

Gießtechnik

Feingussystem für Titan und Titanlegierungen

Wegen der physikalischen und chemischen Eigenschaften und seiner Bioverträglichkeit ist Titan mit seinen Legierungen und intermetallischen Verbindungen ein gefragter Werkstoff in der Luft- und Raumfahrt, im chemischen Apparatebau und in der Medizintechnik. Der steigenden Nachfrage an komplexen Teilen aus Titan und Titanverbindungen stand jedoch bisher der hohe Preis entgegen, da die Herstellung von Titan-Bauteilen mit wesentlich höherem Aufwand und Kosten verbunden ist als bei herkömmlichen Metallen. Linn High Therm ist es in Zusammenarbeit mit Access e.V., einem Aninstitut der RWTH Aachen, gelungen, ein Feingussystem für Titan und Titanlegierungen zu entwickeln.

Da die intermetallische Verbindung Titan-Aluminium (γ -TiAl) im Vergleich zu Titan ein noch niedrigeres spezifisches Gewicht hat, kommt diese Verbindung neben vielen anderen Anwendungen auch im Flugzeugbau, als Werkstoff für Motorkomponenten wie Abgasturboladern, Kolben, Turbinenschaufeln und Ventilen, sowie der optischen Industrie und in der Medizintechnik zur Anwendung. So ermöglicht der Einsatz von TiAl – Turbinenschaufeln und Turbolader-
rädern, Bild 1, durch das niedrigere spezifische Gewicht des Materiales eine starke Verringerung der bewegten Massen und führt dadurch beim Einsatz in Turbinen und Antriebsmotoren zu einem hohen Einsparungspotenzial an fossilen Kraftstoffen.

Der steigenden Nachfrage an komplexen Teilen aus Titan und Titanverbindungen stand jedoch bisher der hohe Preis entgegen. Die Herstellung von Bauteilen aus Titan ist mit wesentlich höheren Auf-

wand und Kosten verbunden als bei herkömmlichen Metallen. Mechanisches Bearbeiten wie Fräsen etc. kann nur langsam und unter hohen Werkzeugverschleiß durchgeführt werden.

Für den speziellen Einsatz in der Medizintechnik, Bild 2, und der Luft- und Raumfahrt gelang es Linn High Therm in Zusammenarbeit mit Access e.V., einem Aninstitut der RWTH Aachen, in mehrjähriger Forschungs- und Entwicklungsarbeit ein ausgereiftes Feingussystem für Titan und Titanlegierungen zu entwickeln.

Es können damit formnahe (netshape) Bauteile mit höchster Maßgenauigkeit von 0,1 mm und sehr guter Oberflächenqualität hergestellt werden. Möglich sind Bauteile mit komplizierter Form, Hinterschnidungen und filigranen Strukturen, welche durch mechanisches Bearbeiten nicht oder nur mit sehr hohem Aufwand gefertigt werden können.



»Da die gegossenen Teile sehr nahe an der Endform sind, kann die aufwändige Nachbearbeitung auf ein Minimum reduziert werden.«

Hans Billhofer ist Service- und Anwendungstechniker in der Probenvorbereitung und Feingießanlagen bei Linn High Therm in Eschenfelden.



BILD 1 Turbinenschaufeln, ein Gießtest-Gitter und Turboladerräder aus TiAl mit einer Euro-Münze als Größenvergleich



BILD 2 Titangussteile für die Medizin

Die gegossenen Teile sind sehr nahe an der Endform. Die aufwändige Nachbearbeitung kann dadurch auf ein Minimum reduziert werden. Die schwierige Bearbeitung der sehr dünnwandigen Flächen von Turboladerrädern und Turbinenschaufeln kann zum Beispiel gänzlich entfallen. Die Gestaltung dieser Flächen kann sich demzufolge fast ausschließlich nach den strömungstechnischen Gegebenheiten richten, ohne Rücksicht auf fertigungstechnische Einschränkungen nehmen zu müssen.

Die Nachbearbeitung besteht in der Regel nur aus dem Trennen des Gussteiles vom Einlaufkanal mit einer Trennscheibe und dem Verschleifen der Angussstellen. Danach können sich weitere Arbeitsschritte wie Polieren oder Sandstrahlen anschließen.

Das hier vorgestellte Feingießen mit Induktions-Schleudergießanlagen ist ein Druckguss-Verfahren, welches dem herkömmlichen Schwerkraft-Feinguss in Bezug auf Materialdichte und Formfüllungsgrad weit überlegen ist. Gegenüber dem Kaltwandtiegel-Verfahren ist es wesentlich kostengünstiger und energieeffizienter.

Die bisher üblichen Schmelzverfahren, wie Lichtbogenschmelzen und Aufschmelzen im Kaltwandtiegel, die aufgrund der extremen Reaktivität des Titans zum Einsatz kommen, sind mit hohen Anlagenkosten verbunden. Das Aufschmelzen des Gussmaterials im kera-

mischen Tiegel mittels induktiver Beheizung mit Hoch- oder Mittelfrequenz ist zeit- und energiesparend und benötigt nur wenig Bauraum in den Anlagen, bei vergleichsweise geringen Anlagenkosten, einfacher Bedienung und genauer Temperaturführung.

Das Erzeugen von Vakuum und das Spülen der Gießkammer mit Schutzgas erweitert die Breite der Anwendungsmöglichkeiten der Induktions-Schleudergießanlagen. Bei Titan und Titanverbindungen wird der Schmelz- und Gießprozess unter Vakuum oder Inertgasatmosphäre durchgeführt, um eine Gasaufnahme in die Schmelze zu vermeiden.

Mit den kombinierten Vakuum-Induktions-Schleudergießanlagen, ist es möglich, das Feingießverfahren, auch unter Vakuum und/oder Schutzgas, mit einer kompakten Anlage sehr wirtschaftlich durchzuführen.

Sind die benötigten keramischen Gießformen vorhanden, ist die Umstellung der Fertigung auf andere Gussteile innerhalb kurzer Zeit ohne hohen Aufwand möglich. Auch für eine Fertigung von nur kleinen Stückzahlen ist das Verfahren aus wirtschaftlicher Sicht interessant. Die Vorteile des Feingießens mit Induktions-Schleudergießanlagen kommen auch bei anderen Werkstoffen wie Co/Cr -Legierungen, Stählen, Edelmetalle, Kupfer, Magnesium usw. zum tragen.



»Die Umstellung der Fertigung auf andere Gussteile ist innerhalb kurzer Zeit ohne hohen Aufwand möglich, wodurch das Verfahren auch für kleine Stückzahlen aus wirtschaftlicher Sicht interessant wird.«

Dipl.-Ing. (FH) Thomas Hauptmann ist bei Firma Linn High Therm in Eschenfelden als Konstrukteur und Projektingenieur tätig.



BILD 3 Automatische Gießlinie für Titan- und TiAl-Bauteile

Für die Fertigung von Titan- und γ -TiAl-Bauteilen werden in bei Linn High Therm in einer automatischen Gießlinie mit S7-Steuerung die benötigten Vorwärmöfen, Schleudergießanlagen und Wärmebehandlungsöfen zu einer Funktionseinheit zusammengefasst, [Bild 3](#).

Die Schleudergießanlagen sind auch für den Bereich Probenvorbereitung in der Spektroskopie einsetzbar. Dort zeigen sie eine gute Reproduzierbarkeit, geringe Materialverluste und besonders eine höhere Arbeitsgeschwindigkeit als herkömmliche Verfahren, vor allem bei der Herstellung von Eichstandards.

DER PRÄZISIONS-FEINGUSS NACH DEM WACHSAUSSCHMELZVERFAHREN – EIN ÜBERBLICK

Für den Präzisions-Feinguss nach dem Wachsausschmelzverfahren werden Schmelztiegel und Gießformen aus Keramik im Tauchverfahren (Schalentechnik) hergestellt, die an das Gussmaterial und an die gewünschte Bauteil-Form angepasst sind. Das Gussmaterial wird in einem Schmelztiegel, [Bild 4](#), platziert und in den Schleuderarm eingesetzt, [Bild 5](#). Dem Schmelztiegel gegenüber wird die vorgeheizte Gießform eingelegt.

In dem geschlossenen Schleuderarm-Rezipienten wird, wenn nötig, ein Vakuum erzeugt und mehrere Schutzgas-Spülungen durchgeführt. Dies ist zum Beispiel bei Titan und TiAl notwendig.

Eine Induktionsspule fährt von unten über den Schmelztiegel, [Bild 6](#), und das Gussmaterial wird in kurzer Zeit aufgeschmolzen. Nach Erreichen der Schmelztemperatur wird die Induktions-Spule abgesenkt und der Zentrifugalgussvorgang ausgelöst.

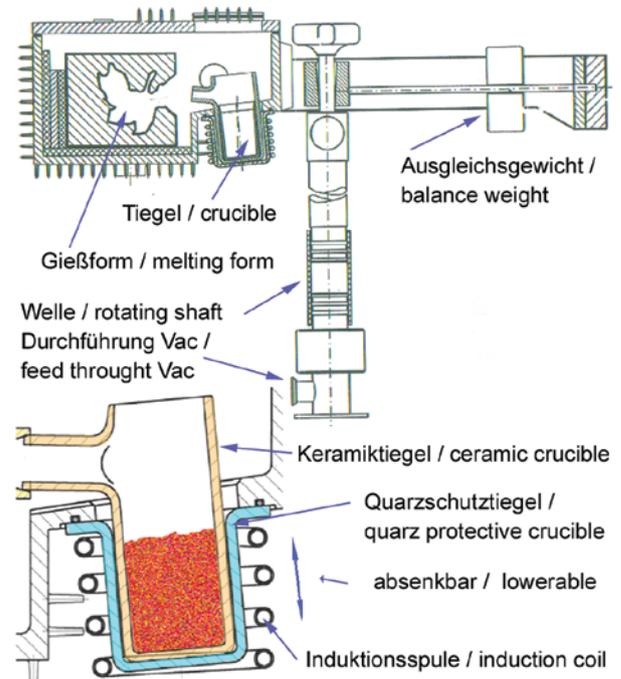


BILD 4 oben: Schleuderarm mit Welle und Drehdurchführung, unten: Schmelztiegel mit Induktionsspule

Durch die Drehung des Schleuderarmes um die senkrechte Welle entsteht eine Zentrifugalkraft nach außen, welche die flüssige Schmelze aus dem Schmelztiegel in die vorgeheizte Gießform drückt. Durch die anhaltende Rotation bleibt diese Kraft während des Erstarrens der Schmelze bestehen. Noch flüssige Schmelze wird über die Speiser nachgedrückt.

Nach Erstarrung der Schmelze wird die gefüllte Gießform aus dem Schleuderarm entnommen. Wenn das eingesetzte Material es erfordert, erfolgt anschließend eine Wärmenachbehandlung nach vorgegebenen Temperaturverläufen und Atmosphären in einem Wärmebehandlungs-Ofen. Nach Abkühlung der Gießform wird das Gussteil unter Zerstörung der Form ausgeschlagen.

Eine Trennscheibe trennt die Gussteile vom Speiser ab, und die Angüsse werden verschliffen und verputzt. Polieren oder Sandstrahlen können sich danach als weitere Arbeitsschritte anschließen.

HERSTELLUNG DER GIESSFORMEN FÜR DAS WACHSAUSSCHMELZVERFAHREN

Von einer Urform wird eine Silikonform oder ein Formwerkzeug hergestellt. Von dieser Form lassen sich manuell oder im Spritzgussverfahren beliebig viele Duplikate in Wachs oder Kunststoffen fertigen. Diese Wachsmodelle werden von Hand zu wirtschaftlich sinnvollen Gießtrauben zusammengestellt, [Bild 6](#).

Die Gussbäume tauchen in einen speziellen Keramikslicker und werden anschließend besandet. Danach härten sie aufgehängt aus, wobei sich dieser Vorgang mehrmals wiederholt, [Bild 7](#). Für sehr hohe Anforderungen können bis zu 12 Keramiksichten

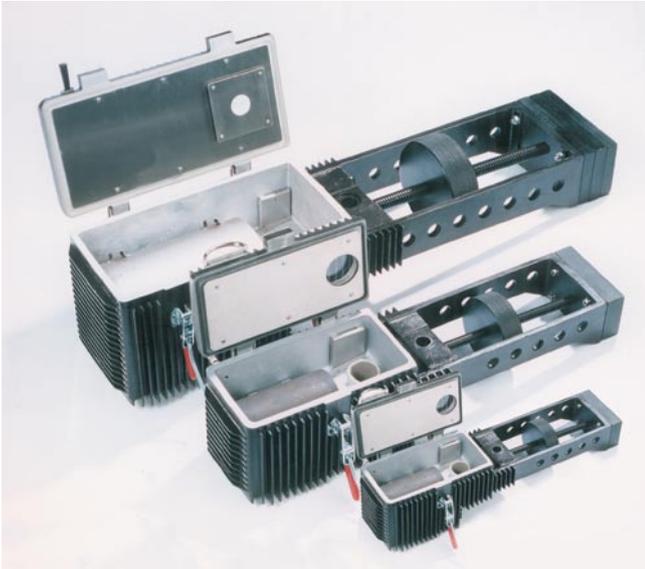


BILD 5 Schleuderarme der Induktions-Schleudergießanlagen (Supercast, Titan-cast und Platicast)

notwendig sein, in der Regel sind aber fünf bis sechs Schichten ausreichend.

Ist die mechanische Anforderung an die Gießform sehr hoch, kann zusätzlich eine Metallgittereinlage in die Gießform eingearbeitet werden oder die Form wird in einer Küvette aus hitzefestem Stahl mit einer phosphatgebundenen keramischen Masse hinterfüllt, um die nötige Stützwirkung zu erzielen. In der Regel ist aber das Gießen in die Gießform ohne Hinterfüllung möglich. Das Wachsausschmelzen erfolgt bei 140 °C bis 180 °C, das Brennen der Formen ist bei Temperaturen über 900 °C abhängig von den verwendeten Materialien.

Zum Gießen wird die Form in einem Vorwärmofen, Bild 8, auf die erforderliche Vorwärmtemperatur aufgewärmt und anschließend in den Schleuderarm eingesetzt. Diese Vorwärmtemperatur ist vom Gussmaterial und der Geometrie des zu vergießenden Werkstücks abhängig und beträgt zwischen 350 °C und 1100 °C.



BILD 6 Wachsmodele zu Gießtrauben präpariert



BILD 7 Modelltraube nach mehrmaliger Besandung

SCHMELZTIEGEL

Im keramischen Schmelztiegel schmilzt das Gussmaterial durch Induktion auf, wobei an den Tiegel große mechanische und chemische Anforderungen gestellt werden. Zudem wird eine hohe Temperatur- und Temperaturwechselbeständigkeit benötigt.

Einige Gussmaterialien, wie bestimmte Edelstähle oder Titan, sind als Schmelze chemisch sehr aktiv, so dass noch höhere Anforderungen in Bezug auf chemische Beständigkeit von den Schmelztiegeln bewältigt werden müssen. Weiterhin muss sichergestellt sein, dass vom Tiegelmateriale keine unerwünschten Stoffe an die Schmelze abgegeben werden. Um eine hohe Prozesssicherheit zu erreichen, bedarf es einer genauen Abstimmung von Tiegelmateriale, Tiegelform und Gussmaterial.

Mit Hilfe von 3D-Gieß-Simulationsprogrammen, Bild 9, wurden Gießvorgänge unter unterschiedlichsten Bedingungen simuliert und eine Reihe von Schmelztiegeln mit optimalen Tiegelformen für einen Großteil der Anwendungen entwickelt.

VAKUUM UND SCHUTZGAS

Um unerwünschte Reaktionen des Gussmaterials auszuschließen und die vollständige Füllung der Gießform zu begünstigen, kann im Schleuderarm Vakuum erzeugt und Spülungen mit Schutzgas zur Entfernung von Restsauerstoff durchgeführt werden. Dafür ist in den Gießanlagen ein Vakuum-Pumpenstand mit Schutzgas-Einspeisung integriert.

Die Achse des Schleuderarms ist als Hohlwelle ausgebildet. Sie ist über eine vakuumdichte Drehdurchführung mit dem Pumpstand verbunden, Bild 6. Als Schutzgas wird in der Regel Argon, Stickstoff oder Formiergas verwendet.

Für das Gießen von Titan und Titanlegierungen wurde das Vakuumsystem verbessert und das Pumpprogramm (frei wählbare Vor- und



BILD 8 Drehherdöfen für Gießformherstellung oder Wärmebehandlung

Nachpumpzeiten) an die Anforderungen beim Schmelzen von Titan angepasst. Weiterhin ist es möglich, eine Partialdruckregelung mit Gasspülung bei zum Beispiel 100 mbar einzusetzen um das Abdampfen von Legierungsbestandteilen aus der Schmelze zu verringern.

INDUKTIVES SCHMELZEN

Das Prinzip der induktiven Erwärmung lässt sich mit einem Transformator vergleichen. Die wassergekühlte Induktions-Spule (primäre Wicklung) induziert im Gussmaterial (sekundäre Wicklung) Wirbelströme, die durch Ohmsche Verluste direkt in Wärme umgewandelt werden. Neben der Erwärmung des Gussmaterials bewirken die Wirbelströme gleichzeitig eine optimale Durchmischung, was bei Legierungen und Metallverbindungen höchste Homogenität und reproduzierbare Gussergebnisse gewährleistet.

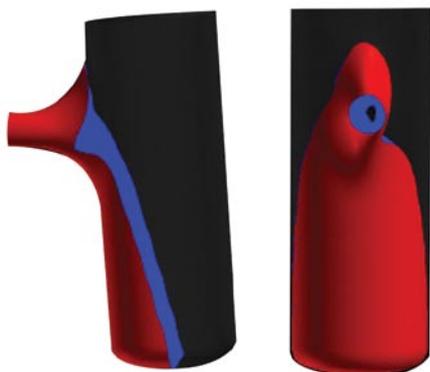


BILD 9 D-Simulation des Auslaufvorganges der Schmelze beim Schleuderguss



BILD 10 Einlegen einer gegossenen Gießform in einen Wärmebehandlung-Bandofen

Für den Guss von beispielsweise Titan und Titanverbindungen können mit einer Schmelzleistung von bis zu 30 kW kurze Aufheizzeiten und geringe Verweilzeiten der Schmelze im Tiegel erreicht werden. Die Temperaturmessung erfolgt mit einem Pyrometer, welches die Temperatur der Schmelze durch das Schauglas des Schleuderarm-Deckels berührungslos misst und an die S7-Steuerung weitergibt. Zur Erleichterung der visuellen Überwachung wird das Bild des Pyrometers auf einem Monitor ausgegeben.

SCHLEUDER-GIESS-VORGANG

Der leistungsstarke, drehzahlgeregelte Spezialmotor wirkt auf den Schleuderarm und ermöglicht die exakte Einhaltung der material-spezifischen Gießparameter während des eigentlichen Gusses. Alle Prozessschritte werden durch den Programmregler in allen Parametern automatisch gesteuert.

Für den Titanguss wurde die Winkelbeschleunigung des Schleuderarms erhöht. Wegen des geringen spezifischen Gewichts und des hohen Schmelzpunktes von Titan muss es beim Giessen - im Gegensatz zu anderen Metallen - mit wesentlich höheren Kräften in die Form gedrückt werden um diese vollständig auszufüllen. Abhängig von der Geometrie des Gussteils lassen sich Beschleunigung und Enddrehzahl des Schleuderarms stufenlos einstellen.

WÄRMEBEHANDLUNG

Einige Materialien, wie Titanlegierungen für besonders anspruchsvolle Anwendungen, erfordern direkt nach dem Gießen eine Wärmebehandlung. Die Gussteile werden unmittelbar nach dem Guss in einen Wärmebehandlungsofen, Bild 10, eingelegt und durchlaufen dort unter Schutzgas- oder Normalatmosphäre vorgegebene Temperaturen, Haltezeiten und genau definierte Abkühlgeschwindigkeiten. Der Ofen kann ein kontinuierlicher Banddurchlaufofen sein oder ein Kammerofen, der im Batch-Betrieb gefahren wird.

FAZIT

Induktions-Schleudergießanlagen ermöglichen das preiswerte, aber trotzdem prozessstabile Gießen von endkonturnahen Bauteilen aus vielen Metallen und Metalllegierungen. Besonders interessant sind die Gießanlagen für die Verarbeitung von Werkstoffen mit hohen Ansprüchen, zum Beispiel Titan und intermetallische Verbindungen wie γ -TiAl oder FeAl sowie die Fertigung kleinster Bauteile mit geringen Stückzahlen und die Serienfertigung großer Bauteile. ●

Die Autoren:

HANS BILLHOFER ist Service- und Anwendungstechniker in der Probenvorbereitung und Feingießanlagen bei Linn High Therm in Eschenfelden.

DIPL.-ING. (FH) THOMAS HAUPTMANN ist bei Firma Linn High Therm in Eschenfelden als Konstrukteur und Projekt-Ingenieur tätig.

English abstract

Casting

Fine casting system for titanium and titanium alloys

Because of its physical and chemical properties and its biocompatibility, titanium with its alloys and intermetallic compounds is a highly sought-after material in aviation and space technology, as well as in chemical equipment manufacturing and medical engineering. Until now however, the high price of these materials has stood in the way of the growing demand for complex parts made of titanium and titanium compounds, as the production of titanium components is much more complex and expensive than that of conventional metals. In cooperation with Access e.V., an associate institute of RWTH Aachen, Linn High Therm has succeeded in developing a fine casting system for titanium and titanium alloys.

The Expert Forum for
Composite Lightweight Construction

4th International

CFK-Valley Stade Convention

15-16 June 2010, Stadeum Stade

“XXL Composites - for Air, Land & Sea“



CFK VALLEY STADE
CONVENTION™

**LAST CHANCE
TO REGISTER
AS PARTICIPANT!**

www.cfk-convention.com