



FOTOS UND GRAFIKEN: ÖGI

Panoramaaufnahme der Druckgießzelle am Österreichischen Gießerei-Institut

Untersuchung der Einflussgrößen Kühlung, Nachverdichtung und Legierungsparameter auf die Gefügeeigenschaften von Druckgussbauteilen

VON PETER HOFER, KLAUS-PETER TUCAN, REINHOLD GSCHWANDTNER, DAVID KÜNSTNER UND GERHARD SCHINDELBACHER, LOEBEN, ÖSTERREICH

Das Druckgießen ist ein hochproduktiver Prozess zur Herstellung von Gussteilen in großen Stückzahlen. Das Verfahren zeichnet sich durch kurze Formfüllzeiten aus, wodurch sich auch Bauteile mit geringen Wanddicken herstellen lassen. Durch Werkzeuge mit teils aufwendigen Schiebersystemen können auch sehr komplexe Formen verwirklicht werden, ohne dabei auf verlorene Kerne zurückgreifen zu müssen. Die Vermeidung von Gasporosität und Erstarrungsungängen erfolgt durch das Aufbringen eines hohen Nachdrucks am Gießkolben. Limitierend für die Bauteildichtheit bei der Herstellung von Druckgussbau-

teilen ist der Anschnitt, welcher in der Regel vor der vollständigen Durcharstarung des Gussteils abfriert. Aufgrund der Notwendigkeit einer geeignet hohen Schmelzgeschwindigkeit im Anschnitt sowie der teils sehr geringen Wanddicken, können Druckgussanschnitte nicht beliebig dick gestaltet werden, sodass ein effektives Nachspeisen nicht immer möglich ist. Dies resultiert oft in Porosität im Bauteil. Dieser Problematik muss mit entsprechenden Maßnahmen entgegengewirkt werden. Maßnahmen zur Porositätsminderung lassen sich in folgende Kategorien einteilen:

- > thermische Maßnahmen,
- > mechanische Maßnahmen und
- > metallurgische Maßnahmen.

Im Rahmen eines am Österreichischen Gießerei-Institut durchgeführten Forschungsprojekts werden diese Maßnah-

men untersucht. Ziel der Arbeiten ist es, systematisches Wissen über die verschiedenen Möglichkeiten der Gefügebbeeinflussung zu erarbeiten und das gewonnene Know-how an die Gusshersteller weiterzugeben. Im Folgenden werden die Arbeiten zur Untersuchung der thermischen, mechanischen und metallurgischen Maßnahmen zur Gefügeverbesserung im Druckgießprozess vorgestellt.

Grundlagen

Thermische Maßnahmen zur Gefügeverbesserung

Über den prinzipiellen Aufbau von Temperierprüfständen zur Untersuchung der Wärmeabfuhr durch verschiedene Kühlmedien, strömunglenkende Bauteile und Werkzeugstähle wurde bereits berichtet [1]. Die Prinzipversuche an Temperierprüfständen ergaben, dass die Wärmeabfuhr

in der Druckgießform maßgeblich von den folgenden Faktoren abhängt:

- > Wärmeleitfähigkeit des Werkzeugstahls,
- > Art des Kühlmediums und
- > Art der Strömunglenkung.

Die Ergebnisse der Prüfstands-aufbauten lieferten wichtige Eingangsdaten für weiterführende Untersuchungen anhand von praktischen Druckgießversuchen, vor allem im Hinblick auf die Konzeption eines geeigneten Testwerkzeuges.

Mechanische Maßnahmen zur Gefügeverbesserung

Je nach Erstarrungsverhalten der vergossenen Legierung beträgt die Erstarrungsschwindigkeit des Werkstoffes im Gießprozess 4 bis 7 % [2]. Das fehlende Material wird im Druckgießverfahren über den Verdichtungshub des Kolbens in den Formhohlraum nachgeliefert. Dies kann jedoch nur erfolgen, solange noch eine durchgehende flüssige oder teilflüssige Verbindung zwischen dem Gießkolben und dem jeweiligen Restschmelzenest besteht. Nach dem Abschnüren einer solchen Verbindung kann die Porosität auch durch verstärkte Kühlung in kritischen Bereichen nicht mehr eliminiert werden. In Bezug auf die zu erwartende Porosität müssen Bauteile, die früh vom Gießkolben abschnüren, als kritisch eingestuft werden [2], sofern an die Dichtigkeit dieser Bereiche höhere Anforderungen, als sie durch den Standardprozess erfüllt werden können, bestehen. Unter Umständen muss durch mechanisches Nachverdichten eingegriffen werden. Die mechanische Beeinflussung von kritischen Bauteilbereichen erfolgt beim Druckgießen in erster Linie durch lokales Nachverdichten (Squeezen). Beim Nachverdichten wird nach Abschnüren eines flüssigen oder teilflüssigen Restschmelzenests vom Gießkolben (und somit vom Speisungsweg) ein hydraulischer Stempel, genannt Squeezepin, eingefahren, welcher flüssiges Material nachliefern und somit die Erstarrungsschwindigkeit in diesem Bereich kompensieren soll. Es werden dabei zwei Prozessvarianten unterschieden, das direkte und das indirekte Nachverdichten. Beim direkten Nachverdichten wird der Stempel direkt in einen dem Bauteil zugehörigen Bereich eingefahren; beim indirekten Nachverdichten wird der Stempel in ein externes Schmelzereservoir eingefahren.

An die Prozessführung werden gemäß den obigen Bemerkungen daher die folgenden Anforderungen gestellt:

KURZFASSUNG:

Im Rahmen eines am Österreichischen Gießerei-Institut laufenden und von der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft geförderten Forschungsprojekts werden Maßnahmen zur lokalen Gefügeverbesserung von Druckgussbauteilen mittels thermischer, mechanischer und metallurgischer Beeinflussung untersucht. Ziel des Projekts ist die systematische qualitative und quantitative Charakterisierung der prozesstechnischen Einflussmöglichkeiten im Hinblick auf Gussteilqualität, Gefügeeigenschaften und Prozesssicherheit sowie die Verbesserung der numerischen Methoden zur virtuellen Prozessentwicklung. Auf Prüfständen wurden umfangreiche Untersuchungen zur Wärmeabfuhr mit verschiedenen Kühlmedien, Kühlnormalien bzw. Kühlverfahren sowie unterschiedlichen Formwerkstoffen durchgeführt. Der Einfluss des lokalen Nachverdichtens auf die Porosität und Gefügebildung wurde anhand realer Gussbauteile untersucht. Zur Abbildung praxisnaher Bedingungen wurde ein Druckgießwerkzeug konstruiert und gefertigt, mit dem sowohl der Einfluss gezielter Kühlung als auch des lokalen Nachverdichtens untersucht werden kann. Dieses Werkzeug ist als Doppelform ausgeführt – eine Probe und ein Referenzkörper werden in einem Abguss hergestellt. Dadurch kann der Einfluss der jeweiligen Maßnahmen durch direkte Gegenüberstellung ermittelt werden. Die Klassifizierung der Porosität der Gussteile im Hinblick auf die Temperierung und Nachverdichtung erfolgt mittels Metallografie und röntgenographischer Methoden. Die Ergebnisse dieser ersten Abgüsse werden präsentiert.

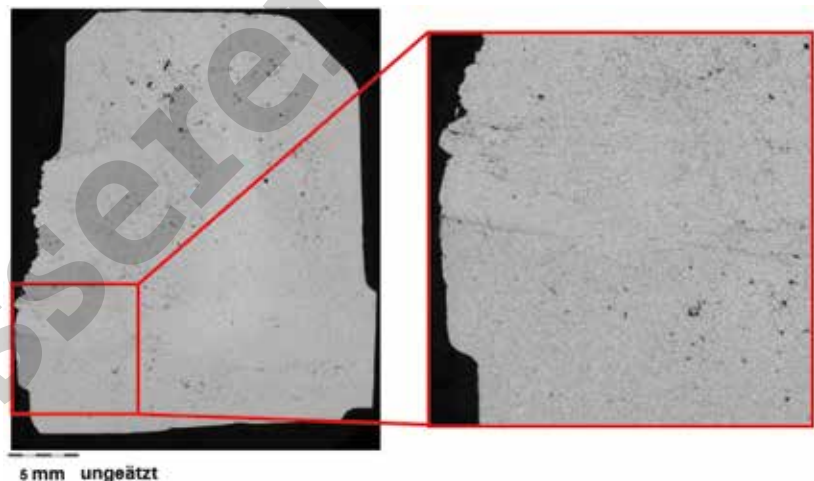


Bild 1: Schnitt durch ein indirekt nachverdichtetes Bauteil. Im Bereich des Eintritts von Material vom Reservoir aus sind Materialtrennungen erkennbar.

- > Der Verfahrenweg und der Durchmesser des Stempels sowie des Reservoirs müssen so eingestellt sein, dass genügend förderbares, flüssiges Material zur Verfügung steht, um die Erstarrungsschwindigkeit zu kompensieren.
- > Der Stempel darf erst zu einem Zeitpunkt in das Reservoir einfahren, zu dem das Restschmelzenest bereits abgeschnürt ist. Anderenfalls wird der Gießkolben zurückgedrängt. Das bedeutet, es darf nicht zu früh mit dem Nachverdichten begonnen werden.
- > Der Einfahrzeitpunkt muss so gewählt werden, dass sich vor dem Stempel noch keine Randschale gebildet hat, die der Stempel nicht mehr durchdringen kann – es darf nicht zu spät mit dem Nachverdichten begonnen werden.
- > Der Druck am Stempel muss so bemessen sein, dass einerseits ausreichend Material durch eventuell bereits teilerstartete Bereiche gefördert werden kann, andererseits darf der Druck nicht so hoch sein, dass bereits erstarrte Bereiche im Einflussbereich des Stempels geschädigt werden.

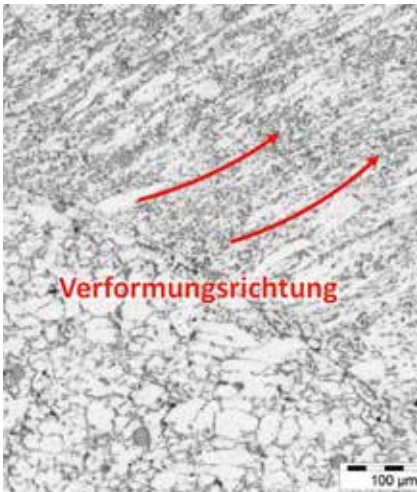


Bild 2: Schliffbild aus dem Übergangsbereich zwischen Grundmaterial und Material, welches vom Squeezezin gefördert wurde. Das geförderte Material lässt deutlich eine Fließrichtung (markiert durch rote Pfeile) erkennen.

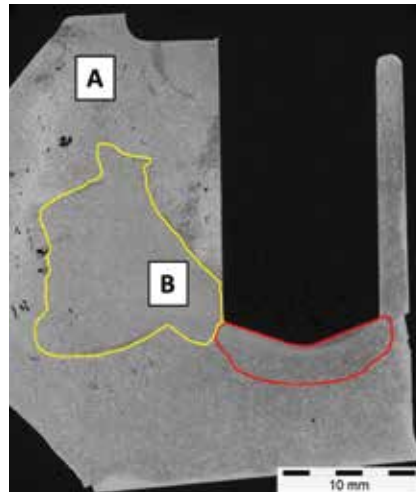


Bild 3: Schnitt durch ein direkt nachverdichtetes Bauteil. Die umrandeten Bereiche zeigen stark vom Stempel beeinflusste Regionen an. Die Buchstaben A und B zeigen die Schliffentnahmepositionen.

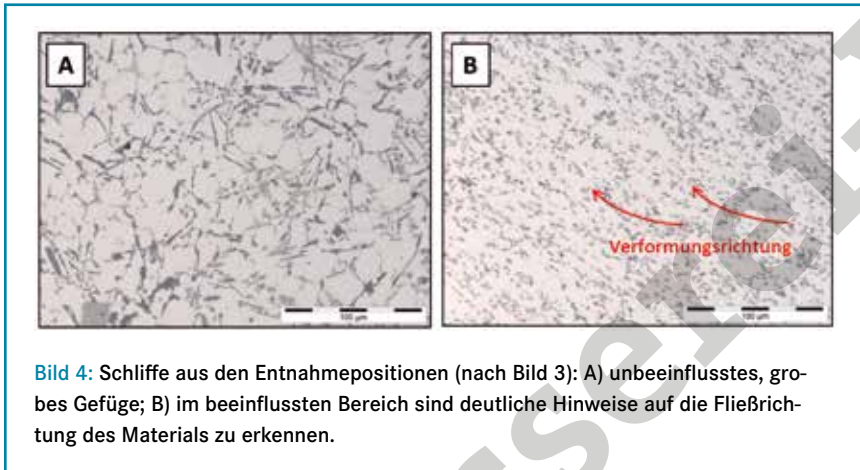


Bild 4: Schliffe aus den Entnahmepositionen (nach Bild 3): A) unbeeinflusstes, großes Gefüge; B) im beeinflussten Bereich sind deutliche Hinweise auf die Fließrichtung des Materials zu erkennen.

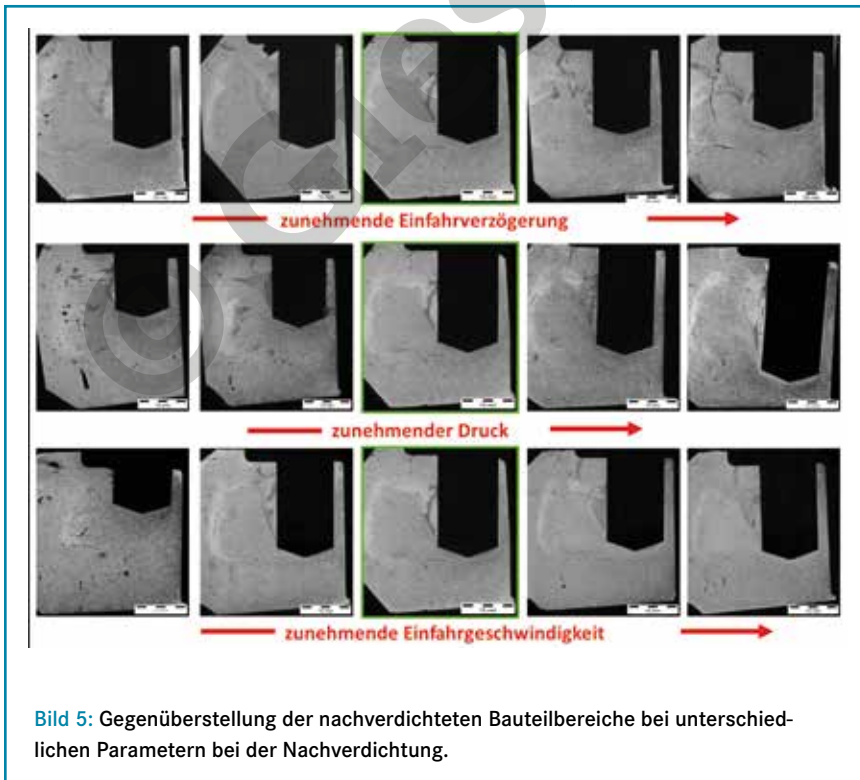


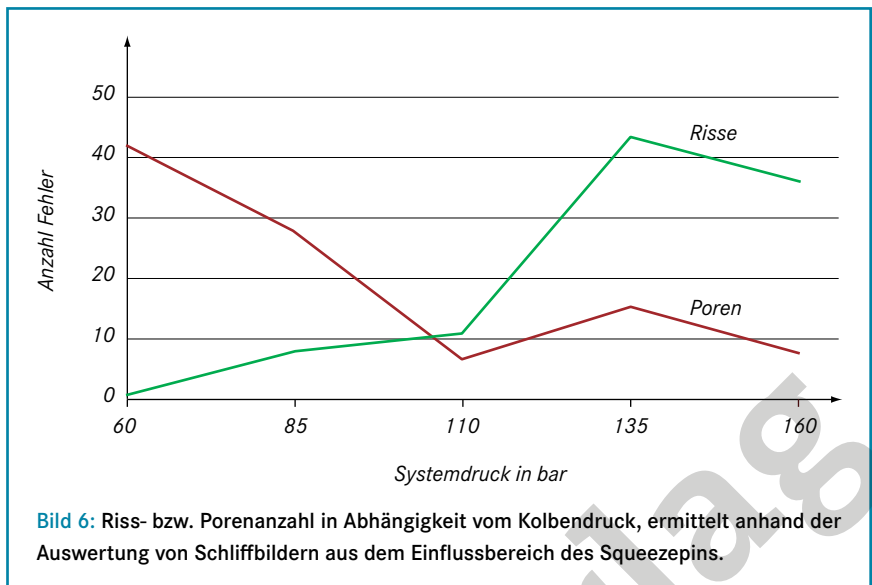
Bild 5: Gegenüberstellung der nachverdichteten Bauteilbereiche bei unterschiedlichen Parametern bei der Nachverdichtung.

In der Praxis werden Systeme zum lokalen Nachverdichten oft erst nachträglich in bereits bestehende Formen implementiert, womit vor allem dem ersten der oben genannten Punkte nicht immer Rechnung getragen werden kann. In der Literatur existieren zudem nur wenige systematische Untersuchungen zur Nachverdichtung [3-5], sodass die optimalen Prozessparameter in aufwendigen Versuchen – oft zulasten des Seriengießbetriebes – an der Druckgießmaschine ermittelt werden müssen. Im Rahmen dieser Arbeit wurde daher ein Druckgießwerkzeug konzipiert und gefertigt, welches die systematische Variation von Prozessparametern sowie der Pin- und Reservoirgeometrie erlaubt. Aus den Erkenntnissen dieser Versuche sollen Vorgaben abgeleitet werden, die dem Gießer als Stellschrauben im Prozess zur Verfügung stehen.

Entwicklung eines Testwerkzeuges anhand von Prinzipuntersuchungen an Gussteilen aus der Industrie

Zur prinzipiellen Untersuchung der Vorgänge beim lokalen Nachverdichten sowie zur Evaluierung der Anforderungen an ein Testwerkzeug wurden Gussteile aus der Industrie metallografischen und computertomografischen Untersuchungen unterzogen. Die Untersuchungen sollten zeigen, wie sich das flüssige oder teilflüssige Material beim Nachverdichten im Einflussbereich des Stempels bewegt und inwiefern die Porosität in diesem Bereich beim Nachverdichten beeinflusst wurde. Im Folgenden werden die beobachteten Phänomene anhand von Schliffbildern kurz erläutert. **Bild 1** zeigt eine Aufnahme eines Bauteilausschnittes aus einem Druckgussteil, bei dem indirekte Nachverdichtung angewendet wurde. Wie im Schliffbild deutlich sichtbar, wurde Material vom Reservoir aus in das Bauteil verdrängt. Im Bereich, der durch die Nachverdichtung beeinflusst wurde, sind Fließlinien erkennbar, die den verdichteten Bereich vom Rest des Gussteils trennen. Dies deutet darauf hin, dass die Materialbindung in diesem Bereich nicht optimal ist, sodass es trotz geringer Porosität in diesem Bereich zu Problemen kommen kann. Dies ist in **Bild 2** noch einmal anhand des Schliffbildes aus dem hervorgehobenen Bereich erkennbar. Die Fließrichtung des verdrängten Materials ist durch rote Pfeile hervorgehoben. Das Material weist eine Art Textur (vergleichbar mit einem Umformgefüge) auf. Dies deutet darauf hin, dass zum Zeitpunkt des Einfahrens des Stempels bereits größere Festphasenanteile vorgelegen haben.

Bild 3 zeigt einen Ausschnitt aus einem Bauteil, bei dem direkte Nachverdichtung zum Einsatz kam. Bei diesem Bauteil ist ein sackförmiger Bereich (gelbe Umrandung) zu erkennen, der im Einflussbereich des Stempels von verdrängtem Material gebildet wird. Unter dem Stempel ist ein Bereich hoher Verdichtung (rote Umrandung) ersichtlich. In Bild 3 sind des Weiteren zwei Schliiffpositionen gekennzeichnet. Schliiff A wurde aus einem vom Stempel unbeeinflussten Bereich entnommen, Schliiff B aus dem Bereich mit verdrängtem Material. Gefügeaufnahmen aus den beiden Schliiffen sind in **Bild 4** gegenübergestellt. Während im Schliiff A ein legierungs- und prozessübliches Gefüge erkennbar ist, zeigt Schliiff B ein wesentlich feineres Gefüge, welches (wie auch in Bild 3) Ähnlichkeit mit einem Umformgefüge aufweist. **Bild 5** zeigt das Ergebnis der Variation der Nachverdichtungsparameter Einfahrverzögerung, Kolbendruck und Einfahrtgeschwindigkeit für das obige Bauteil. Der erreichbare Verdichtungshub steigt mit größer werdendem Druck und sinkt mit zunehmender Einfahrverzögerung. Die Einfahrtgeschwindigkeit nimmt nur bei sehr kleinen Werten Einfluss auf den Hub. Wie ersichtlich, sinkt zwar die zu erwartende Porosität wie oben beschrieben, es entstehen bei hohen Drücken und geringen Einfahrverzögerungen jedoch Risse im Material. Es ergibt sich somit ein optimierter Parametersatz, bei dem die wenigsten Defekte zu erwarten sind. Die mittlere Spalte in Bild 5 (grün umrandet) zeigt diese empirisch optimierten Parameter. Besonders auffällig ist dieser Befund für die Variation des Kolbendrucks. Zur quantitativen Abschätzung der Fehlerarten wurden diese im Schliiffbild abgezählt. Das Ergebnis



dieser Auswertung ist in **Bild 6** dargestellt. Für die untersuchten Bauteile gab es ein Optimum bei einem Druck von etwa 110 bar, bei dem die Gesamtzahl der Fehler minimal ist.

Aus den genannten Untersuchungen ergibt sich, dass beim indirekten Squeezing der Materialfluss zur Materialtrennung in den Bauteilen führen kann. Beim direkten Squeezing ist zusätzlich darauf zu achten, dass im verdichteten Bauteilbereich Risse entstehen können, die die positiven Auswirkungen der Nachverdichtung aufheben oder sogar überwiegen.

Aus der Untersuchung verschiedener Bauteile lassen sich hinsichtlich der Konzipierung eines Testwerkzeuges folgende Schlüsse ziehen:

- > Bei der Auslegung des Werkzeuges ist darauf zu achten, dass es an definierter Stelle der Probe zur Hot-Spot-Bil-

dung kommt. Das mittels Stempel verdrängbare Volumen muss dabei solche Ausmaße haben, dass der Hot-Spot mittels Nachverdichtung theoretisch vollständig verdichtet werden könnte.

- > Beim direkten und indirekten Nachverdichten ist mit unterschiedlichen Fehlermöglichkeiten und Schädigungsmechanismen zu rechnen. Ein Testwerkzeug sollte die Möglichkeit für beide Verfahrensvarianten bieten.
- > Die Verteilung des Materials um den Stempel herum legt den Schluss nahe, dass die Stempel- und die Reservoirgeometrie Einfluss auf das Resultat der Nachverdichtung haben. Es sollten im Werkzeug daher verschiedene Kombinationen von Stempel- und Reservoirgeometrien realisierbar sein.
- > Die Parameter Verdichtungsdruck, Verdichtungshub, Einfahrtgeschwindigkeit und Einfahrverzögerung müssen

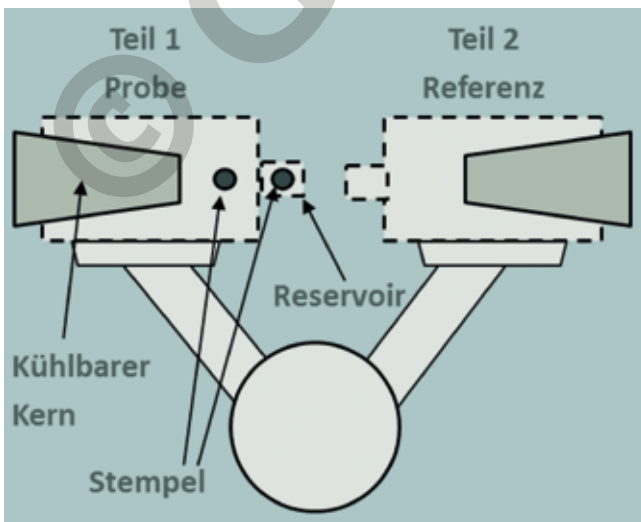


Bild 7: Schematische Darstellung des Formkonzepts für ein Druckgieß-Testwerkzeug.

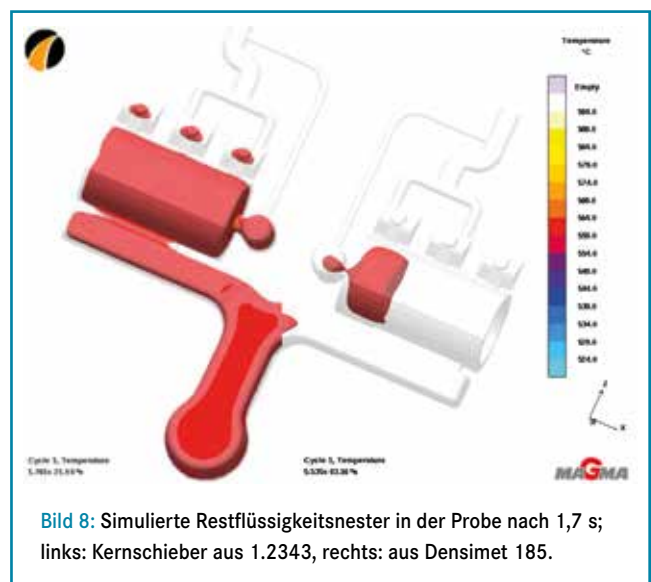




Bild 9: Schnitte durch zwei Probeteile, abgegossen bei unterschiedlichen Nachdrücken: a) 250 bar, b) 1000 bar.

- separat voneinander eingestellt werden können. Zudem muss die Messung der Ist-Größen erfolgen können.
- > Da es beim Druckgießen eine verfahrensbedingte Streuung zwischen Einzelabgüssen gibt, die den Einfluss des Nachverdichtens verwischen könnte, sollten mit einem Schuss eine nachverdichtete Probe und eine Referenzprobe abgießbar sein. Ein Werkzeug mit zwei symmetrisch angeordneten Formnestern ist dafür ideal geeignet.
 - > Da Formwerkstoff, Temperiermedium und Strömungslenkung im Temperierkanal Einfluss auf die erzielbaren Kühlleistungen haben, sollten diese gezielt variiert werden können. Dies kann in einem Testwerkzeug mit variablen Kernen erreicht werden.

Konzeption und Fertigung eines Testwerkzeuges

Entsprechend der vorangehenden Untersuchungen wurde ein geeignetes Testwerkzeug, welches den oben erwähnten Punkten Rechnung trägt, entworfen. Das Konzept des Testwerkzeuges ist in **Bild 7** dargestellt. Das Werkzeug ist als Doppelform mit zwei Formnestern ausgeführt. Der Probekörper selbst ist ein zylindrischer, einseitig offener Körper mit dicker Stirnseite. Die Innenkonturen werden mit Kernen ausgeformt. Die Kerne können mit verschiedenen Kühlnormalien bestückt und aus verschiedenen Materialien gefertigt werden. Die mittig liegenden Reservoirs für das indirekte Nachverdichten sind in einen separaten Block gefräst und somit ebenfalls tauschbar. Die Position des Stempels für die direkte Nachverdichtung ist variabel. Eine Instrumentierung mit Weg-, Temperatur- und

Drucksensoren ist vorgesehen. Die Form ermöglicht somit die Umsetzung aller oben geforderten Punkte im Druckgießprozess. Die gießtechnische Auslegung des Werkzeuges erfolgte mit dem Programmpaket MAGMASoft 5.2. **Bild 8** zeigt die Ergebnisse der Erstarrungssimulation der Proben in Röntgendarstellung. Ausgeblendet sind Bauteilbereiche unter 559 °C, was für die Legierung AlSi9Cu3 einem Festphasenanteil von 40 % entspricht. Die Abbildung zeigt die Temperaturfelder zu zwei verschiedenen Zeitpunkten. Links ist der Zeitpunkt unmittelbar vor dem Abfrieren des Anschnittes dargestellt, rechts der Zeitpunkt unmittelbar vor dem Abfrieren des Squeezereservoirs. Die Zeit zwischen diesen beiden Punkten entspricht dem Prozessfenster, in dem nachverdichtet werden könnte. Dies zeigt, dass die Geometrie sich prinzipiell eignet, um die Nachverdichtungsparameter Einfahrzeitpunkt und Einfahrtgeschwindigkeit innerhalb von druckgießüblichen Zeitfenstern zu variieren. Nach der Optimierung der Geometrie wurde das Werkzeug gefertigt.

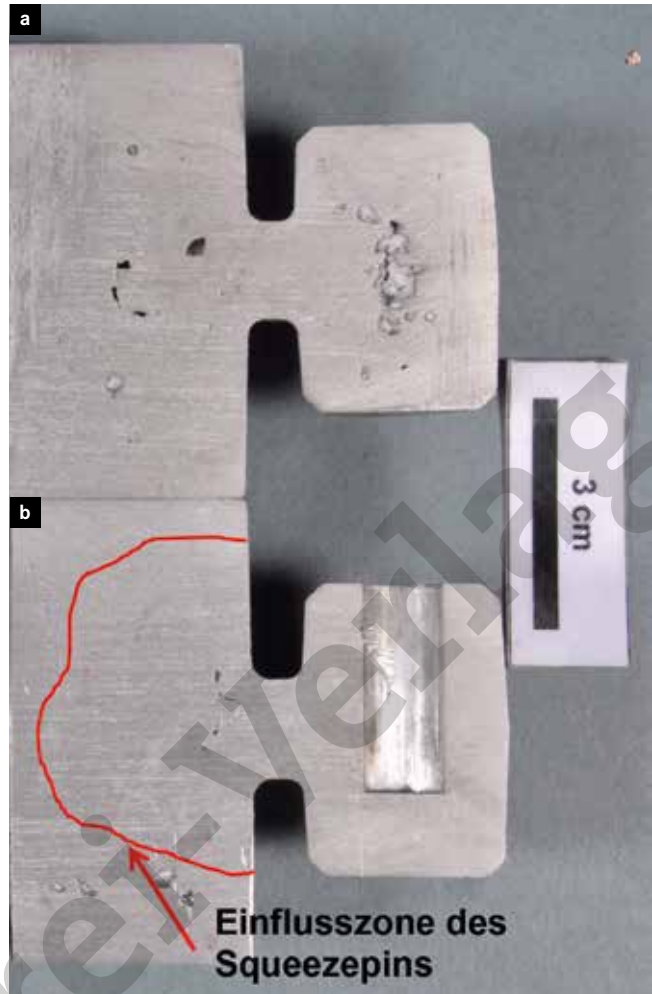


Bild 10: Schnitte durch das thermische Zentrum zweier Proben aus demselben Abguss: a) ohne Nachverdichtung, b) mit indirektem Squeezing.

Versuchsabgüsse mit dem Testwerkzeug

Eine erste Versuchsreihe mit dem neuen Werkzeug wurde mit der Legierung AlSi9Cu3 (Al 226D) durchgeführt. Zunächst wurde überprüft, inwiefern sich die Parameter des Grundprozesses auf die Ungängenbildung in den Gussteilen auswirken. Dazu wurden Kolbengeschwindigkeit und Nachdruck variiert. **Bild 9** zeigt die Gegenüberstellung zweier Proben, die mit unterschiedlichen Nachdrücken hergestellt wurden. Es zeigt sich, dass der Nachdruck starke Auswirkungen auf die Lunkergröße im thermischen Zentrum sowie im Reservoir hat. Ein weiterer, jedoch schwächerer Einfluss wurde für die Kolbengeschwindigkeit festgestellt. Höhere Kolbengeschwindigkeiten führen zu leicht verringerter Porosität im kritischen Bereich. **Bild 10** zeigt das thermische Zentrum zweier Gussteile aus einem Abguss (Probe und Referenz), wobei indirektes Squeezing zum Einsatz kam. Die Einflusszone des Squeezepins ist markiert, die Poren im Zentrum

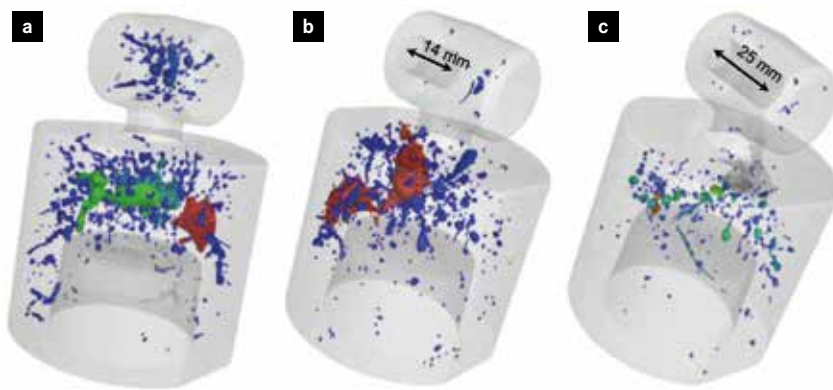


Bild 11: Computertomografische Aufnahmen dreier Proben: a) ohne Nachverdichtung, b) indirekte Nachverdichtung mit spätem Einfahrzeitpunkt, c) indirekte Nachverdichtung mit optimierten Parametern.

wurden teilweise verdichtet. **Bild 11** zeigt Computertomografieaufnahmen dreier Gussteile, wobei in den drei Fällen unterschiedliche Nachverdichtungsparameter verwendet wurden (siehe Bildunterschrift). Der Einfluss des Squeezens und der Squeezeparameter ist deutlich zu erkennen. Der Erfolg des Nachverdichtens lässt sich bereits am Einfahrweg des Squeezepins abschätzen, womit sich eine schnelle Beurteilungsmöglichkeit für den Gießer ergibt. Die Beeinflussung des Hot-Spots kann also sowohl über die Grundparameter des Gießprozesses als auch über die Nachverdichtung erfolgen, woraus sich eine große Funktionalität des Werkzeuges hinsichtlich zu untersuchender Prozessvarianten ergibt. Die Identifikation und systematische Charakterisierung der einflussreichsten Parameter ist das Ziel weiterführender Untersuchungen. Weitere Versuchsserien, in denen die Einflüsse der verwendeten Gusslegierungen und weiterer Parametervarianten überprüft werden, sind geplant.

Zusammenfassung und Ausblick

Basierend auf den Ergebnissen aus Versuchen an Temperierprüfständen sowie auf den der Untersuchung von Gussbauteilen aus der Industrie, wurde ein Konzept für eine Druckgießform zur Untersuchung der Einflussmöglichkeiten auf die Gefüge- und Bauteilqualität durch thermische und mechanische Maßnahmen erstellt. Die Umsetzbarkeit des Konstruktionsentwurfs des Druckgieß-Probewerkzeugs wurde von numerischer Simulation begleitet. Nach der Optimierung des Einsatzes wurde das Testwerkzeug gefertigt, erste Gießversuche wurden durchgeführt. Die Ergebnisse aus

diesen Abgüssen lassen auf das Vorhandensein einer breiten Fülle von prozess-technisch umsetzbaren Einflussmöglichkeiten auf die Qualität der Bauteile mittels lokaler Nachverdichtung schließen. Des Weiteren werden aktuell die gieß-technologischen Eigenschaften verschiedener Druckgusslegierungen untersucht. Die Erkenntnisse aus diesen Untersuchungen werden mit den Probeabgüssen im Druckgießen verknüpft, indem diese in die Legierungsauswahl für die Druckgießversuche einfließen.

Dipl.-Ing. Dr. mont. Peter Hofer, Ing. Klaus-Peter Tucan, Ing. Reinhold Gschwandtner, David Künstner und Ing. Gerhard Schindlbacher, Österreichisches Gießerei-Institut ÖGI, Leoben, Österreich

Literatur:

- [1] *Gießerei-Rundschau* 59 (2012), [Nr. 7/8], S. 211-216.
- [2] *Campbell, J.: Castings. 2. Ausg., Butterworth-Heinemann, UK, 2003. S. 205 ff.*
- [3] *Material and Design* 31 (2010), S. 4237-4234.
- [4] *Journal of Materials Processing Technology* 105 (2000), S. 42-48.
- [5] *Binney, M.; Dargusch, M.; Nave, M., u. a.: Porosity reduction in a high pressure die casting through the use of squeeze pins. Konferenzbeitrag, Konferenz Die Casting in The Heartland, Indianapolis, USA, 16.-18. September 2003.*



- Gießkammern
- Gießbehälter
- Druckgießverschleißteile

Made by Ortmann steht in der Branche für höchste Qualitäts- und Bearbeitungsstandards. Zukunftsweisend verbinden wir effiziente Lösungen für unsere Kunden mit innovativer Druckgießtechnik.

ortmann-druckgiesstechnik.de
info@ortmann-druckgiesstechnik.de

Ortmann
verbindet.



ORTMANN
Druckgießtechnik