

Innovation StahlKupferVerbund-Form: Der Weg zum neuen Druckguss führt über die Forminnenkühlung

| Autor Gerhard Betz

Eine Energieeinsparung um 50 %, eine Verdoppelung der Formlebensdauer, ein umweltfreundlicher Gießprozess ohne Wasser-Trennmittel-Sprühkühlung und last but not least eine Zyklusverkürzung um 30 % sind die anspruchsvoll formulierten, aber zur Zukunftssicherung absehbar notwendigen Kenngrößen für den neuen, nachhaltigen Fertigungsprozess des Druckgießens. Zur Verwirklichung dieser Aufgabe ist die konsequente Einführung eines konturnahen Thermomanagements erforderlich, bei dem u. a. Kühlung und Temperierung in einem einzigen Kühlkanalsystem auf Wasserbasis erfolgen werden. Dies bedeutet eine Abkehr vom bisherigen wärmetechnischen Prinzip des großflächigen und großräumigen Wärmeabflusses sehr großer Wärmemengen aus der Form in den Formrahmen, die Aufspannplatten, die Maschine und damit vollständig an die Umgebung. Voraussetzung für die Verwirklichung des konturnahen Thermomanagements ist die Einführung einer Technologie zur hocheffizienten Forminnenkühlung und -temperierung. Hier kann die innovative StahlKupferVerbund-Form nach der Dycobond®-Technologie in Kombination mit einer sensor- und rechnergestützten Algorithmen-Thermosteuerung zum Einsatz kommen. Die Formtemperierung wird zukünftig bereichsweise auf unterschiedlichen Niveaus gefahren werden und insgesamt deutlich niedriger liegen als heute, was große Vorteile in der Produktivität, im störungsarmen Gießablauf, in der Lebensdauer der Gießform und in der Gussqualität erbringen wird.

Schlüsselwörter: Druckguss, Formkühlung, Forminnenkühlung, Werkzeugeinsatz, Werkzeugstandzeit, Werkstoffverbund

Innovation SteelCopperComposite-Mould: The Path to the New Die Casting Process Leads via the Internal Cooling of the Mould

An energy saving of 50 %, a doubling of the mould life, an environmentally friendly casting process without water release agent spray cooling and last but not least a cycle shortening by 30 % are the sophisticatedly formulated parameters that are necessary to secure the future for the new, sustainable manufacturing process of die casting. To achieve this task, the consistent introduction of a close-to-contour thermal management is necessary, in which, among other things, mould cooling and mould tempering will be done in a single water-based cooling channel system. This means a departure from the previous thermal principle of large-scale heat drain from the mould into the mold frame, the clamping plates, the machine and thus completely to the environment. A prerequisite for the implementation of the contour-oriented thermal management is the introduction of a technology for highly efficient internal cooling and tempering. Here, the innovative SteelCopperComposite-Mould (Dycobond®) can be used in combination with a sensor and computer-supported algorithm-thermal control. In the future, mould tempering will be carried out at different levels in some areas and overall will be significantly lower than today, which will bring great benefits in productivity, in the trouble-free casting process, in the life of the mould and in the casting quality.

Keywords: die casting, mould cooling system, internal film cooling tooling insert, tool life, composite material

Aufgabenstellung

Zykluszeit, Ausbringen und störungsfreies Gießen waren bisher wichtige Erfolgskriterien für die Druckgussfertigung. Jetzt kommen Energieeffizienz, Ressourcenschonung

und Umweltverträglichkeit als harte Faktoren hinzu. Und damit rückt der Energie- und Wärmehaushalt des Druckgießprozesses in den Mittelpunkt der Betrachtungen und Lösungsansätze für einen nachhaltigen Druckguss.

Bei der Energiebilanzierung der bisherigen Druckgussfertigung fällt auf, dass zur Erwärmung und zum Warmhalten der Form (Temperierung auf etwa 150 - 230 °C) sehr große Wärmemengen aufzubringen sind, die komplett als Wärmeverlust zu verbuchen sind. Dies ist der mit Abstand größte Brocken der Energieverluste. Des Weiteren geht die freiwerdende Erstarrungswärme, zuvor als Schmelzwärme ins Aluminium eingebracht, ebenfalls vollständig verloren. Und drittens sind die Energieaufwendungen zur Druckluftherzeugung für die Wassersprühkühlung und das Trockenblasen als Energieverlust zu verbuchen. Ein vierter Energieverbrauch entsteht durch die großen Absaugeinrichtungen, um die Aerosolgemische aus Wassernebel und Formtrennmitteln so gut es geht aufzufangen und zu entsorgen. Diese vier Energieverlustquellen hängen mit dem bis heute praktizierten Thermomanagement des Druckgießprozesses zusammen.

Beim Kriterium Ressourcenschonung betrachten wir hier die Lebensdauer der Gießform, die als Dauerform aus Stahl einer sehr aufwendigen Herstellung bedarf und in den Fertigungskosten der Gussteile mit etwa 20 bis 30 % zu Buche schlägt. Die bis heute zusätzlich zur Innenkühlung praktizierte Wassersprühkühlung (Sekundärkühlung) beschädigt durch die Bildung von Brandrissen die Formkavität und verkürzt hierdurch die Lebensdauer der Gießform extrem. So liegt die Lebensdauer von Druckgießformen zwischen 80.000 und 180.000 Gießzyklen, abhängig von Gussgewicht, Wanddicken, 3D-Geometrie und anderen Faktoren. Ohne Wassersprühkühlung, d. h. mit einem neuen Thermomanagement zur Vermeidung von Hot Spots, könnte man die doppelte Lebensdauer erreichen.

Zur Umweltverträglichkeit werden zukünftig erhöhte Anforderungen gestellt. Auch hier steht die Wassersprühkühlung mit dem Wasser-Trennmittel-Gemisch im Mittelpunkt der Betrachtungen. Verwirklicht man einen Minimalmengen-Trennmittelauftrag und verzichtet man also auf die Sekundärkühlung komplett, ist man hier einen großen Schritt weiter. Auch dieses Kriterium hängt also mit dem Thermomanagement zusammen.

Problemanalyse und Lösungsweg

Die Problemanalyse zeigt, dass es bisher nicht gelungen ist, im Innern der Dauerform ein hochwirksames Thermomanagement so zu betreiben, dass einerseits ein kurzer Zyklus erreicht wird, in der Form jedoch keine Hot-Spot-Probleme auftauchen. Der wesentliche Grund für dieses Unvermögen liegt im Kühlungsparadoxon des Formenstahls. Dieses besagt, dass der Warmarbeitsstahl einerseits nicht wasserkühlbar ist, andererseits jedoch auf eine Wasser-Innenkühlung nicht verzichtet werden kann. Abstand halten ist der Kompromiss, was dazu führt, dass in Konturnähe oft nicht wirksam gekühlt werden kann. Rückt man mit der Kühlung zu nahe an die Kontur, bilden sich im Kühlkanal Haarrisse, die sich durch den Stahl bewegen und dann einen Wasserschlag verursachen. Bemerkbar macht sich dieses Manko durch den Abstand der Formkonturen besonders im Anguss- und Gießlaufbereich, also in Bereichen, in die sehr hohe Wärmeströme eingetragen werden. Weitere Hot-Spot-Zonen sind alle „Nasenbereiche“, in denen die Formkontur örtlich in das Gussteil eintaucht. Hier kann man bisher meist gar keine Kühlung unterbringen. Es fehlt also an einer hochwirksamen, und wo erforderlich, auch konturnahen Innenkühlung

Die StahlKupferVerbund-Form (Dycobond®-Form)

Ein interessanter Lösungsweg für eine hochwirksame Innenkühlung ist der Stahl-KupferVerbund, eine innovative Werkstofftechnologie, speziell entwickelt für kühltechnische Anwendungen in Dauerformen. Die Dycobond®-Form ist mit ihrer in der Stahlform eingebetteten, ausgeklügelten Kombination aus Kupfer, Edelstahl und Kühlwasser ein wichtiger Schritt in Richtung einer hocheffizienten Innenkühlung.



Bild 1: Dycobond® -Formeinsatz mit Stahl-KupferVerbundkühlung in Sandwichbauweise Kupfer-Edelstahl-Kupfer

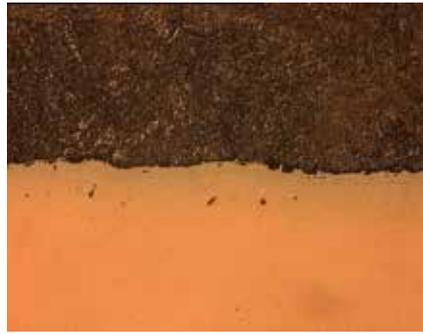


Bild 2: Dycobond®-Formeinsatz. Stahl1.2343 gehärtet oben und Kupfer unten. Gefügeaufnahme 200fach

Die sprunghafte Verbesserung der Kühlungseffizienz ergibt sich durch die vergrößerte Kühlfläche sowie den verringerten Abstand der Kühlung zur heißen Kavität (konturnaher Kühlung). Wodurch wird das möglich? Eigene Thermoschock-Untersuchungen sowie die inzwischen über vier Jahre vorliegenden betrieblichen Erfahrungen mit einer Vielzahl von Formeinsätzen, Schiebern und Formkernen zeigen, dass die gefährlichen und gefürchteten Kühlkanal-Haarrisse selbst unter extremen Kühlbedingungen im konturnahen Bereich nicht mehr auftreten, wenn sich zwischen dem Kühlwasser und dem gehärteten Formenstahl eine Kupferdickschicht befindet. Eventuell von außen (der Kavität oder der Rückseite) in den Formeinsatz eindringende Risse werden vom Kupfer oder einem Sandwich aus Kupfer /Edelstahl abgefangen, so dass der Riss nicht bis zur Wasserkühlung durchdringen kann.

Das Bauprinzip nach der Dycobond®-Technologie ist eine Stahlform, die im Innern in ausgewählten räumlichen Bereichen hochwärmeleitende Kupfereinlagen aufweist (Bild 1), wobei das Kupfer diffusiv mit dem Stahl verbunden ist (Bild 2), was einen ungehinderten Wärmedurchgang gewährleistet. Innerhalb des Kupfers kann sich zusätzlich ein Edelstahl-Liner in Sandwichbauweise als Schutzbarriere gegen von außen eindringende Risse befinden, der ebenfalls diffusiv mit dem Kupfer verbunden ist (Bild 3). Dringt ein solcher Riss ein, so verläuft er sich im duktilen Kupfer (Bild 4). Im Innern läuft das Kühlwasser entlang der inneren Kupferschicht oder direkt am Edelstahl, wenn größer aufgebohrt wird wie beispielsweise bei Steigkühlungen.

Im Dycobond®-Formeinsatz wird die diffusive Verbindung des Kupfers mit dem Stahl während des ohnehin erforderlichen Vakuum-Härtungsprozesses erzeugt. Eine Größenbegrenzung des Formeinsatzes gibt es nicht. Als Formstähle werden die bewährten Warmarbeitsstähle vom

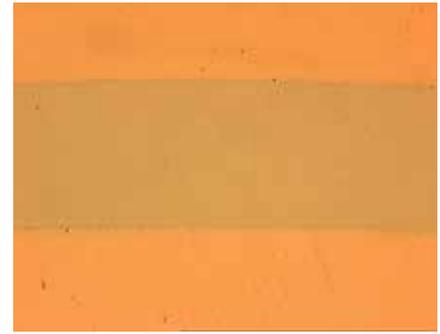


Bild 3: Dycobond® -Formeinsatz in Sandwichbauweise. Kupfer oben, Edelstahl Mitte, Kupfer unten. Gefügeaufnahme 50fach



Bild 4: Dycobond®-Angussplatte (Ausschnitt) in Sandwichbauweise mit Makroriss im Stahl. Kühlkanal oben links, gerissener Formeinsatz unten rechts

Typ 1.2343 und 1.2344 verwendet. Geeignet sind auch die meisten Sonderstähle. Die fertigen SKV-Formeinsätze können spannungsarm gegläht, beschichtet und auch geschweißt werden. So kann man problemlos während der Bemusterung einer Form Fertigungsschweißungen direkt am Gießkanal durch WIG oder Laser durchführen, ohne Undichtigkeiten der darunterliegenden Wasserkühlung befürchten zu müssen.

Die hier vorgestellte Innovation ist für alle Dauerformen (Druckgießformen, Kokillengießformen, Spritzgießformen) geeignet und dürfte für großformatige Strukturussteile und Batteriegehäuse von besonderem Interesse sein. Außer der Formkavität selbst liegt einer der Schwerpunkte im Angussbereich, da dieser den mit Abstand größten Kühlaufwand erfordert, zyklusrelevant ist und die Anguss-einsätze und -platten in hohem Maße rissgefährdet sind. Normalerweise werden beide Seiten fest und beweglich als SKV-Angussplatten ausgestattet. Bild 5 zeigt eine Angussplatte in Schnittdarstellung. Die beiden quer unter dem Gießlauf verlaufenden Kühlungen sind mit einer Kupfer-Edelstahl-Kupfer Sandwichstruktur umhüllt, verdoppeln hierdurch die Kühlwirkung und verhindern auch die Entstehung eines von der Kühlung ausgehenden Haarrisses. Ein möglicherweise vom Gießlauf eindringender Riss wird durch die äußere Kupferhülle absorbiert (Bild 4).

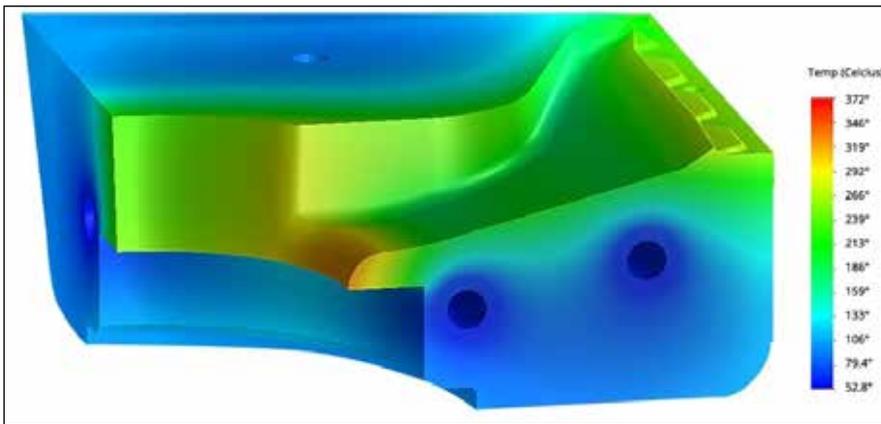


Bild 5: Dycobond®-Angussplatte Druckgussform für Al-Getriebegehäuse

In der Praxis hat sich gezeigt, dass sehr gut gekühlte Angussplatten nicht mehr zum „Öffnen“ (Spritzgratbildung) neigen, offenbar wegen des geringeren thermischen Verzugs und der kühlungsbedingt deutlich höheren Festigkeit. Es hat sich auch gezeigt, dass entgegen der oft geäußerten Meinung, die Temperatur der Angussplatten ohne Probleme auf etwa 100 °C abgesenkt werden kann. Diese niedrige Temperatur erbringt große Vorteile, wenn gleichzeitig auf

die Wassersprühkühlung verzichtet wird. Ein derzeit entwickelter, sehr interessanter Schwerpunkt sind Mikrokühlungen für vorstehende Konturnasen an großen Formeinsätzen und Schiebern, die sich bisher von innen mit konventionellen Techniken wegen der großen Bohrtiefe und der Rissgefahr gar nicht oder nur aufwendig kühlen lassen. Die **Bilder 6 und 7** zeigen hierfür Beispiele. Die Konturkühlbereiche sind bei diesem Beispiel im Formeinsatz 500 mm

von der hinteren Ebene entfernt, werden von der Kontur her eingebracht und nach hinten mit einer Steigkühlung verbunden. Sie sind damit im Konturbereich sehr präzise platziert und schließen zur Kontur vollständig mit Stahl ab.

Inzwischen vorliegende Praxiserfahrungen mit mehr als 80 Dycobond®-Angussplatten und -Formeinsätzen bestätigen die hohe Kühleffizienz. Die thermisch extrem beanspruchten Formeinsätze aus dem Angussbereich erreichten auch das weitere Ziel, nämlich die Dichtheit über die gesamte Lebensdauer der Form. Auf die Wassersprühkühlung konnte verzichtet werden, was zu einer deutlichen Zyklusverkürzung führte und zudem den Energieaufwand sowie die Arbeitsplatz- und Umweltbelastungen reduzierte.

Zukünftige Trends

Der Druckguss wird auf dem Weg zu einer nachhaltigen Technologie einige ungeschriebene und über viele Jahrzehnte praktizierte Gewohnheiten und Bequemlichkeiten in der Energie- und Wärmetechnik

RISS IM KÜHLKANAL ? NICHT MIT UNS !

WIR MACHEN HEISSE SACHEN KALT WWW.DYCOBOND.DE

RISS IM KÜHLKANAL ? NICHT MIT UNS !

WIR MACHEN HEISSE SACHEN KALT WWW.MECOBOND.DE

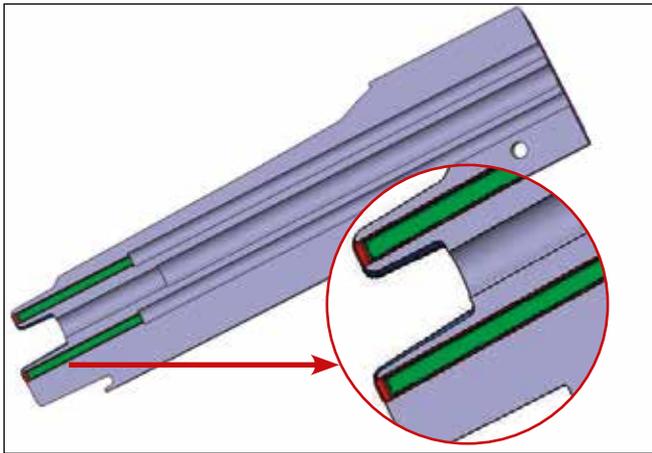


Bild 6: Dycobond®-Mikrokühlung im Nasenbereich eines großformatigen Formeinsatzes einer Druckgussform. Steigkühlung Durchmesser 6 mm, auch im Kupfer, von vorne eingebaut.
rot: Stahl
grün: Kupfer

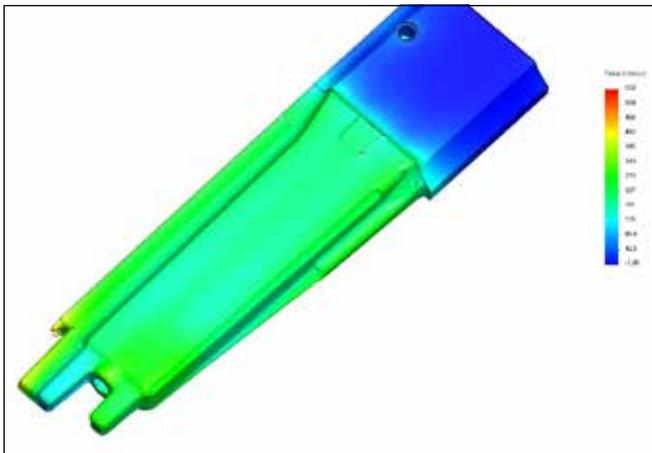


Bild 7a: Dycobond®-Mikrokühlung im Nasenbereich eines großformatigen Formeinsatzes einer Druckgussform

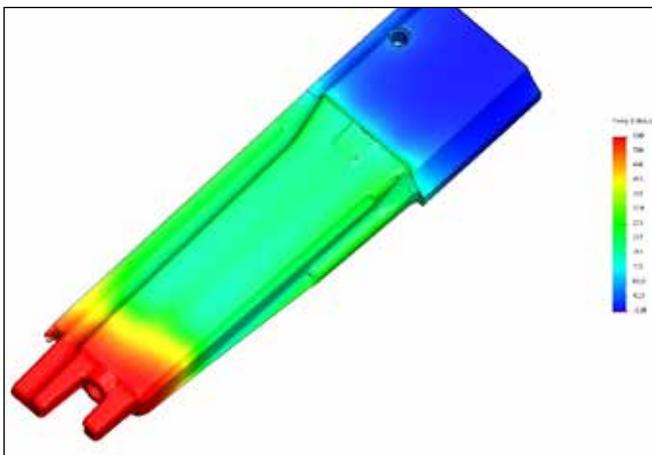


Bild 7b: Nasenbereich von Bild 6 ohne innere Dycobond®-Mikrokühlung

nik verlassen müssen. Begonnen hatte alles ohne Kühlkanäle. Die Wärme ist weitgehend über die Formplatten abgeflossen. So ist ohne jeglichen Aufwand die ständig zugeführte Wärme wieder abgeflossen. Im zweiten Schritt kamen dann Temperierkanäle, um die Form im warmen Zustand mit Vorteilen für die Formfüllung und die Oberflächenqualität fahren zu können. Da von Beginn an Trennmittel auf Wasserbasis verwendet wurden, um ein Ankleben des Aluminiums zu vermeiden, hat man recht früh auch zu heiße Stellen einfach mit dem Trennmittelauftrag abgekühlt. Auf diese Weise Hot Spots durch Wasserabsprü-

hung zu entschärfen, war immer einfach und bequem umsetzbar. Diese Sprühkühlungskultur hat man im Laufe der Zeit ingenieurmäßig immer weiter entwickelt und „verbessert“. Die dadurch eingehandelten enormen Nachteile und Schäden sind wegen „Alternativlosigkeit“ allerdings ignoriert worden. So haben sich aus den Gewohnheiten heraus Zwangsläufigkeiten entwickelt, die heute nicht mehr tragfähig sind. Energiebepreisung, Umweltbewusstsein und die Forderung nach Ressourcenschonung zwingen uns heute zum Umdenken, damit wir mit dem Druckguss in eine gute Zukunft gehen können. Der Kunst-

stoffspritzguss kommt seit Jahrzehnten ohne Sekundärkühlung aus und hat daher schon lange der Forminnenkühlung eine hohe Priorität eingeräumt.

Das Blatt hat sich gewendet. Die Wassersprühkühlung ist ein ungeliebtes Kind geworden, da sie die Formen zerstört, die Gussqualität beeinträchtigt und der Aufwand zur Vermeidung von Umweltproblemen immer größer wird.

Welche Trends sind zu erwarten?

- Die Dauerformen werden auf Energieeffizienz getrimmt, indem der durch Kühlung erzwungene Wärmeabfluss über ein geschlossenes Kühl- und Temperiersystem aufgefangen und weitgehend zur Formtemperierung wiederverwendet wird. Verlorene Wärmeabflüsse werden durch bautechnische Maßnahmen unterbunden.
- Es wird ein konturnahes und hocheffizientes Thermomanagement ausschließlich über Innenkanäle und vorteilhafterweise mit einem einzigen Wasser-Kanalsystem für Kühlung und Temperierung praktiziert. Eine Möglichkeit zur Verwirklichung bietet die vorstehend beschriebene Technologie des Werkstoffverbunds StahlKupfer bzw. StahlKupferEdelstahl.
- Die geregelte und gesteuerte Temperaturführung der konturnahen Formbereiche erfolgt durch gezielt temperiertes Kühlwasser oder durch Impulsschaltungen der Kühlkanäle, auf der Grundlage von Temperatursensoren und Algorithmen-Berechnungen.
- Es gibt keine Sekundärkühlung mehr.
- Das Temperierniveau der Formen wird, verglichen mit heute, bereichsweise unterschiedlich eingestellt und insgesamt deutlich abgesenkt. Dadurch steigt die Produktivität, sinkt der Energieverbrauch, verbessert sich die Gießprozedur und verlängert sich die Formlebensdauer. Von heute 200 bis über 400 °C Ist-Temperaturen kommt man beispielsweise im gesamten Angussbereich schrittweise auf 100 bis 150 °C.



Dr.-Ing. **Gerhard Betz**

Geschäftsführender Gesellschafter der Dycobond GmbH, Mülheim an der Ruhr
www.dycobond.de