



FOTOS UND GRAFIKEN: DYCOBOND

Die neue Werkstoff-Verbundtechnologie StahlKupferEdelstahl ermöglicht eine sichere konturnahe Forminnenkühlung.

Aluminium-Druckguss

Werkstoffverbund verhindert Wassereinbruch in die Form

Das Eindringen von Wasser aus dem Kühlkreislauf in das Druckgießwerkzeug ist ein gefürchtetes Problem und tritt besonders häufig in der Serienfertigung großformatiger Gussteile auf. Eine neue Werkstoffverbund-Technologie soll die Gefahr der Haarrissbildung im Formenstahl und somit des Wassereintrags minimieren.

VON GERHARD BETZ

Viele Druckgießereien haben das Problem plötzlich undichter Formeinsätze oder Formkerne, über die Kühlwasser in die Formkavität eindringt. Je großformatiger das Gussteil, desto ausgeprägter die Aufheizung der Formeinsätze und Forminnenkerne vor allem im Angussbereich der Gießform. Damit erhöht sich die Gefahr der Rissbildung und der hierdurch herbeigeführten Wasser-Leckage.

Bild 1 zeigt Makrospannungsriss im Konturbereich eines großen Forminnen-Einsatzes. Für den Trend der Gusstechnologie in Richtung Gigacasting bzw. Megacasting dürfte deshalb die Wasser-Innenkühlung ein Top-Thema werden.

Beim Thema Wasser-Leckage in die Gießform sind zwei Phänomene zu unterscheiden:

> Plötzlich in die Form eintretendes Kühlwasser, verursacht durch Haar-

risse und Brandrisse zwischen Kühlkanal und Formkavität.

> Schleichend in den Formhohlraum eintretender Wasserdampf, verursacht durch Ausgasungen aus Brandrisskapillaren, vorwiegend im Angussbereich.

Beim plötzlichen Wassereintritt muss der Kühlwasserstrang sofort abgestellt werden, schon um den sehr gefährlichen Wasserschlag zu verhindern. Das Weitergie-



Bild 1: Druckguss-Formeinsatz mit Rissen.

Ben ist aber ohnehin kaum mehr möglich, da die ungekühlten Bereiche sofort radikal verschleiben. Der betreffende Formeinsatz muss ausgetauscht werden. Jedoch ist das ständige Austauschen von Formeinsätzen oder Formkernen nicht nur eine teure Angelegenheit bezüglich der Formkosten, sondern stellt auch jedes Mal eine Unterbrechung und damit erhebliche Störung der Serienfertigung dar. Der Formabbau, der Austausch der Komponente und der Formaufbau erfordern einschließlich Formanwärmung mindestens 8 bis 12 Stunden, was die Auslastung der Gießzelle erheblich verschlechtert.

Der schleichend eintretende Wasserdampf führte über Jahrzehnte bis heute zu einer überwiegend nicht erkannten Qualitätsverschlechterung der Gussteile. Im Eingussbereich, d. h. Amboss, Angussplatten und Gießläufen, sowie im Aufschlagbereich der Schmelze an der Formkontur entstehen wegen der sehr hohen thermischen Wechselbelastung des Formstahls recht frühzeitig Brandrisse entlang der Lauffläche der Aluminiumschmelze. Inzwischen kann man nachweisen, dass während der Sprühkühlung (Sekundärkühlung) Wasser durch Kapillarwir-

kung tief in die Brandrisnetzwerke eindringt. Spätestens beim Einschuss der Schmelze erfolgt eine Ausgasung aus den Brandrisen in Form von Wasserdampf, wobei Letzterer sich mit der Schmelze vermischt und Oxidationen, also Oxidhäute bildet, die sich wiederum zerfetzt im Gussgefüge wiederfinden. Dies verschlechtert die Gussqualität, wobei das Ausmaß starken Schwankungen unterworfen ist.

Ursachen des Wassereintritts in die Formkavität

Der gehärtete Warmarbeitsstahl der Druckgießformen ist nur bedingt wasserkühlbar. Diesen Hinweis konnte man dem Werkstoffdatenblatt für den 1.2343 der Thyssen Edelstahlwerke AG Krefeld von 1990, Druckschrift 1122/5, entnehmen. Heute fehlt dieser wichtige Hinweis leider zumeist in den Werkstoffdatenblättern. Folge dieser Schwäche des für Druckgießformen unverzichtbaren Stahls ist eine erhöhte Rissanfälligkeit bei der Anwendung von Wasserkühlungen. Bemühungen verschiedener Stahlhersteller, diesen Schwachpunkt durch teure Stahl-Sonder-

qualitäten zu beseitigen, zeigen bis heute nicht den gewünschten Erfolg, da die Ursache für die Rissanfälligkeit im Grundtypus des Warmarbeitsstahls liegt. Nachstehend werden folgende Risstypen unterschieden:

Kühlkanal-Haarrisse

Diese Risse entstehen an der Innenfläche des Kühlkanals infolge der durch das Kühlwasser erzeugten, hohen thermischen Spannungen im gehärteten Stahl. Durch Überlagerung mit Eigenspannungen im Stahleinsatz selbst infolge der Lochspannung, von Querschnittsunterschieden (mechanisches Trägheitsmoment) und Durchbiegungsspannungen in der Form entstehen die Risse meist an bevorzugten Stellen der Kanalinnenflächen. Bei Steigkühlungen entstehen sie häufig im Radienbereich des Sacklochendes. Bei Umlaufkühlungen bevorzugt im Bereich der geringsten umgebenden Stahlwanddicken. Durch das Ausreiben der Kühlbohrungen kann man theoretisch eine gewisse Verzögerung erreichen, praktisch wird dieser Vorteil jedoch durch die Stahlkorrosion in den Wasserkanälen wieder aufgehoben.

Von den an der Innenwand der Kühlkanäle zahlreich entstehenden Haarrissen wachsen diejenigen mit den besten Wachstumsbedingungen Schritt für Schritt durch die Stahlwand. Man kann dem durch eine Erhöhung der Stahlwanddicke zwischen Kühlkanal und Kavität entgegenwirken. Der Preis ist jedoch hoch, denn die Kühlwirkung verschlechtert sich natürlich mit dem größeren Abstand.

Makrospannungs-Haarrisse

Diese meist sehr ausgedehnten Haarrisse (s. Bild 1) entstehen durch eine makroskopische Spannungsüberbeanspruchung. Ausgangspunkte liegen häufig in Radienbereichen oder in Zonen abrupter Querschnittsänderungen, da sich hier den

YOUR PROFESSIONAL
PARTNER FOR ALUMINUM
CASTING FILTERS

CASTING FILTERS • GIESSFILTER • FILTRES DE COULÉE • FILTRO MODELO



ASTI Gießereigeräte GmbH

Tel: +49 (0)7261 197 27 -0

Fax: +49 (0)7261 197 27 -29

info@asti-filter.de | asti-filter.de

ASTi



Bild 2: Wasser-Kühlkanal StahlKupferEdelstahl.

vorhandenen thermischen Spannungen geometriebedingte mechanische Spannungen überlagern. Wird ein Formeinsatz konturnah massiv im gesamten Einsatz mit kaltem Wasser gekühlt, führen diese Makrospannungen teils sehr frühzeitig zu den genannten Makro-Haarrissen und damit auch zu einer Wasser-Leckage.

Brandriss-Haarrisse

Ausgangsbereich dieser Haarrisse sind an der Kavitätsoberfläche entstehende Brandrisse, welche durch Überhitzung der Stahloberfläche entstehen, und zwar bevorzugt und beschleunigt in Kombination mit einer im Zyklusturnus durchgeführten Abschreckkühlung mittels Wassersprühung (Sekundärkühlung). Die hierbei entstehenden thermischen Zug-Druck-Wechselbeanspruchungen führen sehr schnell zu plastischen Verformungen in der Stahloberfläche und damit zur Rissbildung. Zusätzlich unterstützt wird die Brandrissbildung durch chemische Reaktionen zwischen dem flüssigen Aluminium und dem Formenstahl, wenn das flüssige Aluminium auf eine überhitzte Kavitätsfläche trifft und sich metallchemische Verbindungen (intermetallische Phasen) zumindest zu bilden beginnen.

Nach außen erscheinen die Brandrisse meist als sich ständig vergrößernde, deutliche Rissfurchen, im Rissgrund entsteht jedoch ein Haarriss, der je nach den herrschenden Randbedingungen auch Schritt für Schritt im Zyklusturnus durch

den Stahl wachsen kann. Auf diesem Wege können Brandrisse auch die Wasser-kühlkanäle erreichen.

Brandriss-Wasserdampfbildung

Beim Sprühen dringt das Wasser in Brandrisse und auch in die Kapillaren der Brandriss-Haarrisse ein und dampft vor dem Schließen der Form nicht mehr vollständig aus, auch wenn die Temperatur des Formeinsatzes deutlich über dem Verdampfungspunkt von Wasser liegt. So dringt Wasserdampf auch während der Wartezeit der geschlossenen Form bis zum Gießbeginn sowie während der ersten und auch zweiten Gießphase in die Formkavität und auch durch die noch flüssige Schmelze ein. Es bilden sich Bläschen, Oxidhäute und Oxidfetzen, die sich

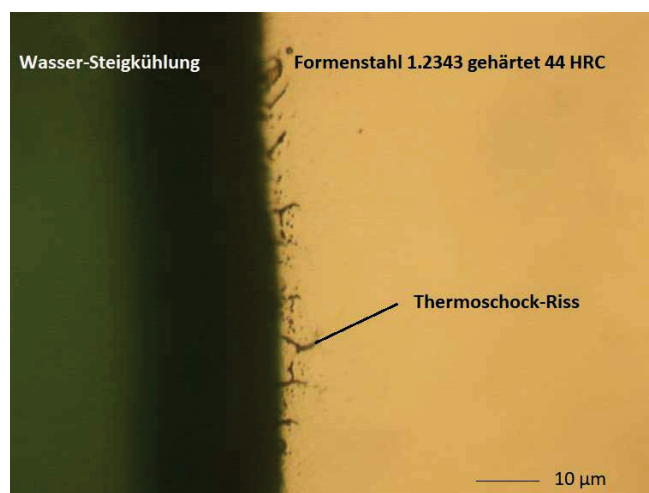
im Gussgefüge wiederfinden. Dieses Qualitätsproblem wurde lange Zeit nicht erkannt, da man annahm, dass aus dem heißen Formeinsatz kein Wasserdampf mehr entweichen könne. Die Wasserdampfbildung behindert und unterläuft auch die Evakuierung des Formhohlraumes, was sich wiederum nachteilig auf die Gussqualität auswirkt.

Abschaffung der Wasser-Sprühkühlung (Sekundärkühlung)

Mit der Wasser-Sprühkühlung (Sekundärkühlung) stand dem Druckguss in Kombination mit dem Trennmittelauftrag von Beginn an ein wichtiger Helfer bereit, um den Thermohaushalt in Kombination mit der Innenkühlung besser beherrschen zu können. Die Wasser-Sprühkühlung hat mit der Robotertechnik und optimierten Sprühdüseneinsätzen in den letzten Jahrzehnten einen großen Aufschwung erlebt, konnte man doch die oben beschriebenen Schwächen in der Innenkühlung ganz gut kompensieren. Aber der Preis dieser Sekundärkühl-Praxis war und ist sehr hoch, denn die schockartige Wassersprühung zerstört die Kavitätsflächen der Gießformen durch Brandrissbildung, kann sogar zu Wasserschlägen in der Form führen und verursacht Qualitätsprobleme bei den Gussteilen.

In jüngster Zeit akzeptieren hauptsächlich die Endabnehmer der meisten Aluminium-Druckgussteile, die Automobilhersteller, die Sekundärkühlung nicht mehr. Sie verlangen den Minimal-Trennmittelauftrag, bei dem eine zusätzliche Formabkühlung praktisch vermieden wird, und wollen damit eine erhebliche Verlängerung der Formlebensdauer und auch eine Vermeidung emissions- und immissionsschädlicher Wasser-Trennmitteldämpfe erreichen. Weitere Argumente sind Energie- und Wassereinsparungen sowie die erhöhten Anforderungen an die

Bild 3: Stahlversuchsprobe mit Thermoschock-Rissen.



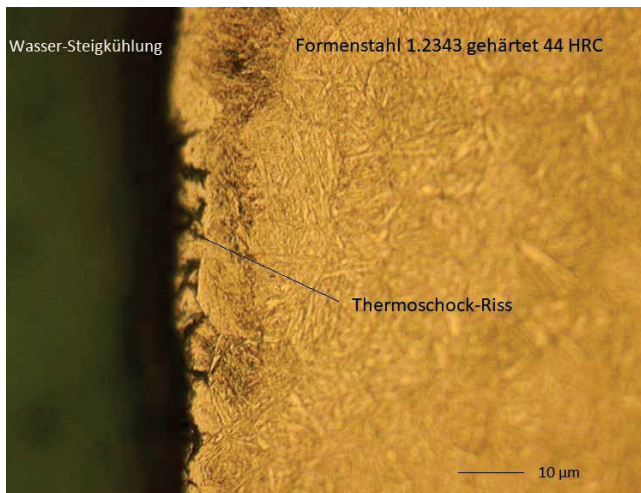


Bild 4: Stahlversuchsprobe mit Thermoschock-Rissen, geätzt.

Gussqualität. Die Druckgussbranche stand angesichts der Problematik, dass der Formenstahl nur bedingt wasserkühlbar ist, plötzlich vor einer zusätzlichen, riesigen Herausforderung, denn nun musste die gesamte Kühlleistung durch die Innenkühlung erfolgen, wollte man Überhitzungsschädigungen vermeiden und den Zyklus nicht verlängern.

Ein Lösungsansatz: Wasser-Kühlkanäle im Werkstoffverbund StahlKupferEdelstahl

Der Grundgedanke und damit Ausgangspunkt für die Kombination von Stahl und Kupfer im Stahl-Formenbau für Gießformen ist die konturnahe Kühlung durch eine im Innern des Stahls sitzende und mit dem Stahl metallisch durch Diffusion verbundene Kupfereinlage (zwanzigfache Wärmeleitfähigkeit des Stahls) zur Verminderung oder gar Vermeidung überhitzter Kavitätsbereiche. Der Vorteil dieser Konzeption ist, dass die Stahlform als solche erhalten bleibt.

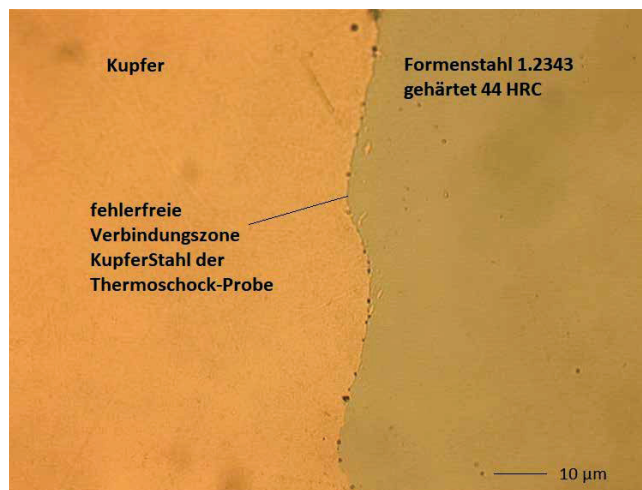
Diese völlig neue, innovative Formenbautechnologie wurde ab 1996 auf der Grundlage eigener patentierter Erfindungen schrittweise sowohl im Aluminiumdruckgießen als auch im Kunststoff-Spritzgießen erprobt und dann in der Serienfertigung eingesetzt. Neben der erhöhten Kühlwirkung zur Beseitigung oder Verminderung von HotSpots hat sich bei den Anwendungen im Aluminium-Druckgießen ein weiterer, sehr wesentlicher Vorteil des metallischen Werkstoffverbundes StahlKupfer gezeigt: in den Wasserkühlkanälen schützt das Kupfer offensichtlich den gehärteten Stahl vor einer Thermoschock-Haarrissbildung, wenn die Kanäle im Innern mit einer dickwandigen Kupferschicht ausgekleidet werden (Bild 2).

Diese Beobachtung konnte durch Thermoschockexperimente an zylindri-

schen Stahlproben ($d = 44 \text{ mm}$) mit einer Innen-Sacklochsteigkühlung ($d = 20 \text{ mm}$) nachgewiesen werden. Hierzu wurden die auf 44 HRC gehärteten Stahlproben aus 1.2343 auf 600 °C erwärmt, dem Ofen entnommen und sofort mit einer Wassersteigkühlung im Innern schockartig abgekühlt: einmal ungeschützt (Probentyp 1) und im Vergleich geschützt durch eine innere 2 mm dicke Kupferdickschicht (Probentyp 2). Diese Kupferdickschicht war diffusiv mit dem Stahl verbunden.

Schon nach 3 Schockzyklen zeigte Probentyp 1 zahlreiche Mikrorisse (5 bis max. 10 µm) an der Stahlinnenfläche der Wasser-Steigkühlung (Bilder 3 und 4). Probentyp 2 zeigte hingegen zum gleichen Zeitpunkt überhaupt keine Mikrorisse, weder im Stahl noch im Kupfer. Bild 5 zeigt einen Ausschnitt aus der Verbindungszone Stahl-Kupfer der mit 2 mm Kupfer ausgekleideten Stahlprobe. Der gehärtete Stahl bleibt völlig intakt. Auch die Kupferschicht auf dem Stahl bleibt rissfrei (Bild 6). Interessant ist auch, dass die Abkühlzeit von 600 °C auf 50 °C des Probentyps 2 etwa 10 bis 15 % kürzer ist als diejenige des Probentyps 1.

Bild 5: Stahlversuchsprobe mit Kupferdickschicht ohne Thermoschock-Risse.



Die Sandwichverbunde StahlKupferEdelstahl und StahlKupferEdelstahlKupfer

Praxiserfahrungen an Ambosseinsätzen und Angusplatten zeigten in einzelnen Fällen, dass von außen einlaufende Risse trotz des Kupfers bis zur Wasserkühlung durchlaufen können. Zur Lösung dieses Problems wurde der Werkstoffverbund StahlKupfer durch eine Edelstahlschicht erweitert zu einem Sandwichverbund StahlKupferEdelstahl und darüber hinaus für bestimmte Anwendungen zu einem Sandwichverbund StahlKupferEdelstahlKupfer (s. Bild 2). Bild 7 zeigt einen Praxisfall einer Angusplatte aus einer Druckgießform eines großformatigen Gussteils: ein von außen eingelaufener Riss gelangte in den mit dem Stahl verbundenen Kupfermantel und verlief sich im weichen Kupfer. Die Edelstahlschicht von 1,5 mm Dicke verhinderte ein weiteres Vordringen des Risses, sodass die Wasserkühlung dicht blieb. Die mikroskopische Untersuchung wurde an dem nach 70 000 Schuss ausgeschossenen Formeinsatz durchgeführt.

Die simulierte „Warmwasserkühlung“

Thermische Analysen und Simulationsstudien haben ergeben, dass die Edelstahlschicht noch eine weitere, sehr wichtige Aufgabe übernimmt: sie führt zu einem Zustand, der dem einer simulierten „Warmwasserkühlung“ entspricht, obwohl mit Wasser bei Raumtemperatur gekühlt wird. Durch die verhältnismäßig geringe Wärmeleitfähigkeit des Edelstahls von etwa $15 \text{ W/K} \cdot \text{m}$ entsteht ein steiler Temperaturanstieg innerhalb des Edelstahls von der Wasser- zur Kupferseite. Die Berührungstemperatur des Kupfers zum gehärteten Stahl ist somit abhängig von der Wanddicke des Edelstahls und liegt etwa

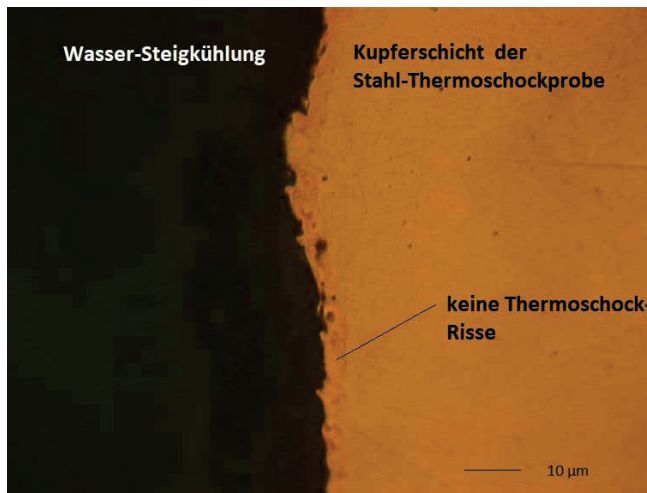


Bild 6: Stahlversuchsprobe mit Kupferdickschicht ohne Thermochockrisse im Kupfer.

Mecobond kann dies mittels konturfolgender Kupfereinlagen erreicht werden, die direkt mit Kühlwasser in Verbindung stehen. Bei Dycobond ergibt sich durch die relativ dichte Anordnung von kupferummantelten Steig- oder auch Umlaufkühlungen ebenfalls eine große Kühlfläche.

Es ist nicht zureichend, nur den Abstand zwischen der Kühlbohrung und der Heizfläche der Kavität beim Auslegen einer Kühlung zu betrachten, da die Innere Kühlfläche dabei völlig vernachlässigt wird. In der Literatur und unter Fachleuten wird leider bis heute der Focus nur auf den Abstand der Kühlkanäle zur Heizfläche gelegt und die Bedeutung der Inneren Kühlfläche nicht erkannt. Da die Kühlkanäle mit 10-15 mm Durchmesser bei der üblichen Anordnung der Kühlkanalsysteme nur einen effektiven Kühlflächenanteil von 10 bis 25 % der Heizfläche ergeben, liegt der Wirkungsgrad der Kühlung entsprechend niedrig, sodass man auf diesem Wege Brandrisse bei großformatigen Formeinsätzen und Formkernen nicht verhindern kann.

Bild 7: Rissabsorption im Formeinsatz durch Edelstahl-Sperrschicht.



60 bis 90 °C oberhalb der Wassertemperatur. Entsprechend geringer fallen damit die thermischen Spannungen im gehärteten Stahl aus. So vermindert man auch bei einer konturnahen recht massiven Wasserkühlung die Gefahr, dass die gefürchteten Makrospannungs-Haarrisse entstehen.

Wie man Brandrisse ganz vermeiden kann

Unsere Erfahrungen mit den thermisch am höchsten beanspruchten Angussplatten zeigen, dass eine Vermeidung von Brandrissen durch eine hocheffiziente und gleichförmige, einigermäßen konturfolgende Innenkühlung durchaus möglich ist. Dies gelingt, wenn man die zeitweise Erwärmung der Kavitätsfläche auf 350-400 °C begrenzt, selbstverständlich unter Ausschluss der Wassersprüh-Sekundärkühlung. Vor dem Schuss sollte die Kavitätstemperatur (im Kühlbereich) der Form zwischen 100 und 150 °C liegen. Ist die

Innere Kühlfläche im Verhältnis zur gegenüberliegenden Heizfläche groß genug, im Idealfall zwischen 80 und 100 %, und liegt die Stahlwanddicke bei max. 20-25 mm, so bleibt der vorübergehende Anstieg der Formwandtemperatur im Gießzyklus unterhalb von 350 bis 400 °C.

Da es nur noch schwellartige Veränderungen von Druckspannungen in der Stahlhaut gibt, wird der Stahl in diesem Temperaturfensterbereich mit zyklischen Veränderungen zwischen 100 und max. 400 °C nicht mehr geschädigt, jedenfalls nicht im Rahmen der unter optimalen Bedingungen für das Aluminium-Druckgießen anzusetzenden Lebensdauer von max. 250 000 Zyklen. Auch metallchemische Reaktionen laufen hier nicht mehr ab.

Der inneren Kühlfläche kommt dabei eine Schlüsselfunktion zu. Bei der Stahl-Kupfer-Bauweise kann die Verbindungsfläche Stahl-Kupfer als Kühlfläche angesetzt werden. Hierdurch erklärt sich der hohe Wirkungsgrad der Kühlwirkung. Bei

Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass mit der neuen Bauweise Stahl-Kupfer-Edelstahl eine Wasser-Leckage in die Form unterbunden werden kann. Die gefürchteten Kühlkanal-Haarrisse gibt es nicht mehr und auch die Brandrisse sind bei einer genügend großen inneren Kühlfläche und einer konturnahen Anordnung vermeidbar. Letztere selbstverständlich bei einem Minimal-Trennmittelauftrag, also dem völligen Verzicht auf die Sekundärkühlung.

Da der Thermohaushalt zu etwa 70-75 % an den Gießproblemen beim Druckguss beteiligt ist und die Themen Energiepreise, Wasserknappheit, Ressourcenschonung und Umwelt ein immer größeres Gewicht bekommen, kann man sicherlich die Prognose wagen, dass trotz des großen Kostendrucks die Investitionsaufwendungen in die Druckgießform zur Verbesserung des Thermohaushaltes künftig steigen werden. Dies gilt ganz besonders für die Großformen der Chassis- und Strukturteile wie beispielsweise den Federbeinaufnahmen und sicherlich auch für die neuerdings im Rampenlicht stehenden Großgussteile unter den Stichworten GIGACASTING oder MEGACASTING.

www.mecobond.de, www.dycobond.de

Dr.-Ing. Gerhard Betz, Geschäftsführender Gesellschafter, Dycobond GmbH, Mülheim an der Ruhr.