

Vergleich der Eigenschaften von alkalischen Phenolharzbindern hinsichtlich der Anwendung bei Formstoff für Stahlguss

| **Autoren** Mariusz Łucarz, Dariusz Drożyński, Jan Jezierski und Andrzej Kaczmarczyk

Der Beitrag präsentiert die Ergebnisse von Versuchen zum Ersatz der zurzeit verwendeten Furanharzformstofftechnologie durch eine neue Technologie mit alkalischen Phenolharzbindemitteln (Alpha-Set-Verfahren). Das neue Bindemittel zeichnet sich durch eine Reihe von technologischen Vorteilen aus und gilt im Vergleich zum Furanharz als umweltfreundlicher. Der auf Basis des Alkali-Phenolharzes hergestellte Formstoff weist jedoch im Vergleich zu den Furanharz enthaltenden Formstoffen eine geringere Festigkeit auf. Der Artikel enthält eine vergleichende Studie zu Formstoffen, die unter Verwendung verschiedener alkalischer Phenolharz-Bindemittel hergestellt wurden und auf die Auswahl eines Harzes mit geeigneten Festigkeitsparametern und anderen Merkmalen abzielen, die für die in der Gießerei angewandte neue Technologie am geeignetsten sind.

Schlüsselwörter: Alpha-Set-Verfahren, alkalischer Phenolharzbinder, Gießform, Formstoffeigenschaften, thermische Analyse

Comparison of the Properties of Alkali-Phenolic Binder in Terms of Selection of Molding Sand for Steel Castings

The article presents the results of experiments related to the process of replacement of the currently used furane resin molding sand technology with a new alkali-phenolic technology (alpha set process). The new binder is characterized by a set of technological advantages and it is considered more ecological, as compared to the furane resin. However, the molding sand produced on the basis of the alkali-phenolic resin features lower strength, compared to the sands containing furane resin. The article presents a comparative study of sands made using various alkali-phenolic binders, aimed at selection of a resin of strength parameters and other features most adequate and useful for the new technology applied in the foundry.

Keywords: alph set process, alkali-phenolic binder, casting mold, molding sand properties, thermal analysis

Einführung

Das alkalische Phenolharz-Verfahren oder Alpha-Set-Verfahren ist ein binäres Bindersystem, bestehend aus einem Binder auf Phenolharzbasis und flüssigem Ester als Reaktionspartner bzw. Härter. Die große Auswahl an Härtern ermöglicht die Herstellung verschiedener Mischungen mit unterschiedlichen Aushärtezeiten, was auch einer der wichtigsten Parameter von harzgebundenem Formstoff ist. Das Alpha-Set-Verfahren wird für kleine und mittlere Gussteile angewendet. Es kann für jede Gusslegierung verwendet werden. Das Fehlen von Stickstoff und Schwefel in den polymerisierenden Bestandteilen ist für die Herstellung von Gussteilen aus Stahlguss und Gusseisen mit Kugelgraphit sehr vorteilhaft. Je nach Hersteller des Harzes für

das Verfahren werden der Formstoffmischung 1 bis 2 Masseteile hochalkalisches Phenolharz (Resol-Typ) zugesetzt, gefolgt von aliphatischem Ester im Verhältnis von 18 bis 25 % in Bezug auf das Harz. Wenn Chromit- oder Olivinsand verwendet wird, wird eine größere Harzmenge zugesetzt, d. h. etwa 2 Masseteile und 20 % an Ester (das Harz / Härter-Verhältnis 5/1). Die chemischen Reaktionen zwischen bestimmten Estern oder deren Gemischen mit dem kaliumhydroxidhaltigen Harz führen zur Aushärtung und Verfestigung. Je nach verwendetem Ester kann die Verarbeitungszeit typischerweise zwischen 5 und 30 Minuten eingestellt werden [1-3].

Das Hauptmerkmal des Verfahrens besteht darin, dass das Aushärten in zwei Schritten während der Erzeugung der chemischen Bindungen erfolgt. Bei Umge-

bungstemperatur tritt eine anfängliche (teilweise) Bindung (Bindemittelpolymerisation) auf, die dem Kernformstoff oder dem Formstoff eine ausreichende Festigkeit verleiht, um die Thermoplastizität des hergestellten Sandes bei mittleren Temperaturen sicherzustellen. Diese Thermoplastizität gleicht die Wärmeausdehnung der Sandkörner aus, was wiederum das Reißen der Gießformen und Probleme mit dem Austreten von Schmelze nahezu vollständig beseitigt. Die vom Flüssigmetall erzeugte Wärme beendet den Verfestigungsprozess des Harzes, daher garantiert diese Technologie Dimensionsstabilität und Erosionsbeständigkeit [4-6].

Das Alpha-Set-Verfahren wurde zuerst in England als Industriestandard für die Stahlgusserstellung angewendet und zugelassen. Alle oben genannten Vorteile legen nahe, dass diese Technologie für die Gießereiindustrie geeignet und umweltfreundlicher als andere ist. Die Vorteile sind in Stahlgießereien am bemerkenswertesten, da sie die Gussqualität erheblich verbessern und die mit ihrer Einstellung verbundenen Kosten senken.

Der Artikel enthält eine Fallstudie (sowohl experimentelle Labor- als auch industrielle Ergebnisse) aus einer polnischen Stahlgießerei. Das Hauptziel bestand darin, die Möglichkeit des Ersatzes der verwendeten Furanharztechnologie durch die Alpha-Set-Technologie auf der Grundlage der auf dem heimischen Markt vorhandenen Chemikalien zu prüfen. Verschiedene Formstoffmischungen wurden untersucht und die Empfehlungen für die spezifischen Arbeitsbedingungen und Anforderungen der Gießerei formuliert.

Materialien und Versuchsdurchführung

Die Versuche wurden mit vier Bindemitteln mit den Bezeichnungen A1, A2, A3 und A4 unter Verwendung von vier Härtern mit den Bezeichnungen 1, 2, 3 und 4 durchgeführt. Die Formstoffmischung bestand aus Quarzsand in zwei Qualitäten:

- SIBELCO (S) – auf dem Inlandsmarkt weit verbreitetes Material, mittlere Korngröße MK = 0,25 mm, Gleichmäßigkeits-

Tabelle 1: Formstoffmischungen für das Alpha-Set-Verfahren

Sand	Binder	Härter	Sand [Mass.-%]	Binder [Mass.-%]	Härter [% Binder]
MS1	Estrofen (A1)	PR (1)	100	1.2	25
MS2	Sinotherm 8255 (A2)	Aktivator J 120 (2)	100	1.2	25
MS3	Fenotec 280ES (A3)	Fenotec HC Ester HC 30 (3)	100	1.2	25
MS4	Permabind 440 (A4)	Permabind Plus 7 (4)	100	1.2	25

grad GG = 85 %, spezifische Oberfläche von 8,75 m² / kg,
 • Kreislaufsand (P) aus der beteiligten Pioma-Stahlgießerei, mittleren Korngröße MK = 0,33 mm, Gleichmäßigkeitsgrad GG = 91 % (J91), spezifische Oberfläche von 6,22 m² / kg.

Tabelle 1 zeigt die in den Versuchen verwendeten Formstoffmischungen. Der gleiche Versuchsplan wurde zweimal sowohl für S- als auch für P-Sandtypen wiederholt. Die Marktbezeichnungen der Materialien werden angegeben, da dies die Grundlage für die Auswahl der Harze und Härter war. Jeder Binder weist bestimmte Eigenschaften auf, die aus Sicht der Gießereien von entscheidender Bedeutung sind. Der Artikel empfiehlt kein System oder schlägt das beste vor. Die Auswahl ist immer eine Frage des Optimierungsprozesses, der auf mehreren Faktoren beruht, einschließlich spezifischer Gießereibedingungen.

Materialverarbeitung und Versuchsmethodik

Eine thermische Analyse der alkalischen Phenolharzbinder wurde durchgeführt, um die erforderlichen Daten und vollständige Kenntnisse über ihre Eigenschaften zu erhalten. Ein Laborofen wurde mit einer Geschwindigkeit von 10 °C / min auf 1000 °C aufgeheizt. Bis zu dieser Temperatur sollten sich alle organischen Verbindungen vollständig zersetzen oder einfach ausbrennen. Die Proben wurden hergestellt, indem das Harz mit dem Härter in einem Verhältnis von 1 Mass. - % gemischt wurde. Teil des Harzes und 25 % Härter bezogen auf die Harzmenge. Nach 24 Stunden wurde das feste Bindemittel zerkleinert und für die thermische Analyse vorbereitet. Alle Proben wurden in einem LM-1-Laborrotationsmischer hergestellt, der vom Gießerei-Institut in Krakau, Polen, bereitgestellt wurde.

Zuerst wurde der abgewogene Teil der Sandmischung in den Mischer gegeben und dann wurde der Härter zugegeben. Nach 90 Sekunden Mischen wurde das Harz dosiert und dann ein weiteres Mischen für

weitere 90 Sekunden durchgeführt. Die vorbereitete Mischung wurde in kleine Standardprobenformen gegossen, die zur Messung der Eigenschaften von Formstoff verwendet werden. Die Formen wurden auf das Vibrationsverdichtungsgerät vom Typ LUZ-1, geliefert von WADAP Wadowice, Polen, montiert, das für 15 Sekunden mit der Amplitude maximaler Vibrationen von 2 mm eingeschaltet wurde. Nach der Verdichtung wurde das obere Element entfernt, der überschüssige Sand abgetrennt und der wesentliche Teil der Probenform wurde demontiert. Die geformten Proben wurden für den endgültigen Härtingsprozess unter Umgebungsbedingungen belassen. Es wurden Sätze von Standardproben mit acht Proben für die Prüfung der Zugfestigkeit, Proben für die Prüfung der Biegefestigkeit und zylindrische Proben für die Prüfung der Permeabilität und der Abriebfestigkeit S hergestellt.

Die Zugfestigkeit und die Biegefestigkeit der gehärteten Proben wurden gemäß dem polnischen Standard PN-83 / H-11073 gemessen. Die Tests wurden mit einem Universalgerät durchgeführt, das zur Messung der mechanischen Eigenschaften von

Formstoffen vom Typ LRu-2e, geliefert von Multiserw-Morek, Polen. Die Messwertermittlung fand für drei Härtingszeiten nach der Verdichtung statt: 1, 3 und 24 Stunden. Für jede Aushärtungszeit wurde eine Messung für drei Proben durchgeführt und die dargestellten Ergebnisse sind der Durchschnitt dieser Ergebnisse. Die Gasdurchlässigkeit im ausgehärteten Zustand wurde gemäß dem polnischen Standard PN-80 / H-11072 gemessen.

Die Tests wurden mit einem Gerät vom Typ LPIR-1 durchgeführt, das von WADAP Wadowice, Polen, hergestellt wurde. Die ausgehärtete zylindrische Probe wird dabei in eine kleine Hülse mit einer unter Druck stehenden Gummidichtung eingebaut, mit Druckluft an der Probenseite festgezogen und mit einer kleinen manuell angetriebenen Pumpe unter Druck gesetzt. Die Permeabilität jedes Formstoffes wurde für drei Proben nach 24 h Aushärtezeit bestimmt und die Ergebnisse als Durchschnittswert in der Grafik dargestellt. Die Abriebfestigkeit der Formstoffe wurde gemäß dem Handelsstandard BN-77 / 4024-02 bestimmt. Die Messungen fanden an der von Stalowa Wola Steelworks (HSW), Polen, hergestellten Prüfapparatur statt. Der Versuch bestand darin, eine gewogene Sandprobe auf die Montagevorrichtung aufzubringen (nach 24 h Aushärtezeit). Dann wurde die Probe einer elektrisch angetriebenen Drehung von einer Umdrehung pro Sekunde ausgesetzt. Während dieser Drehbewegung fällt ein Stahlschrot von 1 mm Durchmesser aus 307 mm Höhe auf die Probe. Es wurden 1750 g Stahlschrot mit einer Genauigkeit von 1 g verwendet. Die Messung wurde an drei Proben durchgeführt und der Durchschnittswert berechnet und



Bild 1: Versuchsstand für die Messung der Gasentwicklung

dargestellt. Alle Versuche wurden bei Umgebungstemperatur $T = 17,5$ bis $21,5$ °C und relativer Luftfeuchtigkeit 45 bis 55 % durchgeführt. Der Gasemissionstest für die Sandproben wurde an dem in **Bild 1** dargestellten Versuchsstand durchgeführt, der mit einem Rohröfen PRC 30M / 1300 von CZY-LOK, Polen, einer Schlauchpumpe BT100-2J von Longer Pump und einem Steuerungssystem ausgestattet war.

Eine Einzelmessung bestand aus der Erwärmung des Rohröfens (Quarzrohr) auf 1000 °C und dem Einsetzen eines kleinen Keramiktiegels mit $0,2$ g (für die Harzprüfung) und 1 oder 3 g (für den Formstoff) Probematerial in die Heizzone. Die Proben wurden mit einer Genauigkeit von $\pm 0,001$ g hergestellt. Die Ergebnisse der durchgeführten Messungen wurden in ein Gramm Probenmasse umgerechnet. Die Kurven in den Diagrammen zeigen Durchschnittswerte der Gasentwicklungstests. Die in diesem Versuchsteil getesteten Harze hatten die in Tabelle 1 angegebenen Zusammensetzungen. Die Formstoffproben wurden aus den zur Bewertung der mechanischen Eigenschaften verwendeten Proben geschnitten. Nachdem die Probe eingeführt worden war, wurde eine Seite des Rohrs abgedichtet und die zweite mit der peristaltischen Pumpe verbunden, um ein Vakuum im Reaktor zu erzeugen, um die ausgestoßenen Gase abzusaugen. Dann wurde die Probe in die Heizzone eingeführt, wo ein schnelles Erhitzen auf die Prüftemperatur durchgeführt und das ausgestoßene Gasvolumen gemessen wurde.

Versuchsergebnisse

Bild 2 zeigt die thermischen Ergebnisse für die analysierten Bindemittel. Wie zu sehen ist, ist ihr Abbau- und thermischer Zerstörungsprozess ähnlich. Die Temperaturen von 150 °C, 450 °C und über 750 °C können als diejenigen angegeben werden, bei denen Massenänderungen der analysierten Bindemittel beobachtet werden können. Anders als bei anderen Bindemitteln (z. B. Furanharz) sind die folgenden Stadien des Abbaus und der Zersetzung des Bindemittels sichtbar, die dem alkaliphenolischen Bindemittel spezifische Merkmale zur Kompensation der Formstoffausdehnung bei Aufrechterhaltung der entsprechenden Festigkeitseigenschaften verleihen [7-8]. Die Temperaturkurven (TG-Kurve) zeigen für alle getesteten Bindemittel zwei unterschiedliche Punkte bei Temperaturen um 150 °C und 450 °C. Der erste Wert gibt wahrscheinlich die in der Literatur angegebene Thermoplastizität der alkaliphenolischen Bindemittel an, d. h. die thermische

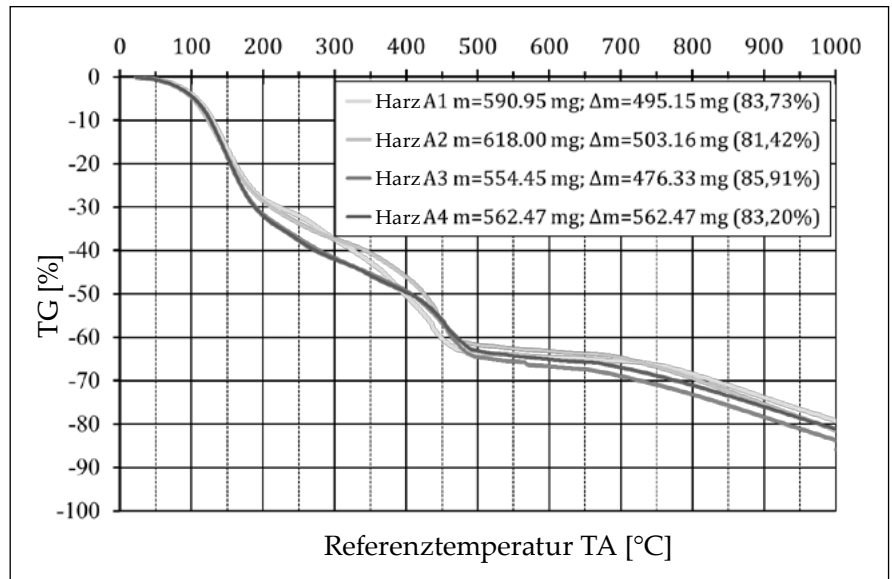


Bild 2: Thermische Analyse der untersuchten alkalischen Phenolharzbinde.

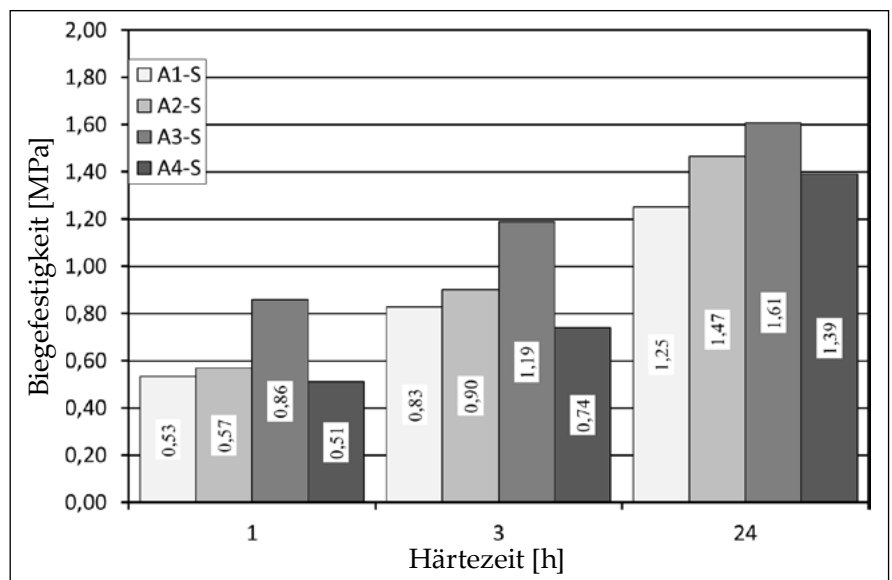


Bild 3: Formstoffbiegefestigkeit bei Verwendung von Quarzsand SIBELCO (S)

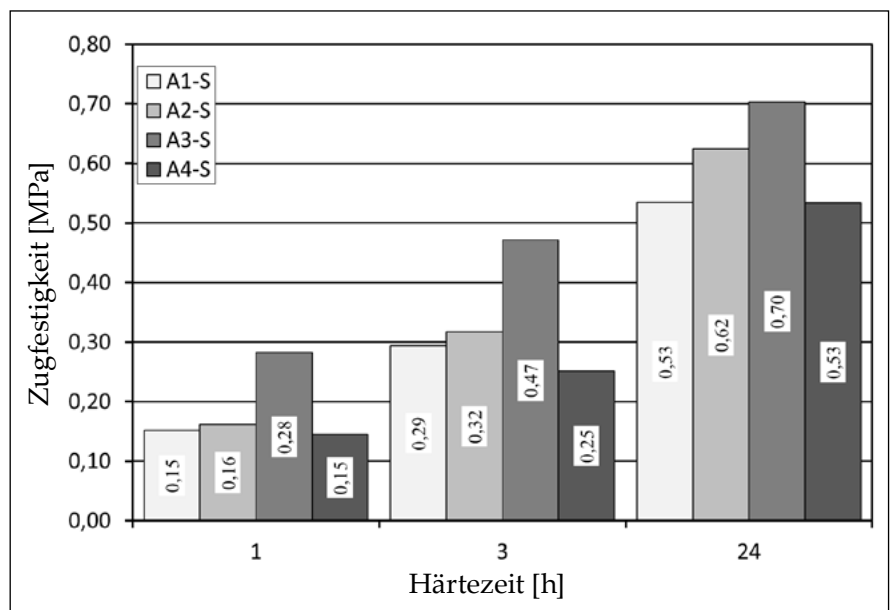


Bild 4: Formstoffzugfestigkeit bei Verwendung von Quarzsand SIBELCO (S)

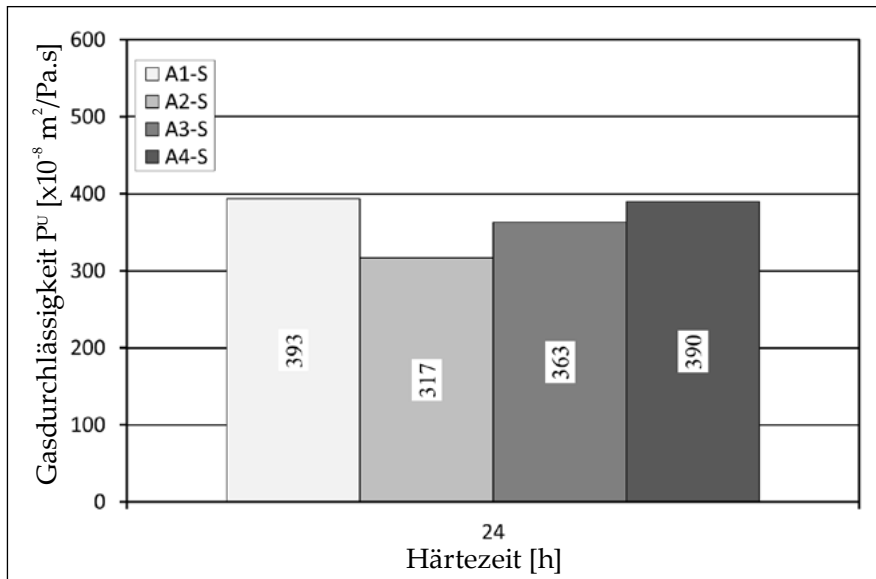


Bild 5: Gasdurchlässigkeit bei Verwendung von Quarzsand SIBELCO (S)

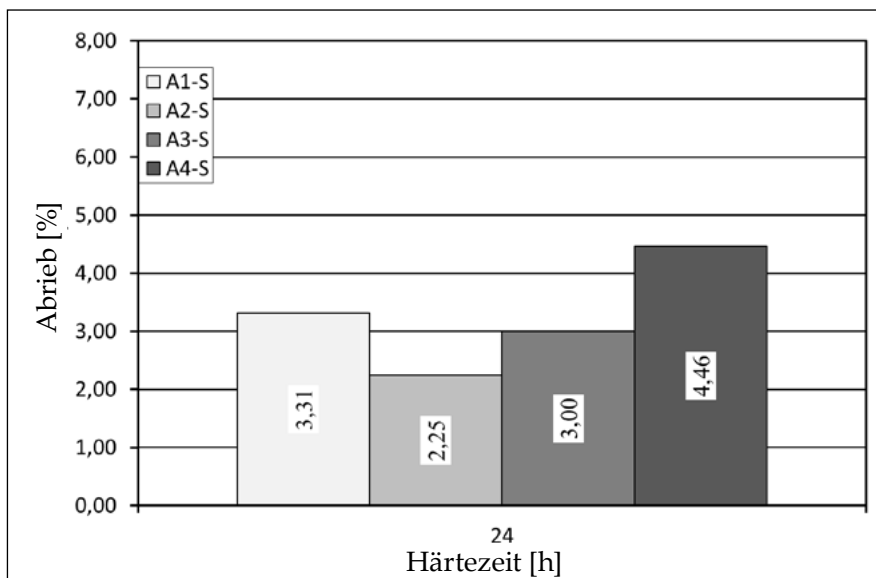


Bild 6: Abriebprüfung bei Verwendung von Quarzsand SIBELCO (S)

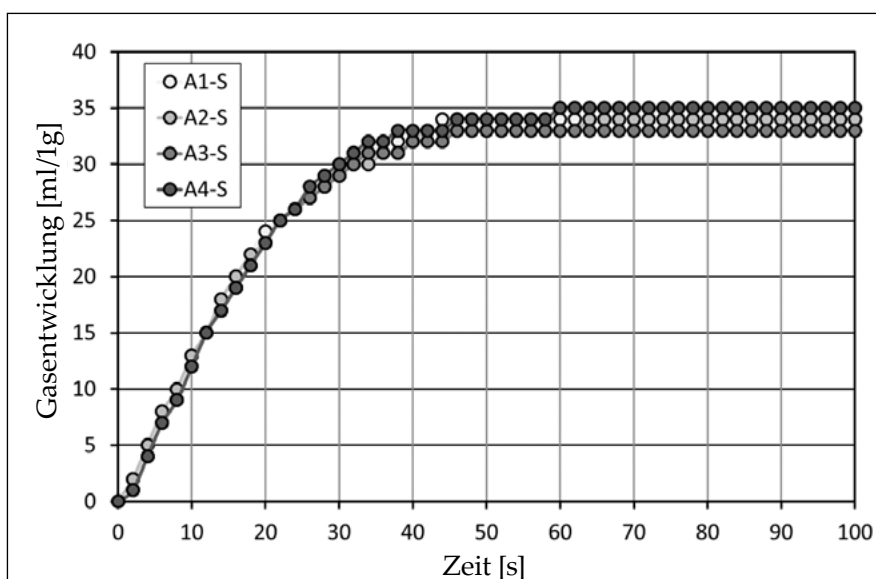


Bild 7: Vergleich des an SIBELCO (S) -Sand mit verschiedenen Bindemitteln ermittelten Gasentwicklungsgades für die konstante Harzugabe 1,2 Mass. - % und 25 % Härter.

Suszeptibilität des Sandes (partieller Bin-demittelabbau), jedoch ohne den Verlust der Bindekraft. Bei der zweiten Temperatur, d. h. über 450 °C, werden die organischen Materialien teilweise verbrannt, wodurch infolge der polymorphen Umwandlung ein Raum in der Form für die expandierende Sandmatrix geschaffen wird. Erst oberhalb von 750 °C findet die nächste Degradationsstufe des Bindemittels statt. Bei einer Temperatur von 1000 °C findet aufgrund des Gehalts an anorganischen Verbindungen (Natrium, Kalium – die alkalischen Bindemittelbestandteile) kein vollständiger Bindemittelbrennprozess statt.

Bild 3 zeigt die Biegefestigkeit beim Quarzsand SIBELCO (S) mit verschiedenen alkaliphenolischen Bindemitteln. In Bezug auf die Biegefestigkeit ist das A3-Bindemittel bei Weitem das Beste. Der Festigkeitswert stieg über die Aushärtezeit an und nach 24 Stunden (vom Besten zum Schlechtesten) wurden folgende Ergebnisse erzielt: A3 > A2 > A4 > A1. Um die mechanischen Eigenschaften der Formstoffe mit alkaliphenolischen Bindemitteln abzuschätzen, wurden außerdem Zugversuche im ausgehärteten Zustand durchgeführt. Die Ergebnisse sind in **Bild 4** dargestellt. Auch für diesen Parameter ergab der Formstoff mit dem A3-Bindemittel die besten Ergebnisse.

Um eine qualitätsgerechte Gussproduktion zu gewährleisten, ist es wichtig, das beim Gießen entstehende Gas ordnungsgemäß abzuleiten. Die Gasdurchlässigkeit ist der Parameter, der verwendet wird, um die Bedingungen des Gasflusses zu vergleichen, die bei Verwendung einer bestimmten Sandmatrix und eines bestimmten Bindemittels erzeugt werden.

Bild 5 zeigt die Ergebnisse der Gasdurchlässigkeit. Aufgrund der Verwendung der gleichen Kornmatrix und des gleichen Bindemittelvolumens zeichnen sich die analysierten Sande durch eine ähnliche Gasdurchlässigkeit aus. Ein weiterer wichtiger Qualitätsparameter des Formstoffes ist der Abrieb bzw. die Abriebfestigkeit. Die Ergebnisse der Bewertung dieses Parameters sind in **Bild 6** dargestellt. In diesem Fall war der Formstoff mit dem Bindemittel A2 der beste, gefolgt vom Sand mit dem Bindemittel A3. Dies ist mit einer allgemeinen Regel verbunden, wonach sich höherfeste Sande durch besseren Abrieb auszeichnen.

Bild 7 zeigt das Gasentwicklungsvermögen der Formstoffe. Wie anhand der thermischen Analyse (**Bild 2**) festgestellt wurde, ist die thermische Zersetzung der Bindemittel ähnlich. Aus diesem Grund zeigte der Gasentwicklungstest, der für den Sand mit den gleichen Bindemitteln durchgeführt wurde, ähnliche Gasemissions-

eigenchaften und Niveaus der Gasemissionen.

Ein wichtiger Aspekt bei der Herstellung von Formstoff ist die Verwendung einer Sandmatrix mit einer bestimmten Korngröße. Je größer das Gussstück ist (größere Form, daher höhere Gasentwicklung durch Metall-Form-Kontakt), desto gröber muss die Sandmatrix sein, um eine ordnungsgemäße Gasdurchlässigkeit zu gewährleisten. Daher wurde eine Vergleichsstudie zur Sandzusammensetzung mit den untersuchten Bindematerialien und einem anderen Sand mit unterschiedlichen Korngrößenparametern durchgeführt. Die durch den Parameter Mittlere Korngröße MK angegebene Kenngröße war höher als bei SIBELCO (S)-Sand.

Bild 8 zeigt die Ergebnisse der Biegeprüfung des Formstoffes, der aus der von Pioma Foundry (P) verwendeten Sandmatrix hergestellt wurde. Wie bei der vorherigen Kornmatrix wurden die Festigkeitsverhältnisse zwischen den verwendeten Bindemitteln beibehalten. Am Ende waren nach 24 Stunden alle Zugfestigkeitswerte höher, insbesondere für die mit A3 und A2 bezeichneten Bindemittel.

Der zweite analysierte Parameter war die Zugfestigkeit. **Bild 9** zeigt die Ergebnisse der Tests. Die Festigkeitseigenschaften, die für den Sand von Pioma Foundry (P) erhalten wurden, waren ähnlich denjenigen, die für die SIBELCO (S)-Kornmatrix ermittelt wurden.

Die Verwendung einer gröberen Kornmatrix (der Sand von Pioma Foundry) mit der gleichen Menge an zugesetztem Bindematerial ergab im Vergleich zu feinerem SIBELCO (S)-Sand eine höhere Gasdurchlässigkeit (**Bild 10**). Die Verwendung der gröberen Kornmatrix beeinflusste den Abriebprozess der untersuchten Formstoffe. Größere Körner, die aus der zylindrischen Probe herausgerissen wurden, beeinflussten den endgültigen Abrieb-S-Parameter für die analysierten Sande stark. Für die Formstoffe, die auf der Basis von Pioma Foundry-Sand hergestellt wurden, waren die Abriebtestergebnisse schlechter, was in **Bild 11** dargestellt ist. Genau wie bei Formstoff mit SIBELCO (S)-Sand wurden die besten Ergebnisse mit Bindemittel A2 erzielt.

Bild 12 zeigt die Ergebnisse des Gasentwicklungstests, die an der Sandmischung der Pioma Foundry durchgeführt wurden. Es wurde eine geringfügig geringere Gasentwicklung beobachtet, die durch eine geringere spezifische Oberfläche der Sandkörner verursacht wird. Darüber hinaus wurden im Vergleich zu SIBELCO (S)-Sand unterschiedlichere Emissionsgrade beobachtet. Die niedrigste Gasemission

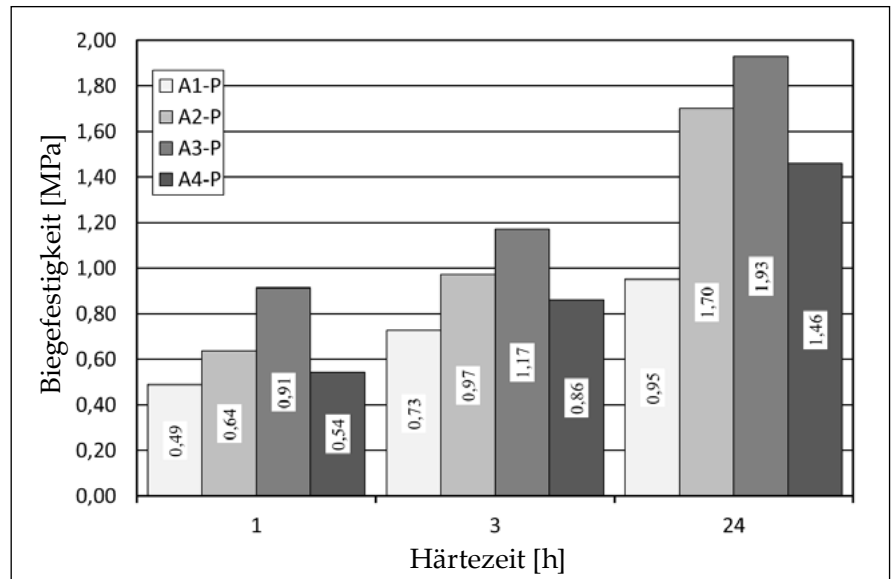


Bild 8: Formstoffbiegefestigkeit bei Verwendung von Quarzsand Pioma Foundry (P)

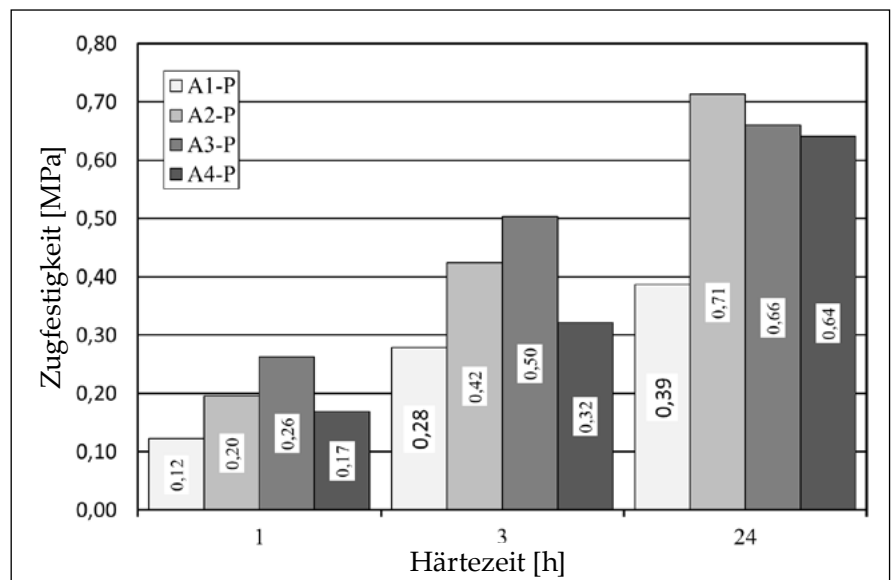


Bild 9: Formstoffzugfestigkeit bei Verwendung von Quarzsand Pioma Foundry (P).

wurde für den Sand mit A2-Bindemittel aufgezeichnet.

Zusammenfassung und Fazit

Der Beitrag präsentiert die Untersuchungsergebnisse an Formstoffen mit alkalischen Phenolharz-Bindemitteln. Die Versuche wurden mit vier verschiedenen Bindemitteln mit gleichen Harz- und Härteranteilen und zwei verschiedenen Quarzsanden

durchgeführt. Ziel dieser Arbeiten war es, das Bindemittel zu identifizieren, das als Ersatz für das derzeit verwendete Furanharz die beste Alternative für die Gießerei sein kann. Die thermische Analyse zeigte einen ähnlichen thermischen Zerfall der analysierten Bindungsreagenzien. Auf dem Thermogramm können die Merkmale des mehrstufigen Abbau- und Destruktionsprozesses dieser Harze beobachtet werden.



**AAGM Aalener
Gießereimaschinen GmbH**

Gewerbehof 28 · D-73441 Bopfingen
Tel. + 49 (0) 73 62 / 95 60 37-0
Fax. + 49 (0) 73 62 / 95 60 37-10
E-Mail: info@aagm.de · Web: www.aagm.de

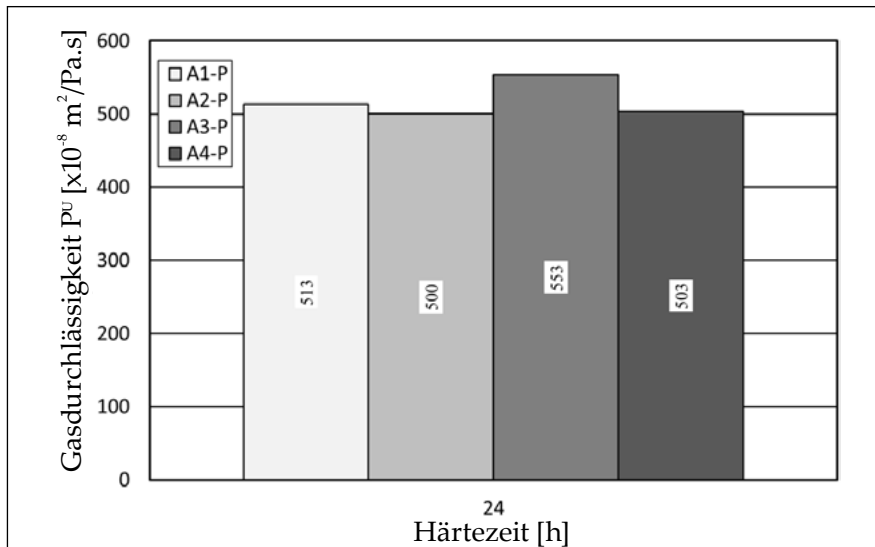


Bild 10: Gasdurchlässigkeit bei Verwendung von Quarzsand Pioma Foundry (P)

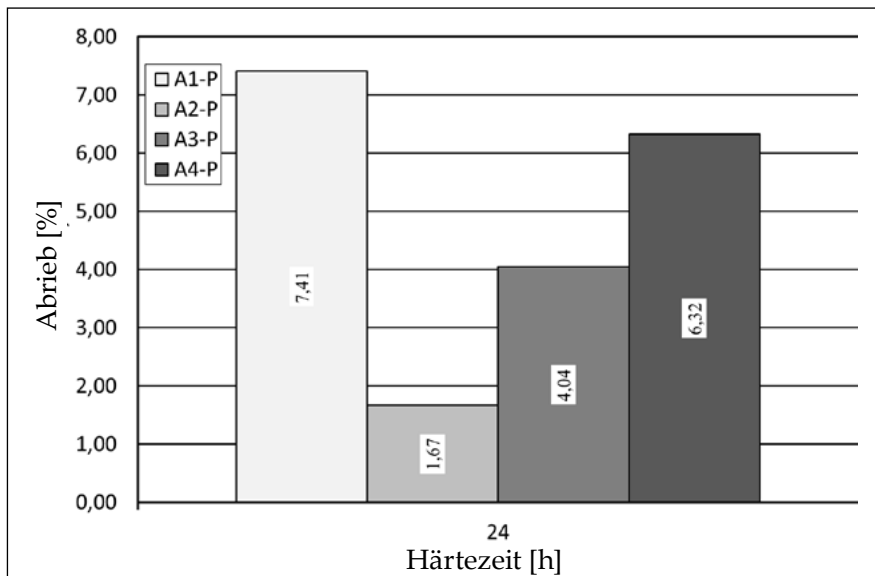


Bild 11: Abriebverhalten bei Verwendung von Quarzsand Pioma Foundry (P)

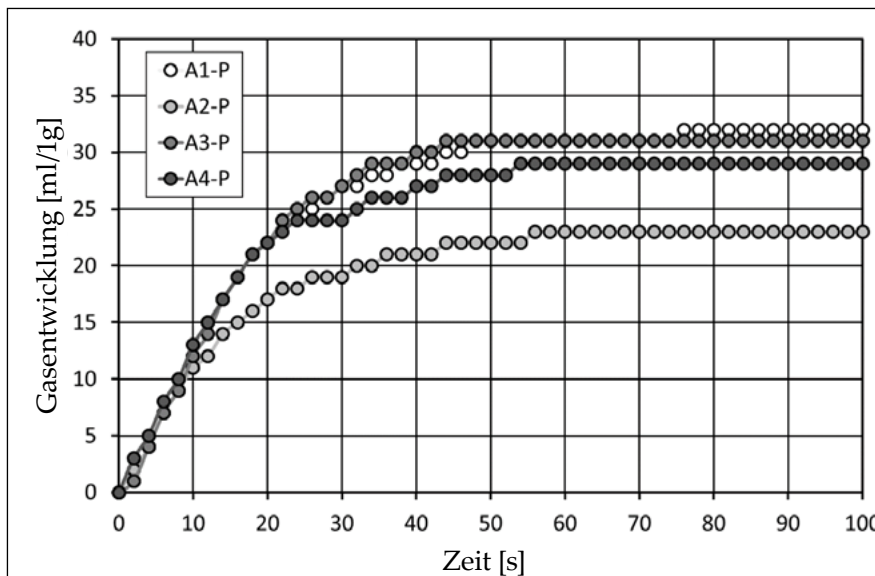


Bild 12: Vergleich des Gasentwicklungsvermögens des mit dem Pioma Foundry (P) – Sand hergestellten Formstoffes mit verschiedenen Bindemitteln im Alpha-Set-Verfahren für die konstante Harzzugabe 1,2 Mass - % und 25 % Härter.

Die Untersuchung der Festigkeitseigenschaften von vorbereiteten Formstoffen mit zwei verschiedenen Kornverteilungen ergab, dass die Sande mit A3- und A2-Bindemitteln die besten Parameter aufwiesen. Je höher die Festigkeit eines Sandes mit Alkali-Phenol-Bindemittel ist, desto geeigneter ist die Verwendung als Ersatz, wobei zu berücksichtigen ist, dass der zuvor verwendete Sand mit Furanharz eine höhere Festigkeit aufwies. Die Art des verwendeten Bindemittels hat keinen Einfluss auf die Gasdurchlässigkeit, da dieser Parameter von der Korngröße der Sandmatrix abhängt. Die Abriebfestigkeit ist sowohl vom verwendeten Bindemittel als auch von der Korngröße der Matrix abhängig. Die geringste Abriebmenge wurde für die Bindemittel A2 und A3 mit dem feineren der verwendeten Sande ermittelt. Vor diesem Hintergrund sind die mit A2 und A3 gekennzeichneten Harze die empfohlenen Bindemittel für Pioma Foundry, wenn das Unternehmen plant, vom Furanharzsystem auf ein Alpha-Set-System umzusteigen.

Literatur

- [1] Sand Team. Available online: www.sandteam.cz (accessed on 23.09.2019).
- [2] HA International. Available online: www.ha-international.com (accessed on 23.09.2019).
- [3] ASK Chemicals. www.ask-chemicals.com (accessed on 23.09.2019).
- [4] Holtzer, M.; Bobrowski A.; Drożyński, D.; Makselon, J.; Isendorf, B. Investigations of Properties of Moulding Sands with Resins Applied in the Alphaset Technology. Arch Found Eng 2013, 13 (Special Issue 1), S. 31-37.
- [5] Holtzer, M.; Żymankowska-Kumon, S.; Bobrowski A.; Kmita, A.; Dańko, R. Influence of the Reclaim Addition to the Moulding Sand Matrix Obtained in the Alphaset Technology on the Emission of Gases – Comparison with Moulding Sand with Furfuryl Resin. Arch Found Eng 2015, 15 (Special Issue 1), S. 121-125.
- [6] Vasková, I.; Smolková, M.; Malik, J.; Eperješi, Š. Experience in forming and core mixtures by Alphaset technology. Arch Found Eng 2008, 8 (2), S. 141-144.
- [7] Łuczarski, M.; Grabowska, B.; Grabowski, G. Determination of Parameters of the Moulding Sand Reclamation Process, on the Thermal Analysis Bases. Arch Metall Mater 2014, 59 (3), S. 1023-1027.
- [8] Łuczarski, M. Setting temperature for thermal reclamation of used moulding sands on the basis of thermal analysis. Metalurgija 2015, 54 (2), S. 319-322.



Dr.-Ing. habil. Mariusz Łuczarski¹,
 Dr.-Ing. Dariusz Drożyński¹,
 Dr.-Ing. habil. Jan Jeziński^{2,3} und
 Andrzej Kaczmarczyk³

¹AGH University of Science and Technology, Faculty of Foundry Engineering, ul. Reymonta 23, 30-059 Kraków, Poland; eumar@agh.edu.pl (M.Ł.); dd@agh.edu.pl (D.D.)

²Silesian University of Technology, Department of Foundry Engineering, ul. Towarowa 7, 44-100 Gliwice, Poland; jan.jeziński@polsl.pl (J.J.)

³Pioma-Odlewnia Sp. z o.o., ul. Romana Dmowskiego 38, 97-300 Piotrków Trybunalski, Poland; andrzej.kaczmarczyk@pgosa.pl (A.K.)

Deutsche Bearbeitung
 Prof. Dr. Hartmut Polzin,
 Striegistal-Marbach

Solange nicht anders gekennzeichnet, liegen die Bildrechte bei den Autoren des Beitrags.