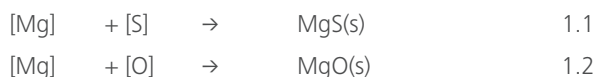


Metallurgische Schichte zur Reduzierung der Graphitentartung im Oberflächenbereich von Gussteilen aus Gusseisen mit Vermiculargraphit

INLEITUNG:

Im Zusammenhang mit der Verschärfung der Gesetzgebung betreffend der Reduzierung von Emissionen durch Verbrennungsmotoren besteht ein zunehmender Trend zur Verwendung von Gusseisen mit Vermiculargraphit (GJV) im Automobilguss, speziell bei Zylinderblöcken, um höhere Drücke zu ermöglichen und das gesamte Bauteilgewicht zu reduzieren. Zurzeit sind die Gestaltungsmöglichkeiten bei GJV-Gussteilen dadurch begrenzt, dass der Vermiculargraphit in der Randschalenzone des Gussteils zu einer Schicht mit Lamellengraphit entartet [1, 2]. Ein Beispiel für das Feingefüge in der Randzone eines GJV-Gussteils mit Entartung des Vermiculargraphits wird in Abbildung 1 gezeigt.

Dieser Fehler kommt häufig bei Gusseisen mit Kugelgraphit (GJS) und bei Gusseisen mit Vermiculargraphit (GJV) vor. Die durchschnittliche Dicke der Schicht mit Graphitentartung beträgt bei dünnwandigen Guss teilen aus GJS 0,15 – 0,45 mm und 0,7 - 2,5 mm bei GJV [3]. Es wurde berichtet, dass bei GJS-Gussteilen oft eine 0,1 bis 3,0 mm dicke Schicht mit entartetem Graphit vorkommt, abhängig von der Wanddicke des Gussteils und der Abkühlungsgeschwindigkeit [4]. Durch das Vorhandensein dieser Schicht mit entartetem Graphit werden die mechanischen Eigenschaften des Bauteils (Dauerfestigkeit, Dehnung usw.) in dem betreffenden Bereich beträchtlich reduziert [2, 5]. Um die Vermiculargraphit-Entartung zu beherrschen, bedarf es eingehender Kenntnisse der chemischen Reaktionen in der Schmelze, der Schmelztemperatur, der Abkühlungsgeschwindigkeit und der Reaktion zwischen Schmelze und Form- bzw. Kernoberfläche. Es wird angenommen, dass die direkte Ursache für die Graphitentartung, die zu einer Schicht von Lamellengraphit, wie in Abbildung 1 gezeigt, führt, der Magnesiumverlust an der Oberfläche des Gussteils ist. Dies ist auf die Reaktion des Magnesiums mit dem Schwefel und dem Sauerstoff zurückzuführen, die im Formstoff und/oder in der Atmosphäre in der Form vorhanden sind. Die Reaktionen sind folgende:



Dieser Vorgang findet im Bereich der Form- bzw. Kernwandung statt.

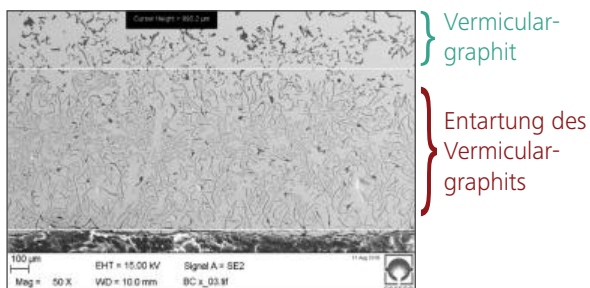


Abbildung 1. Schicht mit zu Lamellengraphit rückgebildetem Vermiculargraphit in der Randzone eines GJV-Gussteils

Eine weitere Einflussgröße bei der Entstehung von entartetem Graphit ist die Erstarrungskinetik (stärkere Unterkühlung an der Grenzfläche). Starke Unterkühlung an

der Grenzfläche zwischen Formwand und Schmelze fördert die Ausscheidung von Austenitdendriten, die Magnesium an der Erstarrungsfront zurückdrängen. Dies bewirkt einen niedrigen Magnesium-Gehalt und die Ausscheidung von Lamellengraphit in der Randschalenzone, dicht an der Grenzfläche zu Form oder Kern mit besserer Ausbildung des Kugelgraphits in der Masse des Gussteils [2, 6]. Gemäß ISO 16112-2006-08-01 muss GJV mindestens 80 % des Graphits in vermicularer Ausbildung (Form III gemäß ISO 945) enthalten und die übrigen 20 % des Graphits sollten die Form VI oder V gemäß ISO 945 aufweisen. Lamellengraphit (Form I und Form II gemäß ISO 945) ist nicht zulässig, außer in der Randschalenzone des Gussteils [7].

Soweit die Ursachen für die Bildung von entartetem Graphit; dessen Ausbildung kann durch Verringerung des Verlustes an Magnesium im Grenzflächenbereich und Verringerung der Unterkühlung an der Formwand vermindert werden. Im Allgemeinen werden Gießereischichten zur Verbesserung der Gussoberfläche und zur Verhütung von Oberflächenfehlern an Gussteilen eingesetzt [8, 9, 10], sie verhindern jedoch nicht die Degeneration von Vermiculargraphit zu Lamellengraphit. Es wurde jedoch berichtet, dass speziell zusammengesetzte Gießereischichten zur Verringerung dieses Fehlers verwendet wurden, und zwar durch Auftragen der Schichte mit etwa 0,20 - 0,25 mm Trockenschichtdicke auf Formen und Kerne, die 0,02 % Schwefel enthielt [11]. Riposal und weitere Autoren [4] berichteten über den Einsatz von Schichten auf Basis von Entschwefelungsmitteln (Al_2O_3 , CaCO_3 , basische Schlacke, CaF_2 , Talkum) und sinterfähigem Material, die als Schutzschicht wirken, um das Auftreten dieses Fehlers zu verringern. Die Oberflächenschicht wurde durch CaO -Schichten, dank ihrer Reaktion mit SO_2 und ihrer Entschwefelungswirkung, beträchtlich verringert. Aus diesen Ergebnissen wurde geschlossen, dass Formschichten auf Basis von Entschwefelungsmitteln (z.B. CaO oder MgO) wirksamer sind als herkömmliche Schutzschichten. Auch Boonmee und Stefanescu verwendeten Formschichten zur Verminderung der Entartung von Vermiculargraphit [12]. In ihrer Studie arbeiteten sie mit drei verschiedenen Schichttypen, a) inaktiven Schichten (basierend auf Glimmer, Zirkon und Bornitrid) und somit in Bezug auf die Schmelze vollständig inerten Schichten, b) aktiven Schichten (Ferrosilizium und Graphit) – Schichten, die die schichtennahe Zusammensetzung der Schmelze ändern und c) reaktiven Schichten (CaO , MgO und FeSiMg) – Schichten, die mit der Schmelze chemisch reagieren, zum Beispiel durch Deoxidieren oder Entschwefeln. Sie stellten weiterhin fest, dass unterschiedliche Schichten unter bestimmten Bedingungen die Entartung von Vermiculargraphit zu Lamellengraphit beeinflussen. Sie folgerten weiterhin, dass die FeSiMg -Schichte bei allen Abkühlungsgeschwindigkeiten, die in dieser Studie untersucht wurden, die beste Wirkung in Bezug auf die Verringerung der Schichtdicke mit entartetem Vermiculargraphit bei einem Eisen mit eutektischer Zusammensetzung ausübte. Die Verfasser stellten darüber hinaus fest, dass die meisten Füllstoffe, die von den o.g. Forschern verwendet wurden, jedoch nicht mit der gewünschten Trägerflüssigkeit, nämlich Wasser, kompatibel sind.

Hauptgegenstand dieser Veröffentlichung ist die Vorstellung einer neu entwickelten FOSECO Schlichte auf Wasserbasis, ACTICOTE CG800 (im Folgenden auch CG800 genannt). Diese Schlichte wird für die Verringerung der Entartung von Vermiculargraphit zu Lamellengraphit bei GJV-Gussstücken eingesetzt. Die Wirksamkeit dieses neuen Produktes beruht auf der synergetischen Wirkung von Isolierung und optimierter Gasdurchlässigkeit, die diese neue Schlichte bietet.

VERSUCHSVERFAHREN

Über die Versuche wird in dieser Veröffentlichung in zwei Abschnitten berichtet: Schlichteentwicklung und Gießtechnologie.

SCHLICHTENTEENTWICKLUNG

Der die Schlichte betreffende Teil dieser Studie beinhaltet die Analyse der Rohstoffe unter Anwendung neuester Technologien. Basierend auf den Analysen wurden mehrere Testschichten entwickelt und hergestellt. Danach erfolgte die Verarbeitung und Typisierung der hergestellten Schichten, die die Bezeichnungen A, II, III, IV und CG800 erhielten. Dann erfolgte in derselben Anwendung der Vergleich des neuen Produktes (CG800) mit anderen im Handel befindlichen Schichten (mit B, C, D, E, F und G gekennzeichnet).

Das Rezept für die Schlichte basiert auf der Kombination genau bestimmter Mengen folgender Bestandteile: Trägerflüssigkeit (Wasser), Feuerfeste Füllstoffe, Binder, Suspensions- und Dispersionsmittel, Zusätze wie Bioziden, Entschäumern usw. [9], wie in Abbildung 2 gezeigt.

Um das Vorhandensein und die Quelle von Schwefel zu bestimmen, wurden der für die Herstellung der Kerne verwendete Sand, ein in der Schlichte verwendeter Füllstoff (mit angenommenem hohem Schwefelgehalt) und die Schlichte mit einem LECO S/C Analysator auf den Schwefelgehalt analysiert. Die Ergebnisse der Schwefelanalyse werden in Abbildung 3 gezeigt. Der Schwefelgehalt (S) des Coldbox-Sandes und der Schlichte unterscheiden sich nicht wesentlich von dem des Gussstücks. Allerdings weist der Füllstoff einen relativ hohen Schwefelgehalt auf, dies hat jedoch keinen Einfluss auf den Schwefelgehalt der Schlichte. Das ist auf das sorgfältig ausgeglichene Verhältnis der Hauptfüllstoffe in der Schlichte zurückzuführen.

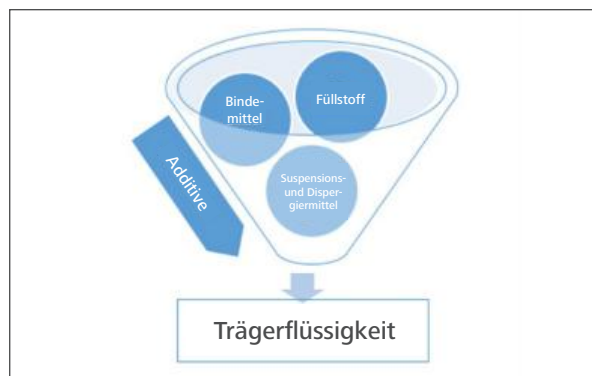


Abbildung 2. Bestandteile der Schlichte [9].

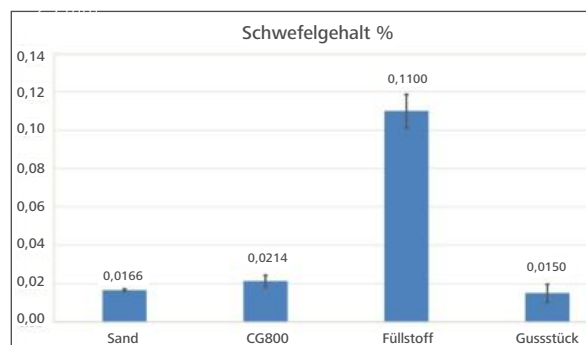


Abbildung 3. Ergebnis der Schwefelanalyse von Kernsand, ACTICOTE CG800 (CG800), Graphitfüllstoff und Gussstück

Die Wärmeleitfähigkeit einiger ausgewählter Schichten wurde mit einem Anter Thermal Diffusivity Messgerät bei Vesuvius Pittsburgh, R&D Centre in den USA bestimmt. Die Ergebnisse (Abbildung 4) ergaben, dass die Schlichte A im Vergleich zu den anderen untersuchten Schichten die geringste Wärmeleitfähigkeit bei 1000 °C aufweist (als wichtig betrachtet, da den Schmelztemperaturen näher), gefolgt von CG800. Dies war zu erwarten, weil die Schlichte A die größte Korngrößenverteilung, wie bei der Korngrößenverteilungs-Analyse festgestellt, aufweist. Eine niedrige Wärmeleitfähigkeit (Isolierung) im Gleichgewicht mit anderen Eigenschaften, wie z.B. optimaler Gasdurchlässigkeit und hoher Feuerfestigkeit (Abbildung 4), kann einer der Gründe sein, weshalb sich CG800 besser als alle anderen in den Vorversuchen (Auswahlversuchen) verwendeten Schichten verhielt.

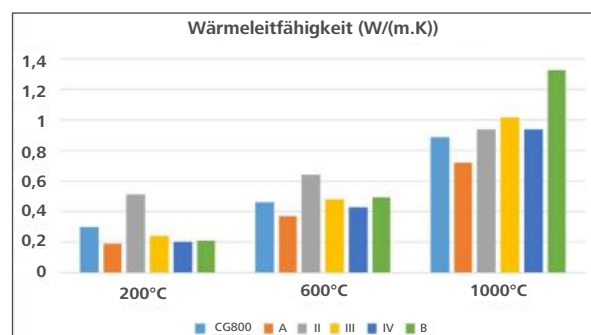


Abbildung 4. Wärmeleitfähigkeit ausgewählter Schichten bei unterschiedlichen Temperaturen.

Das thermische Verhalten von CG800, der verwendete Hauptfüllstoff und eine abgeänderte Version von CG800, PID2-20, wurden mit einem Erhitzungsmikroskop untersucht, um die typischen Temperaturen für die Veränderungen von Form und Querschnittsfläche der Proben bei Erhitzung zu bestimmen. Die Änderungen von Form und Querschnitt der Proben werden bei verschiedenen Temperaturen beschrieben. Diese sind DT - Verformungstemperatur (bei maximaler Sinterung), ST - Sphärische Temperatur (bei beginnender Erweichung), HT - Hemisphärische Temperatur (Schmelzen) und FT - Fließtemperatur (Fließen) [13]. Nähere Informationen zu diesen Temperaturen enthält ISO 540:2008(E) [14]. Je höher diese Temperaturen sind, umso höher ist die Feuerfestigkeit des geprüften Materials. In das Programm der thermischen Analyse wurden zwei weitere im Handel befindliche Schichten (D und F) aufgenommen. Die Ergebnisse sind in Abbildung 5 wiedergegeben.

Aus den Ergebnissen ist zu erkennen, dass der reine Füllstoff im Vergleich zu CG800 und PID2-20 und den gehandelten Schichten hitzebeständiger ist, bezogen auf die HT-Temperaturen. Aus den Formänderungen der Proben ist zu schließen, dass das thermische Verhalten von CG800 dem des Füllstoffes ähnelt. Bei einer geringfügigen Änderung der Füllstoffe im CG800 änderte sich jedoch das thermische Verhalten beträchtlich, wie bei den Probekörpern aus PID2-20 zu erkennen ist. Ab der DT-Verformungstemperatur nahm die Feuerfestigkeit ab bis zur HT-Hemisphärischen Temperatur, bezogen auf CG800. Die PID2-20 Probe weist bei allen Temperaturen ähnliche Formen auf, wie die herkömmlichen Schichten. Bezogen auf die Übergangstemperaturen weist CG800 eine ähnliche Feuerfestigkeit auf, wie die Schichten D und F. Das unterschiedliche Verhalten von CG800 hinsichtlich der Übergangsformen im Vergleich zu den anderen Schichten könnte auch einer der Gründe für das bessere Verhalten gegenüber den Standardschichten sein. Dieses Verhalten wird Bestandteil weiterer Forschung sein, da die beobachteten Übergangsformen bei Erhitzungsmikroskop-Proben nicht üblich sind.

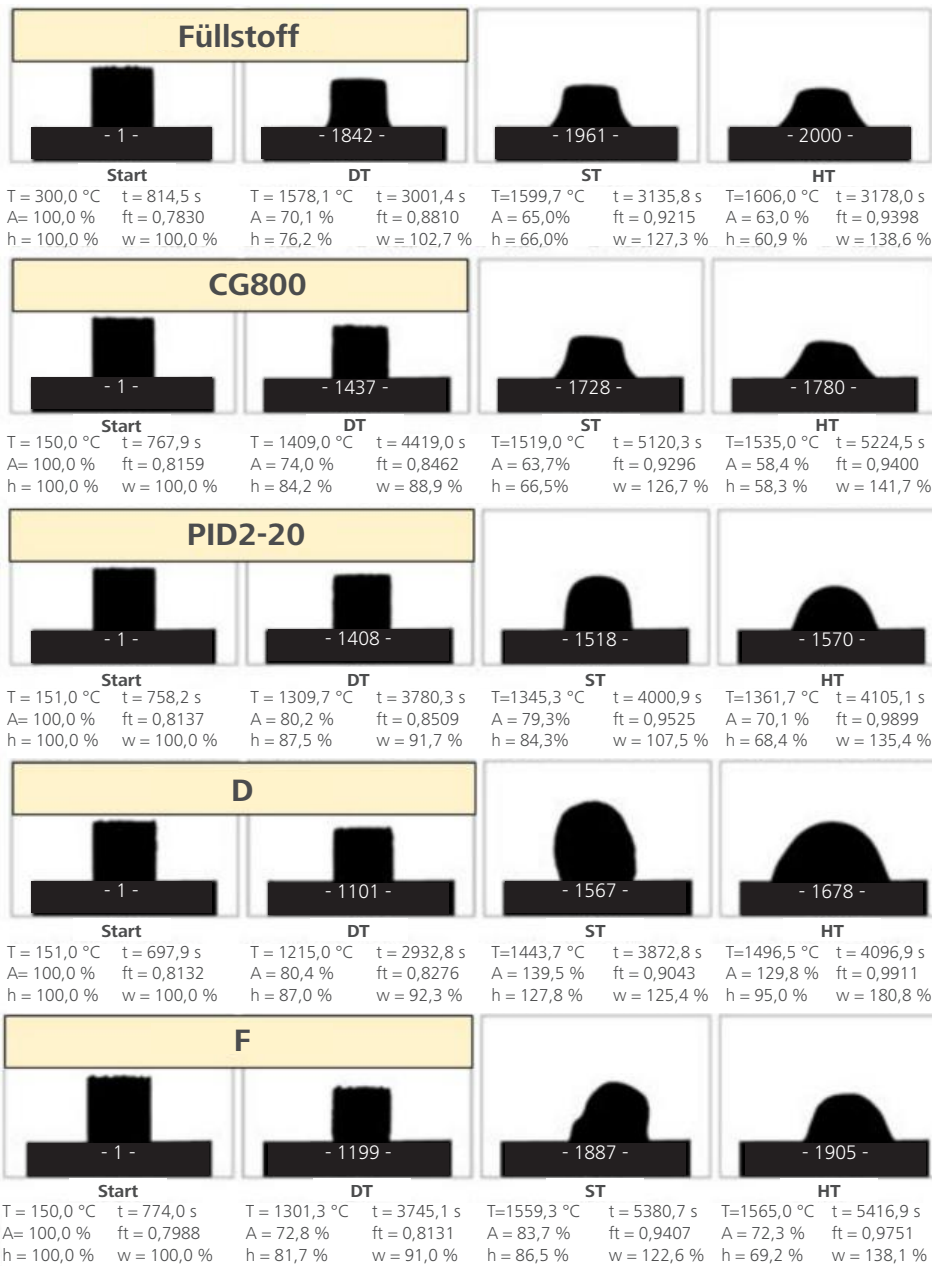


Abbildung 5. Abbildung von fünf Erhitzungsmikroskop-Proben ohne Wärmeausdehnungseigenschaften. Temperaturen: Start, DT-Verformungs-Temperatur, ST-Sphärische Temperatur, HT - Hemisphärische Temperatur.

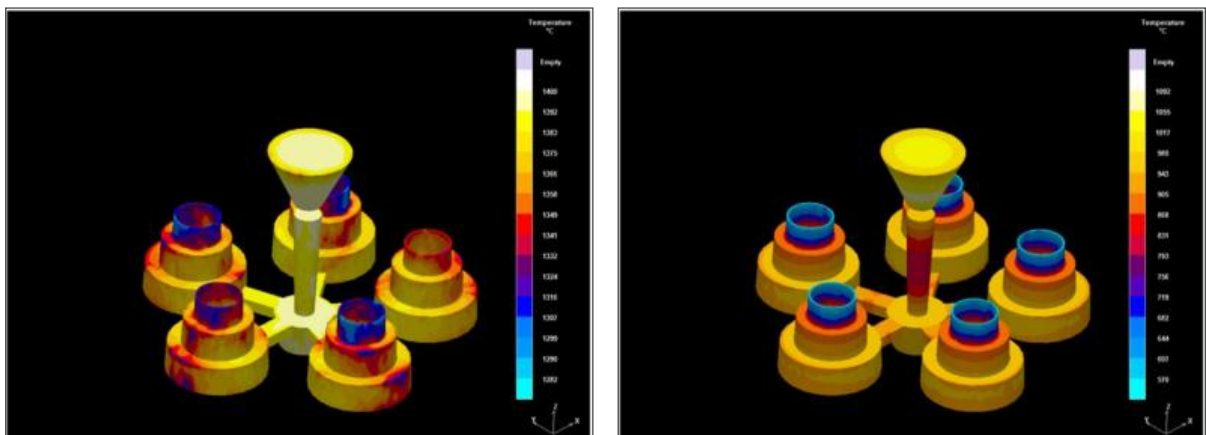
Die CG800 Schichte wurde zusammen mit einigen anderen im Handel befindlichen Schichten verglichen und analysiert, um deren Eigenschaften für den Einsatz in der Gießerei zu bestimmen. Die Ergebnisse (Tabelle 1) zeigen, dass die Schichten beständig sind und den gießereitechnischen Anforderungen entsprechen.

Eigenschaften	CG800	Andere im Handel befindliche Schichten für denselben Einsatzbereich							Spezifikationen
		A	B	C	D	E	F	G	
Feststoffgehalt %	63	42,58	42,16	41,88	45,62	44,68	43,27	44,79	40 Minimum
Dichte g/cm ³	1,68	1,37	1,36	1,35	1,4	1,39	1,37	1,38	1.30-1.40
Baume °Be	108	74	70	58	78	72	60	56	64 Minimum
Verdünnte Schlichte									
Feststoffgehalt %	50,62	30,45	32,58	33,2	34,7	32,27	30,86	39,68	
Dichte g/cm ³	1,49	1,24	1,25	1,26	1,28	1,25	1,24	1,33	
Baume °Be	52	40	38	38	42	42	33	42	28-30
DIN Becher 4 Viskosität s	15	14	14	14	16	15	13	15,5	
Mattzeit s	45-50	55					55		
RB-Nummer	Kein Fluss	12					21		
Haftung	Gut	Gut	Gut	Gut	Gut	Gut	Gut	Gut	Gut
Sedimentation % nach 24 h	1	0,5	0,5	1	1	1	1	1	Stabil
Graphitflotation	Keine	Keine	Keine	Keine	Keine	Keine	Keine	Keine	Keine
Trockenschichtdicke µm	200-230	200-250	200-250	200-250	200-250	200-250	200-320	200-250	230-300

Tabelle 1. Eigenschaften von Gießereischichten

GUSSTECHNOLOGIE

Um das Verhalten der verschiedenen Schichten unter Praxisbedingungen zu untersuchen, wurden mehrere Schlichte- und Abgussversuche durchgeführt. Hierzu gehörte beginnend die Modellplanung und Simulation des Gießprozesses mit einer kommerziellen Software zur Optimierung der Geometrie für die Herstellung der Modelleinrichtung. Zwei Simulationsergebnisse werden in Abbildung 6 gezeigt, inkl. Füllvorgang und gleichmäßiger Erstarrung der hohlen zylindrischen Gussteile in drei unterschiedlichen Wanddicken.



(a) Am Ende des Füllvorgangs

(b) Am Ende der Erstarrung

Abbildung 6. Simulierte Temperaturfelder in den Gussteilen zu unterschiedlichen Zeiten.

Auf Grundlage der zufriedenstellenden Ergebnisse der Simulation wurde die Modelleinrichtung (Abbildung 7) von einem externen Modellbauer hergestellt. Die in Abbildung 7 gezeigte Anordnung wurde für alle Pilotversuche angewandt. Diese Auslegung stellt sicher, dass die Proben bei gleicher Temperatur, mit gleicher Gießzeit und gleicher (chemischer) Zusammensetzung gefüllt werden. Diese Ausführung ist sehr praktikabel, weil sie die Untersuchung von 5 verschiedenen Schlichterezepten und 3 verschiedenen Gusswanddicken mit einem Abguss in einer Form ermöglicht. Die untersuchten Gusswanddicken waren 45 mm, 20 mm und 5 mm, gekennzeichnet als X, Y und Z. Diese drei unterschiedlichen Wanddicken gewährleisten eine unterschiedliche Kontaktdauer zwischen den Kernen (Schlichte) und der Schmelze, bevor diese erstarrt.

Der Kern ist zylindrisch mit einer Höhe von 210 mm, davon gehören 40 mm unten und 20 mm oben zu Kernmarken mit ca. 75 mm Durchmesser. Die Kerne werden durch Tauchen in die verdünnten und verwendungsbereiten Schichten beschichtet, um eine Trockenschichtdicke von ca. 200 μm zu erhalten. Die geschichteten Kerne werden anschließend in einem Ofen 2 Stunden bei 120 °C getrocknet (Abbildung 8a). Die Schichtdicke der Schlichte (Oberschicht) und die Eindringtiefe (Penetrationsschicht) sind in Abbildung 8b deutlich erkennbar.

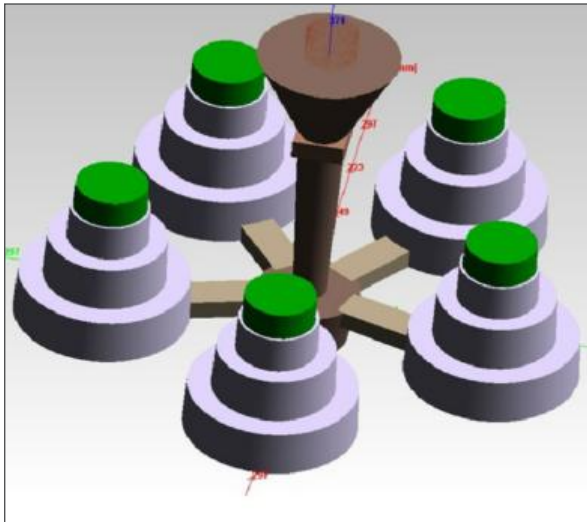


Abbildung 7. Modelleinrichtung für die Herstellung der Gussstücke

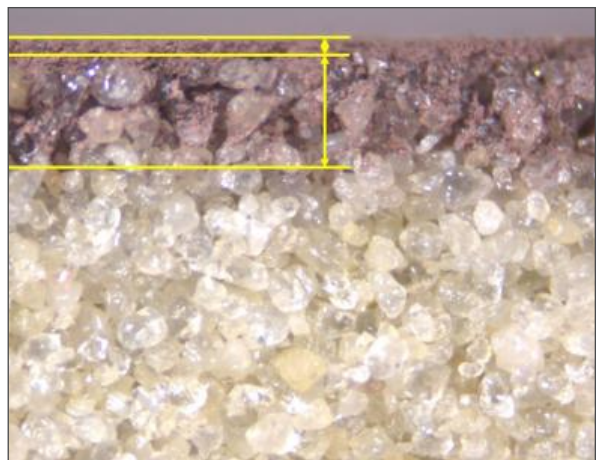
Die chemische Zusammensetzung der Schmelze ist in der Tabelle 2 angegeben. Der SinterCast-Modifikations-Index der verschiedenen Versuche liegt im Bereich 38 - 39. Dies zeigt, dass die für alle Versuche verwendeten Schmelzen von gleichmäßiger Güte waren und genügt den kalibrierten Modifikationsgrenzen von 38 bis 46, die erforderlich sind, um das Feingefüge, die Eigenschaften und Integrität in den Hochleistungsblöcken mit der SinterCast-Verfahrenstechnologie [15] zu erhalten. Die Gießversuche fanden in einer Gießerei statt, die Gussteile aus Gusseisen mit Vermiculargraphit herstellt, gemäß dem Testprogramm in Tabelle 3, unter Anwendung des SinterCast-Verfahrens.

TC*	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	Sn	Mg	Fe
3,71	2,36	0,259	0,030	0,019	0,030	0,016	0,039	0,977	0,116	0,013	Bal.

*Ges. Kohlenstoff (TC) - Durch thermische Analyse des Ausgangseisens, Rest durch Spektroskopie des gegossenen Endeisens.
Tabelle 2. Chemische Zusammensetzung der für den Guss verwendeten Schmelze



(a) Trocknen der geschichteten Kerne im Ofen
Abbildung 8. Behandlung der geschichteten Kerne



(b) Ansicht der Ober- und der Eindringsschicht

Testprogramm		
Ver-suche	Beschreibung der Versuche	Schichten
1	Interne Vergleichsstudie des Verhaltens von CG800 mit ausgewählten Schichten	A, II, III, IV & CG800
2	Bestätigungstest der Eigenschaften (Ergebnisse aus Versuch 1)	A & CG800
3	Vergleichsprüfung von CG800 mit anderen kommerziellen Schichten (extern)	CG800, A, B, C, D, E & F
4	Industrielle Erprobung von CG800 und einigen handelsüblichen Schichten in einer externen Gießerei.	CG800, A, C & F

Tabelle 3. Testprogramm mit ausgewählten Gussteilen

ERGEBNISSE

Die Ergebnisse wurden auf Grundlage des Verhaltens der Schichten hinsichtlich der Verringerung der Schichtdicke von zu Lamellengraphit entarteten Vermiculargraphit in der Randschalenzone der Gusstücke beurteilt. Für die Beurteilung wird das Feingefüge der Gusstücke aus verschiedenen Versuchen für den Vergleich von ACTICOTE CG800 (GC800) und anderen handelsüblichen Schichten für denselben Einsatzbereich hinzugezogen. Die Ergebnisse werden in der Reihenfolge gemäß Tabelle 3 vorgestellt. Jedoch wird der Hauptanteil des Feingefüges (Makrostruktur) in Abbildung 9 gezeigt. Es ist zu erkennen, dass der Hauptanteil des Feingefüges ein für Vermiculargraphit typisches Gefüge aufweist.

Aus den Abbildungen 10 und 11 geht hervor, dass die Schichten in Bezug auf die Verringerung der Dicke der Schicht mit entartetem Graphit bei unterschiedlichen Wanddicken ein unterschiedliches Verhalten aufweisen. Aus den Gefügeaufnahmen wird deutlich, dass die Dicke der Schicht mit Entartung von Vermicular- zu Lamellengraphit wanddickenabhängig ist. Der Fehler nimmt mit zunehmender Wanddicke zu. Dies stimmt mit den Befunden anderer Forscher überein und wird auf die längere Zeit bis zur Erstarrung und die langsamere Abkühlung in größeren Wanddicken [7, 12] zurückgeführt.

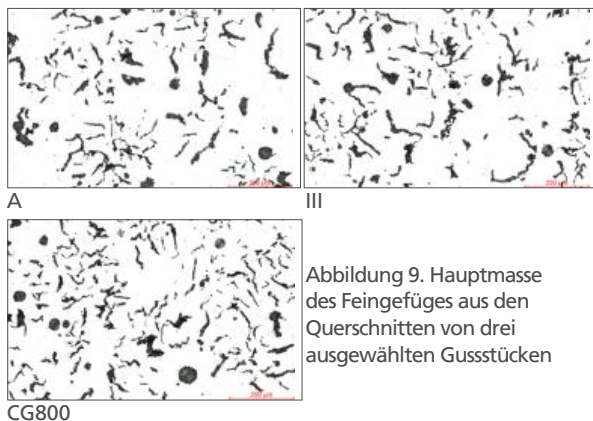


Abbildung 9. Hauptmasse des Feingefüges aus den Querschnitten von drei ausgewählten Gussteilen

Aus diesen Abbildungen ist auch zu erkennen, dass das Feingefüge im dünnen Querschnitt, $Z = 5$, kleine gleichmäßig verteilte Graphitkugeln ähnlicher Größe und Verteilung enthält. Hinsichtlich der Wirkung der angewandten Schichten ist kein Unterschied zu erkennen. Die zeigt, dass in diesem dünnen Querschnitt die Erstarrung schnell und gemäß der Erstarrungskinetik erfolgte. Für die Diffusion von Schwefel oder Sauerstoff in die Schmelze war die Zeit zu kurz.

Aus den Vergleichsstudien ergab sich, dass die Schichten A und CG800 im Vergleich zu den anderen Schichten bessere Eigenschaften aufweisen. Daher wurde mit diesen Schichten ein weiterer Versuch (Bestätigungstest) durchgeführt, um die Wiederholbarkeit und Reproduzierbarkeit des Verhaltens zu bestätigen. In diesem Stadium wurde auf die weitere Untersuchung des Z-Querschnitts (5 mm Dicke) verzichtet, weil die Schichten bei diesem Querschnitt keine Wirkung zeigen. Der weitere Bericht wird sich somit nur auf die Querschnitte mit 45 und 20 mm Dicke beziehen.

Die Ergebnisse der Bestätigungsprüfung der Schichten A und CG800 mit zwei Gefügeaufnahmen (1 und 2), gezeigt in Abbildung 12, bestätigen in beiden Aufnahmen ein zuverlässiges Verhalten. Bei beiden Schichten war die Schicht mit entartetem Graphit dünner als 200 μm . Jedoch wies CG800 gegenüber Schicht A eine bessere Wirkweise auf.

ACTICOTE CG800 und Schicht A wurden mehrmals gegen andere handelsübliche Schichten für denselben Einsatzbereich vergleichend geprüft; das Ergebnis eines ausgewählten Vergleichsversuchs ist in Abbildung 13 wiedergegeben. Wie zu erkennen ist, verhält sich ACTICOTE CG800 etwas besser als die Vergleichschichten. Weil jedoch bei diesem Versuch der Unterschied zwischen ACTICOTE und den anderen Schichten nicht sehr ausgeprägt war, wurde ein weiterer Bestätigungstest ausgeführt. Die Ergebnisse aus diesem Versuch sind in Abbildung 14 wiedergegeben. In Abbildung 14 wird das bessere Verhalten von CG800 gegenüber den anderen Schichten deutlich. Auf Grundlage dieser Versuchsergebnisse wurde entschieden, ACTICOTE CG800 in einer Gießerei, die in Großserie Zylinderblöcke und Zylinderköpfe aus Gusseisen mit Vermiculargraphit herstellt, zu testen.

ACTICOTE CG800 und drei andere im Handel befindliche Schichten (A, D und F) wurden auf die Kerne für die Herstellung von Wassermänteln und Zylinderköpfen aus GJV aufgetragen. Nach dem Abguss wurden Proben entnommen und die Entwicklung des Feingefüges in der Randschalenzone untersucht. Die Ergebnisse in Bezug auf die Entartung von Vermicular- zu Lamellengraphit sind in Abbildung 15 wiedergegeben. Aus der Darstellung geht deutlich hervor, dass bei der Herstellung von GJV-Gussteilen durch die Verwendung von ACTICOTE CG800 die Schicht mit Vermiculargraphit-Entartung deutlich verringert werden kann (unter 150 μm).

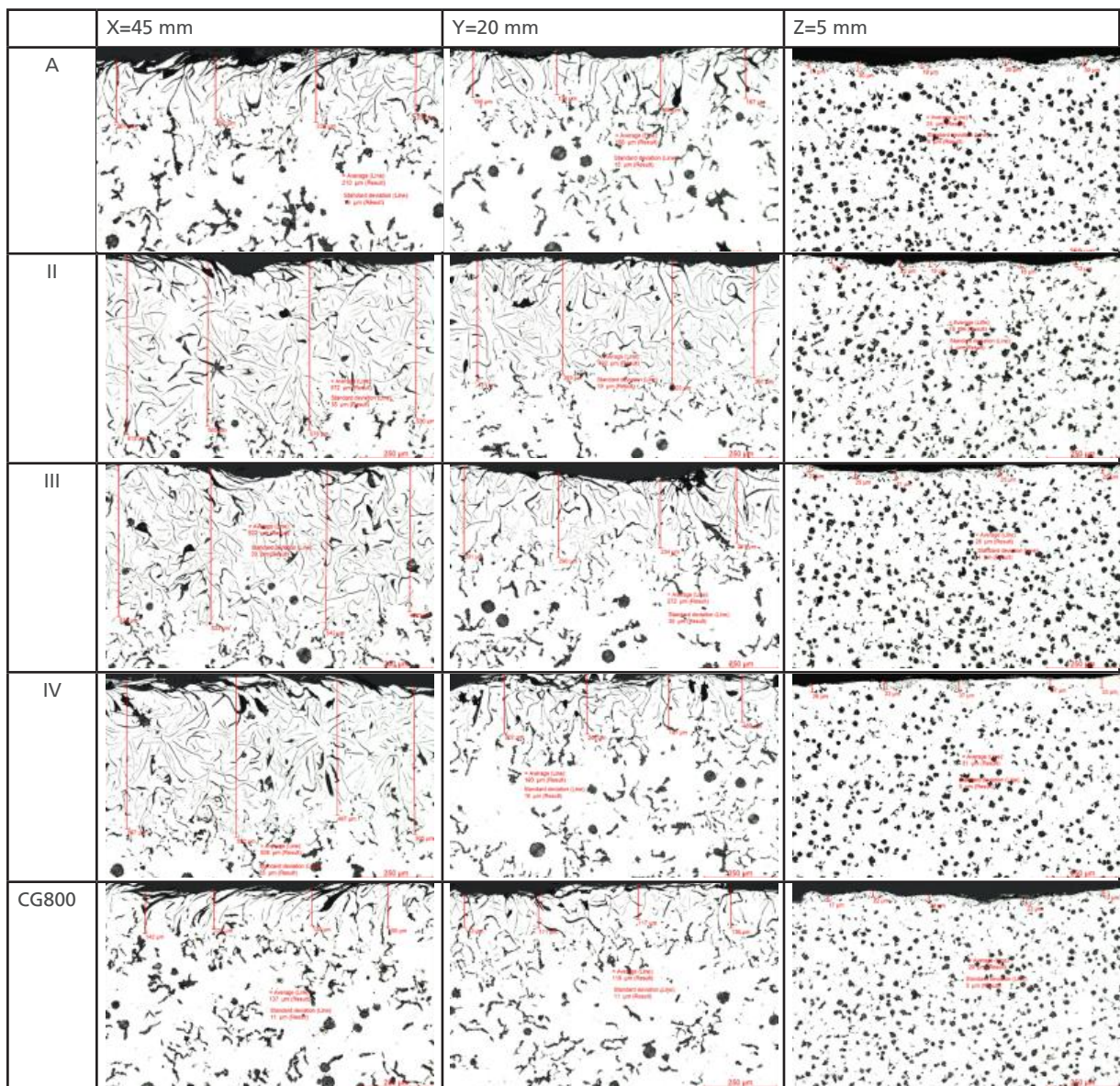


Abbildung 10. Feingefüge an den Grenzflächen von drei verschiedenen Querschnitten (X, Y, Z) von Gussstücken, die mit 5 unterschiedlichen Schichten (A, II, III, IV, CG800) auf den Kernen im Vergleichsversuch gegossen wurden.

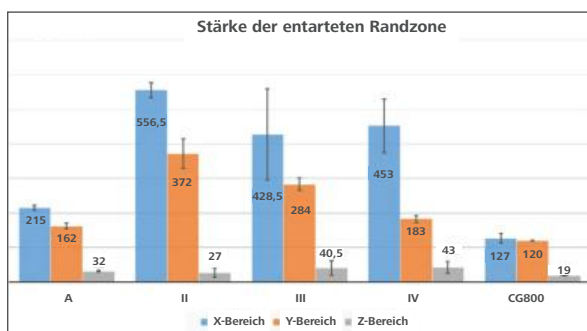


Abbildung 11. Auswirkung der Schichten auf die Schicht mit Entartung von Vermicular- zu Lamellengraphit in der Randschalenzone von unterschiedlichen Wanddicken der Gussstücke aus der Vergleichsstudie.

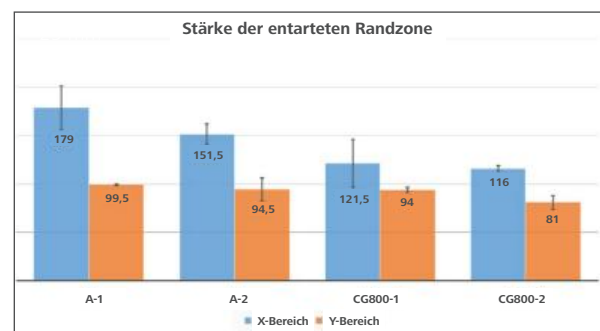


Abbildung 12. Auswirkung der Schichten auf die Schicht mit Entartung von Vermicular- zu Lamellengraphit in der Randschalenzone von X- und Y-Querschnitten der Gussstücke aus dem Bestätigungstest mit Schicht A und CG800 in zwei Wiederholungen (1 und 2).

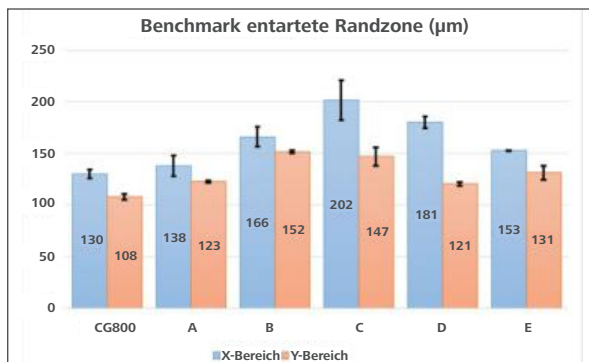


Abbildung 13. Auswirkung von CG800 und einigen ausgewählten handelsüblichen Schichten auf die Schicht mit Entartung von Vermicular- zu Lamellengraphit in der Randschalenzzone der X- und Y-Querschnitte der Gussstücke aus dem Vergleichstest.

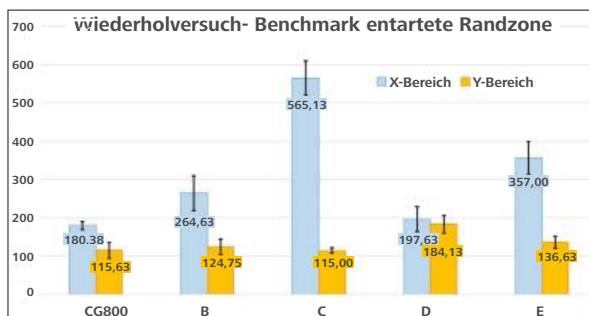


Abbildung 14. Auswirkung der handelsüblichen Schichten auf die Schicht mit Entartung von Vermicular- zu Lamellengraphit in der Randschalenzzone der X- und Y-Querschnitte der Gussstücke aus dem Benchmark.

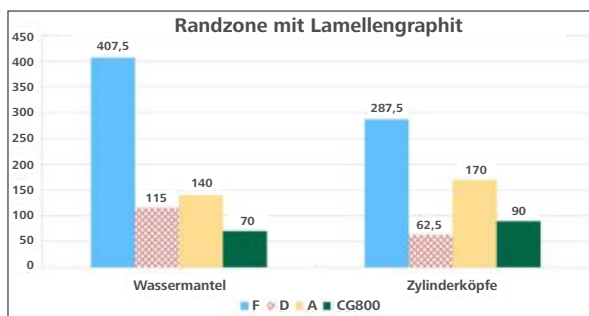


Abbildung 15. Auswirkung der handelsüblichen Schichten auf die Schicht mit Entartung von Vermicular- zu Lamellengraphit in der Randschalenzzone der Wassermantel- und Zylinderkopf-Gussstücke.

ZUSAMMENFASSUNG

In dieser Veröffentlichung wird der Fehler, die Entartung von Vermiculargraphit zu Lamellengraphit, beschrieben und die möglichen Ursachen für diesen Fehler werden diskutiert. Der Mechanismus der Fehlerentstehung wird ebenfalls angesprochen. Weiterhin wird festgestellt, dass das Vorkommen und das Ausmaß dieses Fehlers von der Wanddicke des Gussstücks abhängig sind. Zur Vermeidung des Fehlers wurden verschiedene Gießereischichten getestet, zu denen als Neuentwicklung von FOSECO auch ACTICOTE CG800 zählte. Die Wirksamkeit der verschiedenen Schichten zur Reduzierung der Schicht

von Vermicular- zu Lamellengraphit entartetem Graphit und dem Ausmaß, in dem dieses positiv beeinflusst werden kann, wird herausgestellt. Es wird ausführlich aufgezeigt, dass durch ACTICOTE CG800 das Auftreten dieses Fehlers signifikant verringert werden kann. Dies ist durch den minimalen Schwefelgehalt der Schlichte und deren isolierende Wirkung, verbunden mit im Vergleich zu anderen Schichten höherer Dichte, bedingt. ACTICOTE CG800 ist eine Schlichte auf Wasserbasis, die durch Tauchen auf die Kerne aufgebracht wird. Die Schlichte verfügt über stabile und zuverlässige Anwendungseigenschaften. Durch Auftragen von ACTICOTE CG800 in der richtigen Schichtdicke auf die Kerne wird die Entartung des Vermiculargraphits in der Randschalenzzone der Gussstücke bei verschiedenen Wanddicken auf das geringstmögliche reduziert. Dadurch werden die mechanischen Eigenschaften, wie Zug- und Dauerfestigkeit, in der Randschalenzzone der Gussstücke angehoben. Dieses mit der Folge, dass die Bearbeitungszugabe und der Energieverbrauch reduziert und die Kosten gesenkt werden können.

SCHRIFTUM.

1. W. Guesser, T. Schroeder and S. Dawson, *Production Experience with Compacted Graphite Iron Automotive Components*, AFS Transactions 01-071 (Page 1 of 11).
2. M. Holtzer, M. Górný and R. Daňko, *Microstructure and Properties of Ductile Iron and Compacted Graphite Iron Castings, The Effects of Mold Sand/Metal Interface Phenomena*, Springer 2015.
3. D.M. Stefanescu, S. Wills and J. Massone, *Quantification of Casting Skin in Ductile and Compacted Graphite Irons and Its Effect on Tensile Properties*, AFS Transactions 2009.
4. I. Riposan, M. Chisamera, S. Stan and T. Skaland, *Surface Graphite Degeneration in Ductile Iron Castings for Resin Molds*, ISSN 1007-0214 08/20 Volume 13, Number 2, April 2008 pp157-163.
5. BCIRA Broadsheet 234 – Flake graphite layers at the cast surfaces of cast nodular iron Castings.
6. S. Boonmee, D. M. Stefanescu, *Casting Management in Compacted Graphite Iron Part II: Mechanism of Casting Skin Formation*, AFS 2013.
7. International Standard ISO 16112 2006-08-01 – Compacted (vermicular) graphite cast iron – Classification.
8. U. C. Nwaogu, T. Poulsen, R. K. Stage, C. Bischoff and N. S. Tiedje, *New sol-gel refractory coatings on chemically-bonded sand cores for foundry applications to improve casting surface quality*, *Surface & Coatings Technology* 205 (2011) 4035-4044.
9. U. C. Nwaogu and N. S. Tiedje, *Foundry Coating Technology: A review*, *Materials Science and Applications*, 2 (2011) 1143-1160.
10. U. Nwaogu, T. Poulse, B. Gravesen and N. Tiedje, *Using sol-gel component as additive to foundry coatings to improve casting quality*, *International Journal of cast Metal Research* 2012 vol. 25 No.3.
11. B. Lundeen, *The Influence of Coatings on the Graphite Structure in the Rim Zone of Ductile Iron Castings* "DIS Annual Meeting, June 2, 2011, Dallas, Texas.
12. S. Boonmee, D. M. Stefanescu, *Casting Management in Compacted Graphite Iron Part I: Effect of Mold Coating and Section Thickness*, AFS 2013.
13. W. Panna, P. Wyzomirski and P. Kohut, *Application of hot-stage microscopy to evaluating sample morphology changes on heating*, *J. Therm. Anal. Calorim.* (2016) 125:1053-1059.
14. International Standard ISO 540:2008(E) – Hard coal and coke – Determination of ash fusibility.
15. S. Dawson, P. Popelar, *Thermal Analysis and Process Control for Compacted Graphite Iron and Ductile Iron*, SinterCast, Sweden, 2014.