



FOTO: HONSEL AG

Die Schlichte SOLITEC® AD 901 der ASK Chemicals zeichnet sich durch hohe Standzeit aus und führt zu einer guten Gussteilqualität.

# Leistungssteigerung im Aluminium-Automobilguss durch neuartige Kokillenschlichte

## KURZFASSUNG:

Untersuchungen bei der Ashland-Südchemie-Kernfest GmbH, Hilden, haben gezeigt, dass die Schlichte SOLITEC® AD 901 gegenüber den Kokillenschlichten verschiedener Hersteller z. T. erhebliche Vorteile, insbesondere bezüglich der Standzeit, aufweist. Eine Ursache für die positiven Ergebnisse ist der enthaltene Graphit, der die Beanspruchungen der Schlichte vor allem in Bereichen mit geringen Ausformschrägen deutlich reduziert.

VON ERIC EINENKEL, RÜDIGER WOLF,  
REINHARD STÖTZEL, WERNER NEUN UND  
HANS-JÜRGEN WERNER, HILDEN

Die Aluminium-Kokillengussherstellung ist ein bedeutender Zweig der Gießerei-Industrie. Nach Angaben des Bundesverbandes der Deutschen Gießerei-Industrie BDG, Düsseldorf, wurden im Jahr 2009 in Deutschland 540 433 t Aluminiumguss hergestellt, davon 179 541 t im Kokillengießverfahren. Neben dem Druckgießen ist das Kokillengießen nach wie vor das am häufigsten eingesetzte Gießverfahren zur Herstellung von Gussteilen aus Nichteisenmetallen [1, 2].

Anhand dieser Zahlen ist ersichtlich, dass das Kokillengießen von Aluminiumlegierungen von enormer technologischer

und wirtschaftlicher Bedeutung ist. Viele unterschiedliche Aspekte der Gussart, wie z. B. Legierungsauswahl und Automatisierung, sind bereits detailliert untersucht und optimiert worden. Die Formenvorbereitung, -präparierung und somit die Schlichte wurden jedoch kaum wissenschaftlichen Betrachtungen unterzogen. Aktuelle Untersuchungen bei der Honsel AG, Meschede, haben gezeigt, dass hier hohes Optimierungspotential besteht.

Die Formenvorbereitung und die Präparierung der Kokillen haben einen wesentlichen Einfluss auf die Standzeit der Schlichte. Durch Optimierung werden Präparierintervalle und Formenwartungen massiv positiv beeinflusst, wodurch wiederum die Lebensdauer der Kokille erhöht werden kann. In diesem Zusammenhang

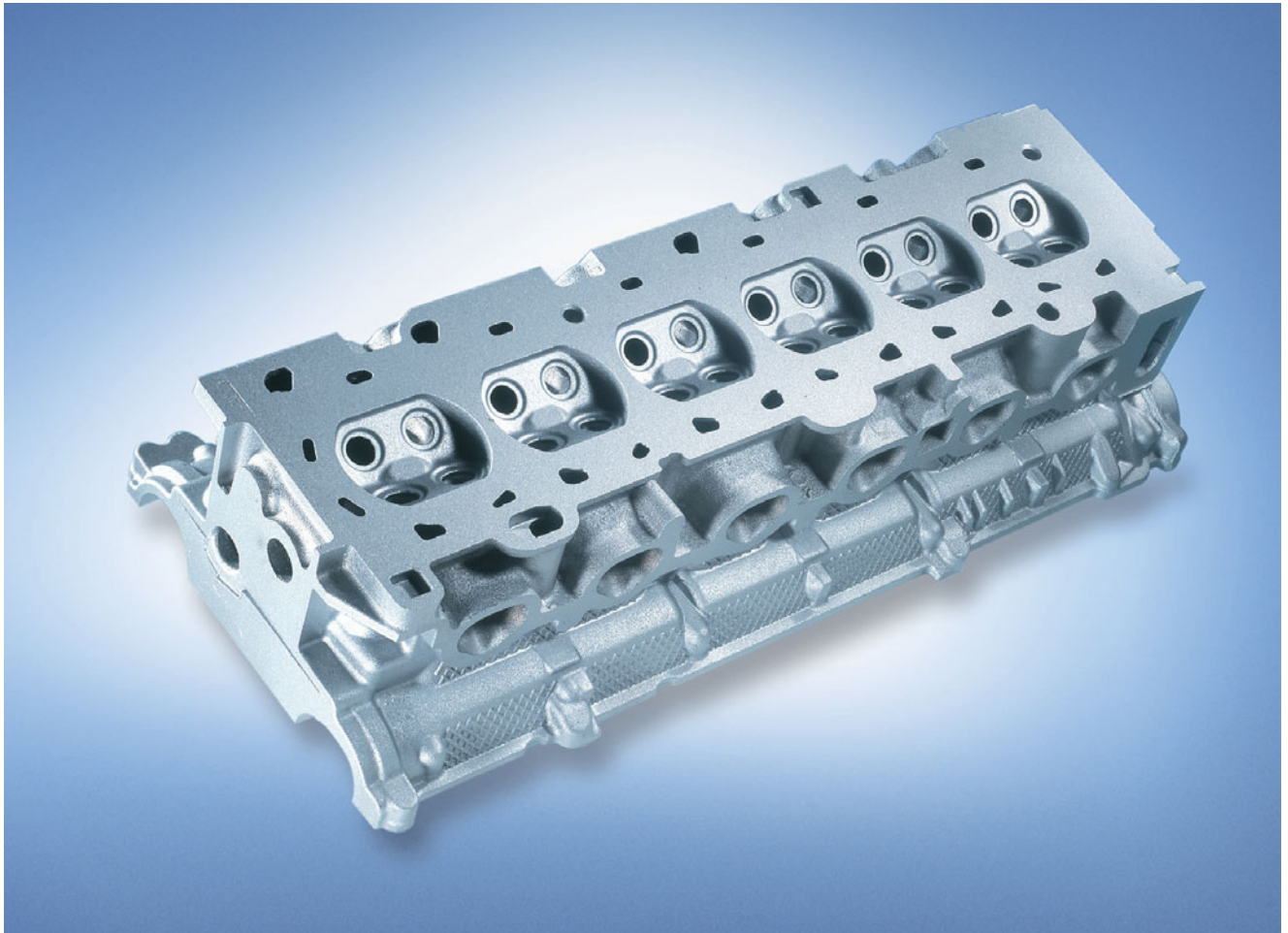


FOTO: HONSEL AG

**Bild 1:** Der für die Untersuchung der Eigenschaften der Kokillenschlichte eingesetzte Zylinderkopf eines Reihensechszylindermotors

muss erwähnt werden, dass die Kosten der Schlichte im Vergleich zu den Produktionskosten des Gussteils vernachlässigbar sind [3]. Schichten üben jedoch einen signifikanten Einfluss auf den Gießprozess und somit auf die Gussteilqualität aus. Um eine gleichbleibende Qualität zu erzielen, müssen die Prozessparameter während des Gießprozesses kontrolliert und dokumentiert werden. Die Schlichte soll dabei den konstanten Ablauf des Prozesses unterstützen und somit zu einer hohen Produktivität führen [4]. Der optimierte Einsatz von Schichten ist ein Beitrag zu einer wirtschaftlichen und effizienten Produktion von Gussteilen.

Schwerpunkt dieses Artikels ist die Untersuchung herkömmlicher Kokillenschichten verschiedener Hersteller. Dabei ist der Fokus auf die Standzeiterhöhung der Schlichte gerichtet, wobei kein negativer Einfluss auf das Qualitätsergebnis der Gussteile entstehen darf. Infolge einer Erhöhung der Standzeit werden die Präparierintervalle verlängert, wodurch wiederum die Anzahl der Reinigungszyklen der Kokillen zur Vorbereitung für eine neue Präparierung reduziert werden kann. Aus diesem Zusammenhang ist der Bezug zur Lebenszeit der Kokille ersichtlich. Die Ver-

suche wurden ausschließlich an einem Zylinderkopf (Bild 1) für einen Reihensechszylindermotor durchgeführt.

### Schichten im Kokillengießverfahren

Schichten bestehen aus Suspensionen bzw. Dispersionen von feuerfesten Stoffen, die in Form eines dünnen Überzuges auf Formen, Kerne oder Gießwerkzeuge aufgetragen werden und verschiedene Aufgaben und Funktionen (Wärmeisolation, Glättung, Trennung etc.) erfüllen und gewährleisten müssen [11].

### Anforderungen an Kokillenschichten

An Kokillenschichten werden zum Teil andere Anforderungen gestellt als an Schichten für den Einsatz im Bereich des Sandgießens.

Folgende Anforderungen gelten bei Kokillenschichten [3, 5, 6, 8, 9, 10]:

- > Isolation der in den Formhohlraum einströmenden Schmelze gegenüber dem Formmaterial, um eine vorzeitige Erstarrung zu vermeiden bzw. ein vollständiges Formfüllen zu gewährleisten;
- > Beeinflussung der lokalen Erstarrungs-

geschwindigkeit durch Schlichtetyp und Schichtdicke;

- > Erzeugung der gewünschten Oberflächenqualität des Gussteils;
- > Reduzierung der Temperaturschockbeanspruchung des Formwerkstoffes während des Formfüllens;
- > Haftung auf der Formoberfläche;
- > mechanische Widerstandsfähigkeit gegenüber den beim Formfüllen wirkenden Scherkräften durch das einströmende flüssige Metall;
- > mechanische Widerstandsfähigkeit gegenüber der abrasiven Beanspruchung bei der Gussteilentnahme;
- > Vermeidung eines Angriffs der Schmelze auf den Formwerkstoff und somit Gewährleistung des Schutzes der Kokillenoberfläche vor Korrosion und Erosion durch das einströmende Metall und
- > Wirkung als Gleitmittel zwischen Gussteil und Gießform, um die Gussteilentnahme zu unterstützen.

Die primären Aufgaben von Kokillenschichten sind die Gewährleistung eines vollständigen Formfüllens, die Steuerung der Erstarrung des Gussteils und der Schutz der Formoberfläche gegenüber dem Gießmetall. Bei nicht geeigneten Schichten be-

Tabelle 1: Eigenschaften der Versuchsschichten

Hersteller name	Produktform	Lieferin g/cm <sup>3</sup>	Dichtegehalt in %	Feststoff-	pH-Wert silicat in %	Anteil Natrium-
ASK	SOLITEC® AD 901 (zähflüssig)	Konzentrat	1,20	50-60	10-12,5	12-20
Serienschlichte	Kokillenglätte (zähflüssig)	Konzentrat	1,24	27	11,6	10-25

steht die Gefahr, dass Bereiche des Formhohlraums beim Füllen der Form nicht vollständig erreicht werden, wodurch Fehler wie z. B. Kaltschweißstellen (Kaltlauf) auftreten können.

Andererseits verlangen bestimmte Bereiche der Kokille eine gezielte und kontrollierte Wärmeabfuhr, damit eine gerichtete Erstarrung des flüssigen Metalls erreicht wird. Es ist daher üblich, bestimmte Kokillenbereiche mit in ihrer Wirkung unterschiedlichen Schichten zu beschichten, um fehlerfreien Guss nach höchsten Qualitätsansprüchen zu produzieren.

Durch den gezielten Einsatz von Schichten kann eine Verringerung des Ausschusses, der Nacharbeitungskosten und somit eine Steigerung der Produktivität erreicht werden. Die Erhöhung der Standzeit der Schlichte ist ebenfalls von zentraler Bedeutung, wodurch die Produktivität gesteigert, die Wartungskosten gesenkt und dadurch die Kokillennutzungszeit (zwischen den Wartungszyklen) erhöht werden. Dies ist ein nicht zu unterschätzender Faktor bezogen auf die Wirtschaftlichkeit und damit die Konkurrenzfähigkeit des Produkts im Wettbewerb [5].

Die Auswahl der geeigneten Schlichte ist unter anderem von folgenden Faktoren abhängig [12]:

- > Wanddicke und Geometrie des Gussteils (bestimmen die erforderliche Isolierwirkung der Schlichte);
- > Qualität der Gussteiloberfläche und
- > Ausformschräge (geringe Ausformschrägen erfordern den Einsatz von Schichten mit einer trennenden, gleitfähigen Wirkung).

**Schlichtetypen**

Kokillenschichten können hinsichtlich ihrer Wirkungsweise in drei Typen unterteilt werden: in Grundier- und Isolierschichten sowie Schichten mit einer wärmeleitenden Wirkung. Oft ist auch eine kombinierte Wirkung von sowohl isolierenden, wärmeleitenden bzw. Schichten mit bestimmten Gleit-/Trenneigenschaften erforderlich. Dies kann zum Beispiel durch den nachträglichen Auftrag einer Graphitschlichte auf

die Isolierschlichte realisiert werden. Der Einsatz einer halbisolierenden Schlichte, die sowohl isolierende als auch wärmeleitende (entformungsfördernde) Materialien enthält, ist ebenfalls möglich [3, 9, 12].

**Grundierschichten.** Die dünn aufgetragene Grundierschicht verfügt über eine starke Haftung auf der Formoberfläche und stellt somit eine hervorragende Grundlage zur Verfügung, auf der die Deckschicht (zumeist Isolierschicht) aufgebracht werden kann. Kurzum kann gesagt werden, dass durch die Verwendung einer Grundierung eine verbesserte Haftung und Standzeit der Deckschicht erzielt wird [5, 8, 10].

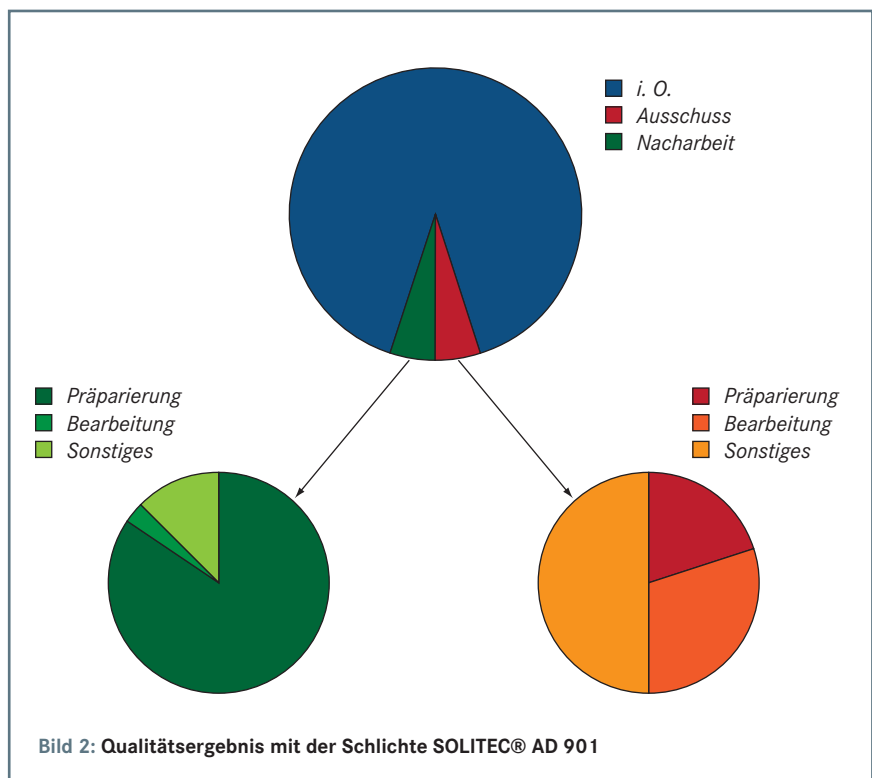
**Isolierschichten.** Isolierschichten verzögern die Wärmeabgabe des Metalls und gewährleisten somit ein vollständiges Formfüllen. Außerdem schützen sie die Formoberfläche während des Formfüllens bis hin zur Gussentnahme vor dem direkten Kontakt mit dem Gießmetall. Sie enthalten mineralische Bestandteile mit einer

geringen Dichte wie zum Beispiel Talk, Glimmer und/oder dichtere, gering isolierende Materialien wie Titandioxid oder Tonerde [3].

**Wärmeleitende Schichten.** Wärmeleitende Schichten basieren auf der Verwendung von Graphit in kolloidaler oder halbkolloidaler Form [3, 5]. Diese Schichten werden auf die Form aufgetragen, um die während des Formfüllens und der Erstarrung freigesetzte Wärme abzuführen und die Entformung des Gussteils aus der Form zu verbessern.

**Einflussgrößen auf die Standzeit der Schlichte**

Die Standzeit der Schlichte ist eine bedeutende Einflussgröße bezogen auf den Produktionsprozess sowie auf wirtschaftliche Faktoren. Durch hohe Standzeiten der Schichten verlängern sich die Präparierintervalle. Das hat neben der Steigerung der Produktivität unter anderem einen verringerten Arbeitsaufwand für



die Mitarbeiter der Formenvorbereitung zur Folge sowie eine geringere Belastung der Kokillen aufgrund der geringeren Anzahl an Strahlvorgängen. Dies wiederum beeinflusst die Standzeit und somit die Schusszahl der Kokille. Eine wesentliche Voraussetzung für eine hohe Standzeit der Schlichte sind eine gut vorbereitete und präparierte Kokille sowie die Art und Güte der Bestandteile der Schlichte. Weitere nicht zu unterschätzende Einflussgrößen sind das Auftragsverfahren, das Gießverfahren, die Gussstückgeometrie, die Gießtemperatur und die Anzahl der zu gießenden Teile. Die Standzeit der Schlichte kann deutlich verringert werden, wenn, bedingt durch die Formgeometrie, geringe Ausformschrägen vorhanden sind, die zu mechanischer Abrasion während des Auffahrens der Form führen und somit ein häufiges Nachschichten erforderlich machen [9]. Des Weiteren können ein turbulentes Formfüllen und hohe lokale Beanspruchungen zu Korrosion und Erosion hoch beanspruchter Bereiche des Gussteils führen [5, 8, 12].

Untersuchungen zur Verschleißfestigkeit von Schichten haben gezeigt, dass deutliche Unterschiede zwischen den verschiedenen Schlichtentypen bestehen. Dabei weisen feine Oberflächenschichten die beste Verschleißfestigkeit auf, gefolgt von den Allzweck- und Isolierschichten [7]. Deshalb muss bei der Schlichteauswahl ein Kompromiss zwischen Isolierwirkung und Verschleißfestigkeit eingegangen werden.

## Versuchsdurchführung

### Informationen über den Zylinderkopf

Im Rahmen der Untersuchungen zur Erhöhung der Standzeit der Schlichte wurden die Versuche ausschließlich an einem Reihensechszylinderkopf durchgeführt. Die zugehörige Kokille wurde aus dem Grunde ausgewählt, weil die bisherige Schlichte auf dieser Kokille nur eine geringe Standzeit erreichte und damit ein hohes Optimierungspotential vorliegt. Zusätzlich wurde die Standzeit der Schlichte durch ihre starke Abnutzung im Bereich geringer Ausformschrägen begrenzt.

### Versuche zur Erhöhung der Standzeit der Schlichte

Zu Beginn der Untersuchungen wurde eine Marktanalyse mit dem Fokus auf folgende Eigenschaften der Schichten durchgeführt:

- > Eignung für das Schwerkraftkokillengießen von Aluminiumlegierungen;
- > Trägerflüssigkeit Wasser;
- > mittlere bis hohe Rauheit der Gussteiloberfläche erzielbar und
- > gute bis sehr gute Isoliereigenschaften.

**Tabelle 2: Prozessparameter des Schlichteauftrags auf die vorgewärmte Kokille**

Prozessparameter	Wert/Beschreibung
Sprühdruck	6 bar
Auftragstemperaturen	160-350 °C (abhängig vom Hersteller)
Düsendurchmesser Sprühkännchen	1,0-1,6 mm
Schichtdickenbereich	100-120 µm
Sprühabstand	ca. 15-20 cm
Sprühwinkel	wenn möglich 90°, aber stark geometrieabhängig
Sprühbewegung	stark konturabhängig; wenn möglich, gleichmäßig horizontale und vertikale Bewegung in Form eines Kreuzrasters

**Tabelle 3: Auftragstemperaturen und Dichten der Versuchsschichten**

Hersteller	Produktname	Auftragstemperaturbereich in °C	Dichte in °Bé
ASK	SOLITEC® AD 901	220-300	35-36
Serienschlichte	Kokillenglätte	180-350	34

Danach wurden die in **Tabelle 1** aufgeführten Kokillenschichten für die Versuche ausgewählt.

Die Präparierung der Versuchskokille umfasste die Aufbereitung der Schlichte sowie den Schlichteauftrag auf die vorgewärmte Form.

Die Schichten wurden überwiegend als Konzentrat geliefert, so dass lediglich die Zugabe von Wasser nach einem vorgegebenen Mischungsverhältnis und das Homogenisieren der Schlichte in einem Rührbehälter erforderlich waren. Beim Wareneingang wird eine stichprobenartige Qualitätskontrolle der Schlichte durchgeführt. Dabei werden Feststoffgehalt, Dichte, pH-Wert und Viskosität bestimmt und mit den Vorgaben des Herstellers verglichen. Der zuständige Mitarbeiter für die Schlichteaufbereitung prüft lediglich die Dichte mit Hilfe eines Baumè-Densimeters.

Zum Auftragen der Schichten kommen sogenannte „Präparierkännchen“ zum Einsatz. Die Bereiche der Kokille werden, unabhängig von der eingesetzten Schlichte, folgendermaßen präpariert:

- > die Formkontur wird ausschließlich mit der Isolierschlichte beschichtet;
- > im Bereich der Speiser, Gießläufe und des Eingusses wird eine Speiserisolierschlichte (Kaolin, Wasserglas,

Wasser) aufgestrichen;  
> graphithaltige Schwärze wird im Bereich der Dichtflächen aufgetragen.

Sobald die Kokille die erforderliche Auftragstemperatur erreicht hatte, wurde die Schlichte aufgetragen. Die durch den Hersteller empfohlenen Auftragstemperaturen (bzw. der Temperaturbereich) variieren zum Teil erheblich. Nach dem Schlichteauftrag wurde die Schichtdicke mittels des magnetinduktiven Verfahrens bestimmt. Das dafür eingesetzte Messgerät verfügt über eine Hochtemperatursonde, so dass eine Messung bis zu einer maximalen Temperatur von 300 °C möglich war. Die Messung beinhaltete 23 Messpunkte. Die Schichtdicken wurden vor und nach dem Gießen gemessen, um die Abweichungen infolge des Nachschichtens zu dokumentieren. In den **Tabellen 2** und **3** sind die Prozessparameter für den Schlichteauftrag dargestellt.

## Ergebnisse

### Serienschlichte

Die Standzeit der bisherigen Serienschlichte betrug maximal 32 h bzw. 4 Schichten. Die Schichten der verschiedenen Hersteller haben trotz eines ähnlichen Eigenschaftsprofils zu teils erheblichen Unterschieden in den Ergebnissen geführt. Angaben über

die genaue Zusammensetzung der Schichten konnten vom Hersteller nicht bezogen werden. Auf dem Sicherheitsdatenblatt der Schlichte ist lediglich der Natriumsilicathalt aufgeführt. Die Gehalte liegen jedoch in einem annähernd gleichen Bereich, zwischen 10 und 25 %. Dieser Umstand erschwert die Interpretation und Bewertung der Versuchsergebnisse nachhaltig. In den Versuchen war festzustellen, dass verschiedenste Faktoren den Gießprozess und somit die Qualität der Gussteile beeinflussen. Die Optimierung der Versuchsergebnisse durch die Modifikation von Prozessparametern war nicht möglich. Die damit einhergehenden Veränderungen können im Endeffekt nicht ohne weiteres auf den Einsatz der Schlichte zurückgeführt werden. Des Weiteren ist dadurch keine Reproduzierbarkeit der Ergebnisse gegeben.

### Schlichte der ASK Chemicals

In den sieben durchgeführten Versuchen wurden insgesamt 2754 Zylinderköpfe produziert. Die Versuchsergebnisse mit der Schlichte der Ashland-Südchemie-Kernfest GmbH (ASK Chemicals), Hilden, SOLITEC® AD 901, sind in **Bild 2** dargestellt.

Die Schlichte weist während des Gießens ein stabiles Verhalten gegenüber Zyklus- und Temperaturschwankungen auf. Die Versuche haben gezeigt, dass bei Produktionsunterbrechungen von bis zu 4 h keine negativen Auswirkungen auf die Gussteil- und Schlichtequalität feststellbar waren. Die maximale Standzeit wurde mit 64 h bzw. 8 Schichten ermittelt. Das entspricht einer Standzeiterhöhung um 100 % gegenüber der bisher eingesetzten Serienschlichte. Die hohe Standzeit kann mit mehreren Faktoren begründet werden. Die halbisolierende Schlichte enthält Graphit. Der Graphit begünstigt die Wärmeleitfähigkeit der Schlichte, wodurch eine Verringerung der Isolierwirkung bewirkt wird. Das reduzierte Isoliervermögen der Schlich-

te hat keinen negativen Einfluss auf die Gussteilqualität. Neben der Beeinflussung der Isolierwirkung bewirkt der Graphit eine deutliche Senkung der Entformungskräfte und somit der Beanspruchungen der Formoberfläche im Bereich geringer Ausformschrägen. Eine Bestätigung dieser Aussage sind die minimierten Nachschlichtintervalle im Vergleich zu den anderen Versuchsschichten und der bisherigen Schlichte: Während der Versuche wurde vom Gießer notiert, wann ein Nachschichten der Kokille erfolgte. Ein häufiges Nachschichten führt zu einem starken Schichtaufbau, verbunden mit Abplatzern mit zunehmender Gießzeit. Dadurch verringert sich die Standzeit der Schlichte erheblich. Es wurde festgestellt, dass die Schichten mit der geringsten Standzeit die höchste Nachschlichtintensität besitzen. Im Gegenzug weist die ASK-Schlichte SOLITEC® AD 901 mit der höchsten erzielten Standzeit die niedrigste Nachschlichtintensität von 280 min auf.

Bei den Versuchen wurde bei signifikanter Verlängerung der Kokillenstandzeit ein gutes, mit den bisherigen Ergebnissen vergleichbares Qualitätsergebnis (s. Bild 1) erzielt.

### Zusammenfassung

Alle erzielten Ergebnisse von zwei Versuchsschichten haben im Vergleich zu der bisher eingesetzten Serienschlichte zum Teil deutliche Unterschiede gezeigt.

Die besten Ergebnisse erzielte, bezogen auf die Standzeit der Schlichte und die Gussteilqualität, die Schlichte SOLITEC® AD 901 der ASK Chemicals. Eine Ursache für die positiven Ergebnisse ist der enthaltene Graphit. Dadurch werden die Beanspruchungen der Schlichte vor allem in Bereichen mit geringen Ausformschrägen deutlich reduziert. Das Ergebnis ist eine Erweiterung der Nachschlichtintervalle, wodurch im weiteren Verlauf die Stand-

zeit der Schlichte erhöht wird. Dabei konnte eine Erhöhung der Standzeit um 100 % erzielt werden, welche einer Produktionszeit von 66 h entspricht. Im Zuge der Überführung in die Serie wurde diese jedoch auf 48 h (entspricht einer Standzeiterhöhung um 50 %) begrenzt, um die Produktionssicherheit zu gewährleisten.

### Literatur:

- [1] *Gießerei-Jahrbuch 2008*. Giesserei-Verlag GmbH, Düsseldorf 2008.
- [2] *Giesserei 90 (2003) Nr. 12*, S. 44-48.
- [3] Hodgkinson, N. A.: *Advances in permanent mold coating technology*. 3. Int. Permanent Mold Casting of Aluminium Conference, St. Louis, USA, 1995. American Foundrymen's Society, Des Plaines, USA, 1995. S. 1-22.
- [4] ECS: *Die coatings critical in permanent molding*. In: *For Design Engineers & Purchasers*. Jan./Feb. 2008. S. 43.
- [5] *Dycote Kokillenschichten Handbuch*. Foseco, Borken 2007.
- [6] Kawai, K.: *Heat transfer through die coatings in the gravity die casting of aluminium*. University of Birmingham, Faculty of Engineering, Diss. 2004.
- [7] Chiesa, F.: *Quantifying permanent mold coating's functional properties*. *AFS Transactions 106 (1998)*, S. 589-594.
- [8] Nyamekye, K.; Wie, S.; Askeland, D., u. a.: *A review of permanent mold coatings and their effect on heat transfer in the mold*. *AFS Transactions 102 (1994)*, S. 869-876.
- [9] Dillingham, J.; Ramsay, C. W.; Askeland, D. R.: *Literature Review for Tenacious Coatings for Aluminium Permanent Mold Casting Process*. *AFS Transactions 104 (1996)*, S. 1079-1095.
- [10] Chiesa, F.; Boisvert, A.: *Factors affecting drying conditions of coatings sprayed on permanent molds*. In: *Transactions of the American Foundrymen Soc.* 104 (1996), S. 769-775.
- [11] *Giesserei-Rundschau 52 (2005) Nr. 5/6*, S. 140-146.
- [12] *Giesserei-Praxis (2004) Nr. 3*, S. 117-119