeigt deutlich, dass sich das Gewicht der Proben mit der Anzahl der Sandumläufe nicht signifikant veränderte und immer zwischen 146 und 143 g lag, ein Hinweis auf die Verdichtung / gute Fließfähigkeit der Sandmischung. Die Biegefestigkeitswerte begannen mit 477 N/cm² (Zielwert war 475 N/cm²) und stiegen nach der Regenerierung leicht an. Unabhängig von der Anzahl der Regenerierzyklen lagen die Festigkeitswerte immer zwischen 500 und 540 N/cm².

Der Grund für den leichten Anstieg der Festigkeit war die Entfernung von

Umlauf	Kerngewicht	Biegefestigkeit	Biegemodul	Gasdurchlässigkeit
00 – Foundry sand	145.6 ± 0.3 g	477 ± 7 N/cm ²	4.3 ± 0.4 MPa	140 ± 1 mD
01 – EN 1275	144.7 ± 0.2 g	495 ± 2 N/cm ²	5.4 ± 0.1 MPa	157 ± 3 mD
02 – EN 1305	144.7 ± 0.2 g	531 ± 12 N/cm ²	4.9 ± 0.1 MPa	147 ± 2 mD
03 – EN 1313	142.5 ± 0.1 g	537 ± 18 N/cm ²	4.7 ± 0.1 MPa	153 ± 4 mD
04 – EN 1317	142.6 ± 0.1 g	505 ± 11 N/cm ²	4.9 ± 0.1 MPa	159 ± 2 mD
05 – EN 1334	142.6 ± 0.2 g	519 ± 9 N/cm ²	5.1 ± 0.2 MPa	155 ± 1 mD
06 – EN 1478	143.9 ± 0.2 g	504 ± 11 N/cm ²	4.4 ± 0.1 MPa	142 ± 1 mD
07 – EN 1497	142.8 ± 0.2 g	508 ± 17 N/cm ²	4.1 ± 0.2 MPa	148 ± 1 mD
08 – EN 1531	143.6 ± 0.2 g	498 ± 5 N/cm ²	4.1 ± 0.1 MPa	158 ± 1 mD
09 – EN 1544	144.3 ± 0.3 g	500 ± 23 N/cm ²	4.1 ± 0.2 MPa	139 ± 1 mD
10 – EN 1578	143.8 ± 0.4 g	521 ± 32 N/cm ²	4.4 ± 0.1 MPa	138 ± 2 mD

Tabelle 2: Kerngewicht, Biegefestigkeit, Biegemodul und Gasdurchlässigkeit in Abhängigkeit der Anzahl Sandumläufe (Gießereisand LA32).

Feinanteilen während des Prozesses. Der Biegemodul zeigte sich unabhängig zu der Anzahl der Regenerierzyklen und lag immer zwischen 4,1 und 5,4 MPa. Die Gasdurchlässigkeit nahm mit steigender Anzahl der Umläufe zunächst zu, stabilisierte sich aber bei etwa 150 mD.

ZUSAMMENFASSUNG

In diesem Beitrag wurde ein innovatives Verfahren zur Regenerierung von anorganisch gebundenem Gießereisand vorgestellt, das auf einem mechanisch adsorptiven Prozess, auch CLUSTREG-Prozess genannt, basiert [7]. Nach Vorversuchen mit verschiedenen Aufbereitungsbedingungen, die zur Optimierung der verschiedenen Aufbereitungsparameter dienten, wurden zehn Regenerierzyklen unter Konstanthaltung der Maschinenparameter durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Durchläufe wurden dargestellt, in diesem Fall Sandeigenschaften (Partikelgröße/-verteilung), Glühverlust, pH-Wert, Leitfähigkeit, Fließfähigkeit der Sandmischung, Biegefestigkeitswerte und Gasdurchlässigkeit der hergestellten Kerne. Es zeigte sich, dass selbst nach zehn Regenerierzyklen dieser Gießereisand aus Kernen mit anorganischen Bindemittelsystemen wiederverwendet werden konnte, ohne die Fließfähigkeit der Sandmischung sowie die mechanischen Eigenschaften und die Gasdurchlässigkeit der hergestellten Kerne zu beeinträchtigen. Da es sich um Kernsand aus Kernen mit anorganischen Bindemittelsystemen handelte, waren sowohl der pH-Wert als auch die Leitfähigkeit bereits nach einem Regenerierzyklus deutlich erhöht. Dies hatte jedoch keinen negativen Einfluss auf die Kernqualität des Regenerats.

Aus diesen Ergebnissen kann gefolgert werden, dass nach dem Start mit den anspruchsvollsten Parametern zur Beanspruchung des Prozesses und der Anlage und mit Unterstützung von Laborergebnissen zur Anpassung der Maschinenparameter, verbesserte Verarbeitungsparameter ermittelt werden konnten. Mit diesem Satz von Verarbeitungsparametern traten bei dieser Art von SOLOSIL TX anorganisch gebundenem Sand keine Probleme mehr auf, auch nicht nach zehn Regenerierzyklen.

Zurzeit wird ein weiteres Projekt durchgeführt, das fünf Sandumläufe mit Kernen umfasst, die einer mit den Gießereibedingungen vergleichbaren thermischen Belastung ausgesetzt sind.

DANKSAGUNG

Die Autoren bedanken sich bei Joachim Buchen Vorstand (KLEIN Anlagenbau AG, Freudenberg, Deutschland) und Tim Birch (Foseco UK, Tamworth, Großbritannien) für die Unterstützung dieser Studie

LITERATUR

1. W.B. Parkes, Clay-bonded Foundry Sand, Applied Science Publishers, 1971 (ISBN: 0853345015, 9780853345015)
2. J. Brown, Foseco Foundryman's Handbook, Butterworth-Heinemann, 1994 (ISBN: 9780750619394)
3. H. Polzin, Anorganische Binder, Schiele & Schön, 2012 (ISBN: 9783794908240)
4. D. Schulze, Powders and Bulk Solids - Behavior, Characterization, Storage and Flow, Springer (2007).
5. R.E. Riley, and H.H. Hausner, Effect of particle size distribution on the friction in a powder mass, Int. J. Powder Met., 6 (1), 1970, pp. 17-22.
6. J. Cain, An alternative technique for determining ANSI/CEMA standard 550 flowability ratings for granular materials, Powder Hand. Proc., 14 (3), 2002, pp. 218-220.
7. E. Schulte, Klein AG, Deutscher Gießereitag Magdeburg 2016

KONTAKT



THOMAS LINKE

International Project Manager
Mould & Core

thomas.linke@vesuvius.com

+31 53 751 5091

FOSECO. Your partner to build on.

Alle Rechte vorbehalten. Der Inhalt darf weder ganz noch auszugsweise ohne schriftliche Genehmigung des Inhabers des Urheberrechts reproduziert, gespeichert oder in irgendeiner Form oder auf irgendeine Weise weitergegeben werden, einschließlich Fotokopie und Aufzeichnung. Alle hierin enthaltenen Aussagen, Hinweise und Daten sollen als Richtungsweiser dienen. Wenn auch die Richtigkeit und Zuverlässigkeit (im Hinblick auf die praktischen Erfahrungen des Herstellers) angenommen werden, garantieren weder der Hersteller, noch der Lizenzgeber, noch der Verkäufer oder der Herausgeber, weder ausdrücklich noch stillschweigend,

(1) ihre Richtigkeit/Zuverlässigkeit

(2) dass die Anwendung der Produkte keine Rechte Dritter verletzt

(3) dass für die Einhaltung örtlicher Gesetze keine weiteren Sicherheitsvorkehrungen erforderlich sind.

Der Verkäufer ist nicht zur Vertretung oder zum Vertragsabschluss im Namen des Herstellers/Lizenzgebers ermächtigt. Allen Verkäufen des Herstellers/Verkäufers liegen dessen Verkaufsbedingungen, erhältlich auf Anforderung, zugrunde.

*Foseco, das Logo, COVERAL, HOLCOTE, INSTA, KAPEX, SEDEX, SEMCO and SOLOSIL are Trade Marks of the Vesuvius Group, registered in certain countries, used under licence.

©Foseco International Ltd. 2021

CLUSTREG und ROTAREG sind Warenzeichen der KLEIN Anlagenbau AG.

HINWEIS

Die Herausgeber bemühen sich, stets die neuesten Erzeugnisse und technischen Entwicklungen von Foseco herauszustellen. Deshalb kann es vorkommen, dass das eine oder andere Erzeugnis im Lande des Lesers noch nicht verfügbar ist. Auskünfte erteilen gerne die in den jeweiligen Ländern ansässigen Foseco Werke oder Vertretungen.



Foseco International Limited
P.O. Box 5516
Tamworth
Staffordshire
England B78 3XQ
Registered in England No. 468147

VESUVIUS