

Feingussystem für Titan und Titanlegierungen

>>> Kombinierte Induktions-Schleudergiessanlagen ermöglichen es, fast alle Metalle im Feingiessverfahren wirtschaftlich und auch unter Vakuum zu verarbeiten. Insbesondere für die Verarbeitung von Metallen mit hohen Ansprüchen wie Titan gewährleisten die Anlagen ein kostengünstiges und prozessstabiles Giessen mit Anwendungen in der Medizinaltechnik, aber auch in verschiedenen anderen Anwendungsgebieten komplexer Titanteile.

Unter Feingiessen versteht man das Giessen von formnahen Bauteilen mit höchster Massgenauigkeit und sehr guter Oberflächenqualität. Es ist damit möglich, Bauteile mit komplizierten Formen, Hinterschneidungen und filigranen und sehr dünnwandigen Strukturen herzustellen, welche sehr nahe an der Endform sind und nur wenig oder keine Nachbearbeitung benötigen.

Der Schleuderguss ist ein Druckguss-Verfahren, welches dem herkömmlichen Schwerkraft-Guss in Bezug auf Materialdichte und Formfüllungsgrad überlegen ist und das Giessen von wesentlich komplexeren Formen ermöglicht. Dies gilt besonders für Materialien mit hohem Schmelzpunkt und geringem spezifischem Gewicht, wie z. B. Superlegierungen, Titan-Aluminide (TiAl) usw.

Das Aufschmelzen des Gussmaterials mittels induktiver Beheizung mit Mittelfrequenz ist zeit- und energiesparend und benötigt nur wenig Bauraum in den Anlagen. Das Erzeugen von Vakuum und das Spülen der Giesskammer mit Schutzgas erweitert die Breite der Anwendungsmöglichkeiten; z. B. lässt sich damit das Dampfdruckproblem bei Legierungen und intermetallischen Verbindungen verringern.

Mit den kombinierten Induktions-Schleudergiessanlagen ist es möglich, das Feingiessverfahren auch unter Vakuum oder Schutzgas mit einer sehr kompakten Anlage wirtschaftlich durchzuführen.

Es können fast alle Metalle und Legierungen gegossen werden. Sind die benötigten keramischen Giessformen vorhanden, ist die Umstellung der Fertigung auf andere Giessteile innerhalb kurzer Zeit ohne



Bild 1: Titangussteile in der Medizin.

hohen Aufwand möglich. Auch für eine Fertigung von nur geringen Stückzahlen ist das Verfahren wirtschaftlich.

Feingussystem für Titan

Linn High Therm fertigt eine Baureihe von Induktions-Schleudergiessanlagen, vom kleinen «Hotcast»-Tischgerät für eine maximale Giessmenge von 40 g bis zur grossen Supercast mit einem Giessgewicht bis zu 2,5 kg.

Die für den Feinguss im Wachsau-schmelzverfahren benötigten Wachsau-schmelzöfen, Vorwärmöfen und Wärmenachbehandlungsöfen sind ebenfalls im Angebotsprogramm von Linn High Therm enthalten. Das umfangreiche Zubehörprogramm ist auf vielfältige Anwendungen abgestimmt und rundet die Produktpalette ab.

Für den speziellen Einsatz in der Medizinaltechnik, Luft- und Raumfahrt, Automobilindustrie, Optik und in der Mikrosystemtechnik gelang es Linn High Therm in mehrjähriger Forschungs- und Entwicklungsarbeit, ein ausgereiftes Feinguss-sys-



Bild 2: Induktions-Schleudergiessanlage mit 30-kW-Mittelfrequenz-Umrichter.

tem für Titan und Titanlegierungen zu entwickeln. Damit ist es möglich, aus diesen Materialien komplizierte Teile bis zu einem Gewicht von 1,5 kg kostengünstig herzustellen. Durch den formnahen Guss kann die besonders bei Titan und Titanlegie-

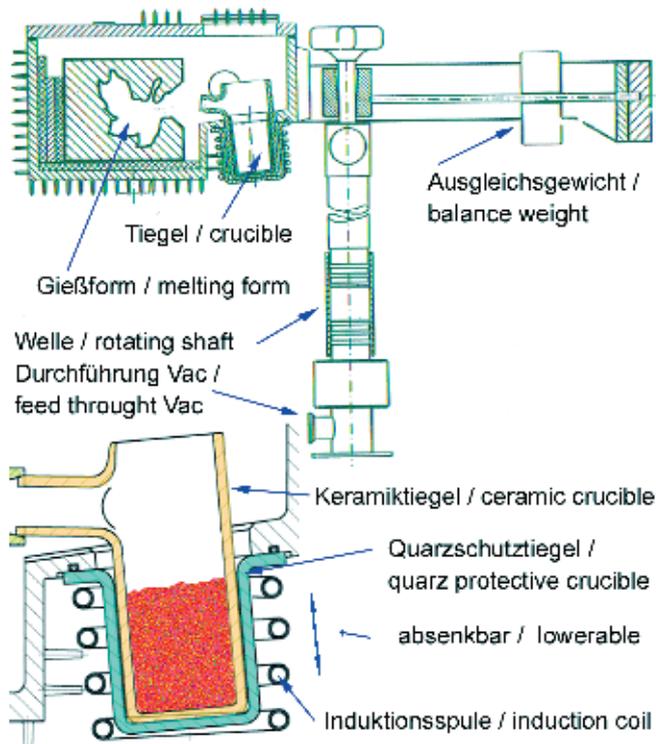


Bild 3: Oben: Schleuderarm mit Welle; unten: Schmelztiegel mit Induktionsspule.

rungen sehr aufwändige Nachbearbeitung wesentlich reduziert werden (Bild 1).

Überblick: Präzisions-Feinguss Wachsausschmelzverfahren

Für den Präzisions-Feinguss nach dem Wachsausschmelzverfahren werden Schmelztiegel und Giessformen aus Keramik hergestellt, welche an das Gussmaterial und an die gewünschte Bauteil-Form angepasst sind.

Das Gussmaterial wird in einem Schmelztiegel (Bild 3) platziert und in den Schleuderarm (Bild 3 und 4) eingesetzt. 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 z. B. bei γ -TiAl notwendig.

Eine Induktionsspule wird von unten über den Schmelztiegel gefahren (Bild 3), und das Gussmaterial in kurzer Zeit aufgeschmolzen. Nach Erreichen der Schmelztemperatur wird die Induktions-Spule abgesenkt und der Zentrifugalgussvorgang ausgelöst.

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 be-

stehen und noch flüssige Schmelze wird über die Speiser nachgefüllt.

Nach Erstarrung der Schmelze wird die gefüllte Giessform aus dem Schleuderarm entnommen. Wenn das eingesetzte Material es erfordert, wird anschliessend eine Wärmenachbehandlung nach vorgegebenen Temperaturverläufen und Atmosphärenbedingungen in einem Wärmenachbehandlungs-Ofen durchgeführt. Nach Abkühlen der Giessform wird das Gussteil unter Zerstörung der keramischen Form freigelegt.

Die Gussteile werden mit einer Trennscheibe vom Einlaufkanal getrennt und die Angüsse verschliffen und verputzt. Danach können sich weitere Arbeitsschritte wie Polieren oder Sandstrahlen anschliessen.

Herstellung der Giessformen

Von einer Urform wird eine Silikonform oder ein Formwerkzeug hergestellt. Von dieser Form lassen sich manuell oder im Spritzgussverfahren beliebig viele Duplikate in Wachs fertigen. Diese Wachsmodelle werden von Hand zu wirtschaftlich sinnvollen Giesstrauben zusammengesetzt (Bild 5).

Die Gussbäume werden in einen speziellen, dem Gusswerkstoff angepassten Keramikslicker getaucht und besandet. Danach werden sie zum Aushärten aufgehängt. Dieser Vorgang wird mehrmals wiederholt, um eine mehrschichtige Keramikform zu erzeugen (Bild 6).

Wenn die mechanische Anforderung an die Giessform sehr hoch ist, z. B. bei dünnwandigen Formschalen oder hohen Giesdrücken, wird die Form in einer Kuvette aus hitzebeständiger Legierung mit einer phosphatgebundenen keramischen Masse hinterfüllt. Damit wird die nötige Stützwirkung erzielt. In der Regel ist aber das Giesen in die Giessform ohne Hinterfüllung möglich.

Das Wachsausschmelzen erfolgt bei 150 bis 300 °C, das Brennen der Formen, abhängig von dem verwendeten Materialien bei Temperaturen von 800-1100 °C. Zum Giesen wird die Form auf die erforderliche Vorwärmtemperatur gebracht und anschliessend in den Schleuderarm eingesetzt. Diese Vorwärmtemperatur ist von

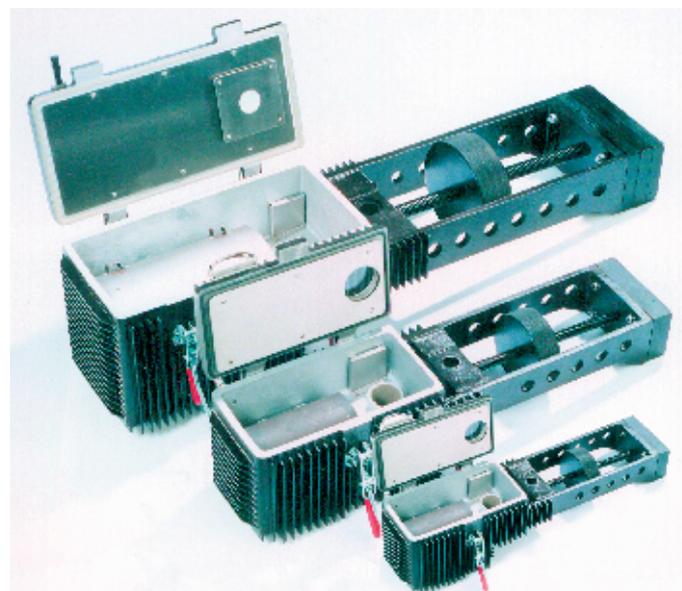


Bild 4: Schleuderarme der Induktions-Schleudergiessanlage.

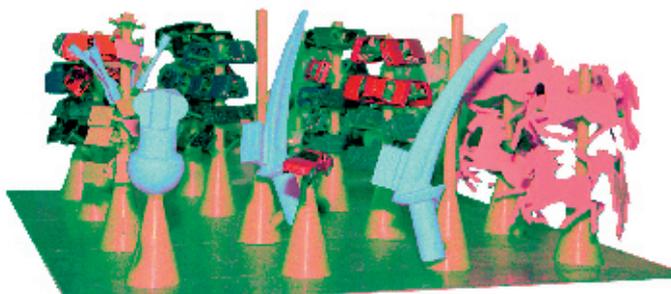


Bild 5: Wachsmodelle zu Giesstrauben präpariert.

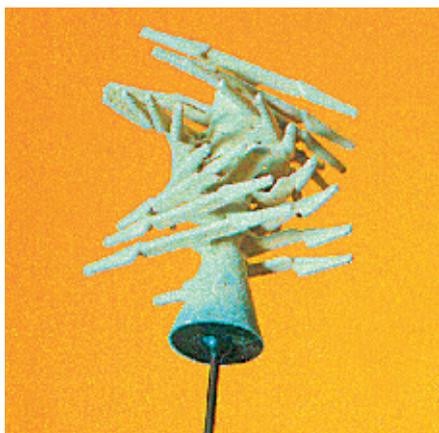


Bild 6: Modeltraube nach mehrmaliger Besandung.

der Geometrie und der Wandstärke des zu vergießenden Werkstücks abhängig und beträgt zwischen 200 °C und 1100 °C.

Schmelztiegel

Im keramischen Schmelztiegel wird das Gussmaterial durch Induktion aufgeschmolzen. Durch die heisse Schmelze werden an den Tiegelwerkstoff grosse mechanische und chemische Anforderungen gestellt und es wird eine hohe Temperaturwechselbeständigkeit benötigt.

Einige Gussmaterialien, wie z.B. bestimmte Edelstähle oder Titan, sind als Schmelze chemisch sehr aktiv und es werden noch höhere Anforderungen in Bezug auf chemische Beständigkeit an die Schmelztiegel gestellt. Weiterhin muss sichergestellt sein, dass von dem Tiegelmaterial keine unerwünschten Stoffe an die Schmelze abgegeben werden.

Um eine hohe Prozesssicherheit zu erreichen, bedarf es einer genauen Abstimmung von Tiegelmaterial und Tiegelform an das Gussmaterial (Bild 7), welche durch 3D-Simulationsprogramme unterstützt wird.

Linn High Therm hat ein Standardprogramm von verschiedenen Schmelztiegeln entwickelt, welche einen Grossteil der einsetzbaren Giessmaterialien abdecken.

Falls Sondertiegel notwendig sind, werden diese kundenspezifisch entwickelt.

Vakuum und Schutzgas

Um unerwünschte Reaktionen des Gussmaterials auszuschliessen und die vollständige Füllung der Giesstrasse zu begünstigen, kann im Schleuderarm Vakuum erzeugt und Spülungen mit Schutzgas zur Entfernung von Restsauerstoff durchgeführt werden. Dafür ist in den Linn-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 3). Schutzgas (z.B. Argon, Stickstoff, Formiergas) wird zum Spülen der Kammer verwendet.

Für das Giessen von Titan und Titanlegierungen wurde das Vakuumsystem verbessert und das Pumpprogramm (frei wählbare Vor- und Nachpumpzeiten) an die Anforderungen beim Schmelzen von Titan angepasst.

Das Vakuumsystem besteht zum Beispiel bei der Supercast aus einem Roots-pumpenstand mit 800 m³/h und einer entsprechenden Vorpumpe. Dieser Pumpenstand ermöglicht sehr schnelle Evakuierungszeiten und garantiert das benötigte Vakuum auch während des Schmelzens und des Giessens. Das Arbeits-Vakuum von 10-2 mbar kann innerhalb von 30 s nach Schliessen der Gusskammer erreicht werden, als max. Endvakuum in der Kammer sind 10-3 mbar möglich. Als Drehdurchführung wird eine speziell konstruierte Ausführung eingesetzt, welche ein sicheres Vakuum bei hoher Standfestigkeit garantiert.

Induktives Schmelzen

Das Prinzip der induktiven Erwärmung lässt sich mit einem Transformator vergleichen. Die wassergekühlte Induktions-Spule (primäre Wicklung) induziert im Gussmaterial (sekundäre Wicklung) Wirbel-

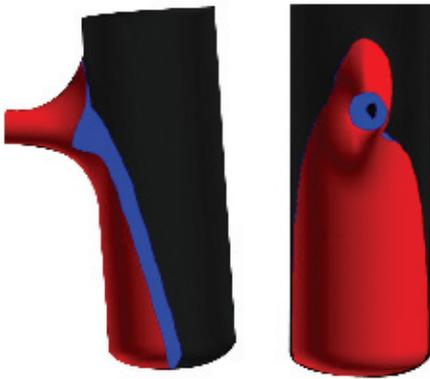


Bild 7: 3D-Simulation des Auslaufvorganges der Schmelze beim Titan-Schleuderguss.

ströme, die durch ohmsche Verluste direkt in Wärme umgewandelt werden. Neben der Erwärmung des Gussmaterials bewirken die Wirbelströme gleichzeitig eine optimale Durchmischung, was bei Legierungen höchste Homogenität und reproduzierbare Gussergebnisse gewährleistet.

Für den Guss von Titan und Titanlegierungen 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 optischen Pyrometer, welches die Temperatur der Schmelze durch das Schauglas des Schleuderarm-Deckels berührungslos misst. Nach Erreichen der Schmelztemperatur wird die Induktions-Spule abgesenkt und der Zentrifugalgiessvorgang ausgelöst.

Schleuder-Giess-Vorgang

Die sehr leistungsstarken, drehzahlregelten Spezialmotoren wirken auf die Schleuderarme und ermöglichen die exakte Einhaltung der materialspezifischen Giessparameter während des eigentlichen Gusses. Alle Prozessschritte werden durch 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, z. B. bei der Supercast von 0 bis 350 U/min bzw. von 1,5 bis 15 s. Realisiert wird dies durch einen Drehstrom-Servomotor mit vorgeschaltetem Frequenzwandler.

Die Supercast-Baureihe ist mit einer modernen Siemens-S7-Steuerung mit Touchpanel und Giess-Rezeptur ausgestattet. Damit ist ein sicherer reproduzierbarer Prozessablauf garantiert und die Giessparameter können zu 100 % eingehalten werden.

Wärmenachbehandlung

Einige Materialien, wie z. B. Titanlegierungen für besonders anspruchsvolle Anwendungen, erfordern nach dem Giessen eine Wärmebehandlung. Die Gussteile werden unmittelbar nach dem Guss in einen Wärmenachbehandlungssofen (Bild 8) eingelegt und durchlaufen dort vorgegebene Temperaturerhöhungen, Haltezeiten und genau definierte Abkühlgeschwindigkeiten, wenn nötig unter Schutzatmosphäre.

Werkstoffe für die Medizintechnik und ihre Verarbeitung

Wegen seiner physikalischen, chemischen Eigenschaften und seiner Bioverträglichkeit ist Titan ein gefragter Werkstoff für Implantate, als hochfester Werkstoff in der Luft- und Raumfahrt, der Automobilindustrie, dem chemischen Apparatebau und der Uhr- und Schmuckindustrie.

Der ständig steigenden Nachfrage an komplexen Teilen aus Titan stand jedoch bisher der hohe Preis entgegen. Die Herstellung von Bauteilen aus Titan ist mit wesentlich höherem Aufwand und Kosten verbunden als bei konventionellen Metallen. Mechanisches Bearbeiten wie Fräsen etc. kann nur langsam und unter hohem Werkzeugverschleiss durchgeführt werden.

Als preisgünstiges Verfahren zur Herstellung endkonturnaher (netshape), komplizierter Bauteile bietet sich eine jahrtau-

sendealte, millionenfach bewährte Urform-Technik an – das Giessen.

Doch auch hier erweist sich Titan als sehr widerspenstig. Während es bei Raumtemperatur zu den Metallen mit dem inertesten Verhalten zählt, reagiert es bei hohen Temperaturen besonders im geschmolzenen Zustand mit einer Vielzahl von Elementen. Besonders nachteilig wirkt sich die starke Löslichkeit für Sauerstoff in Titan aus, die schon bei relativ geringen Gehalten (0,1%) zur Versprödung führt. Daneben wird durch die Sauerstoffaufnahme auch die Liquidustemperatur der Schmelze erhöht, was zu verstärkten Reaktionen mit dem Material des Schmelztiegels führt.

Die bisher üblichen Schmelzverfahren, wie z. B. Lichtbogenschmelzen, die aufgrund der extremen Reaktivität des Titans zum Einsatz kommen, sind mit hohen Anlagenkosten verbunden. Der Schmelz- und Giessprozess wird unter Vakuum und/oder Inertgasatmosphäre durchgeführt, um eine Gasaufnahme in die Schmelze zu vermeiden.

Das Induktionsschmelzverfahren im heissen Keramiktiegel wurde schon zu Beginn der Titanforschung erprobt, um es auch für den Titanguss einsetzen zu können. Die Vorteile des Verfahrens sind seit langem bekannt: wie vergleichsweise geringe Anlagenkosten, Robustheit und einfache Bedienung und gute Temperatur- und Prozessführung. Es wurde beständig weiterentwickelt und stellt das ideale Schmelzverfahren dar.

Da γ -TiAl im Vergleich zu Titan ein noch niedrigeres spez. Gewicht und gleichzeitig eine bessere Warmfestigkeit hat, kommt diese intermetallische Verbindung neben vielen anderen Anwendungen auch in der Medizintechnik, im Flugzeugbau sowie in



Bild 8: Drehherdofen für Giessformvorerwärmung.

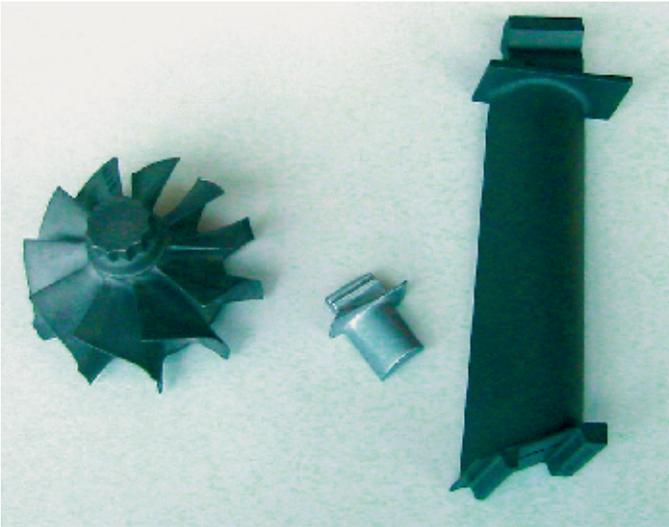


Bild 9: Turboladerrad (Ti 64) und Turbinenschaufeln aus Al-Legierung und γ -TiAl.

Motorkomponenten wie z.B. Abgasturbo-ladern, Kolben, Turbinenschaufeln und auch Ventilen sowie der optischen Industrie zur Anwendung (Bild 9).

Bei diesen intermetallischen Verbindungen ist im Vergleich zu reinem Titan die schnelle Beschleunigung des Schleuderarmes und die Formtemperatur und deren Abkühlung noch wichtiger, da γ -TiAl

einen schmalen Erstarrungsbereich (ca. $\gamma 3^\circ\text{C}$) aufweist.

Fazit

Präzisions-Feingussanlagen ermöglichen das kostengünstige, aber prozessstabile Gießen von endkonturnahen Bauteilen aus Metallen und Metalllegierungen. Be-

sonders interessant sind die Giessanlagen für die Verarbeitung von Werkstoffen mit hohen Ansprüchen, z. B. Titan und intermetallische Verbindungen wie γ -TiAl, FeAl, Al- und Mg-Sonderlegierungen sowie Nickelbasislegierungen.

Durch ihre breite Produktpalette sind Anlagen von Linn High Therm sowohl für die Fertigung kleinster Bauteile mit geringen Stückzahlen als auch für die Serienfertigung grösserer Bauteile einsetzbar.

In enger Partnerschaft mit dem Giesse-ri - Institut der RWTH Aachen und Aces werden die Linn-Anlagen beständig weiterentwickelt, um ihren Kunden auch in Zukunft die Verarbeitung von hochwertigen Materialien zu ermöglichen. <<

Autoren

Dipl. Ing (FH) Thomas Hauptmann,
Hans Billhofer, Dipl. Ing Roland Waitz

Information

Linn High Term GmbH
Heinrich-Hertz-Platz 1
D-92275 Eschenfelden
info@linn.de
www.linn.de

Bilder: Linn High Term

Anzeige