

# Veränderte Formenkühlungen erfordern eine angepasste Werkstoffauswahl

Durch das Minimalmengensprühen entfällt die Verdampfung des aufgesprühten Wassers als wesentliche Komponente der bisherigen Formenkühlung. Dadurch verändert sich der gesamte thermische Haushalt der Form drastisch. Die innere Kühlung muss neu konzipiert werden, da die Erstarrung der Gussteile eine ausreichende Wärmeabfuhr voraus setzt. Die einfachste Möglichkeit ist es, weitere Kühlbohrungen dichter an die formgebende Oberfläche zu bringen. Oft wird dies jedoch durch die Auswerfer oder Squeezer verhindert. Häufig werden punktförmig wirkende Kühleinsätze von der Rückseite der Formeinsätze eingebracht. Diese reichen oft bis wenige mm unter die Formoberfläche.

Durch das Minimalmengensprühen steigt einerseits die Formentemperatur an, andererseits erhöhen zusätzlich installierte Kühlbohrungen die Kerbwirkung in den Formeinsätzen.

Diese Faktoren sollten bei der Auswahl der einzusetzenden Warmarbeitsstähle berücksichtigt werden. Bei der Stahlauswahl rücken daher vermehrt Aspekte wie Warmfestigkeit, Zähigkeit und Anlassbeständigkeit in den Fokus. Sonderstähle wie TQ 1, HP 1 oder auch der neu entwickelte CS 1 bieten eine Vielzahl verbesserte Werkstoffeigenschaften an, die dazu beitragen, den veränderten Einsatzbedingungen gerecht zu werden.

Konstrukteure von Druckgießformen tendieren dazu, die Kühlungen bis auf wenige mm an die Formkontur zu führen. Die verwendeten Stähle für Druckgussformen sind aber nicht korrosionsbeständig. Unter dem Einfluss der mechanisch-thermischen Wechselbeanspruchungen können sich korrosionsbedingte Anrisse bis zur Formoberfläche ausbreiten und zur Leckage von Kühlwasser führen. Zähigkeit und Bruchzähigkeit sind deshalb wichtige Qualitätskriterien für den Stahl.

## Modified die cooling processes require an adapted tool steel selection

Minimum spray cooling for die casting dies has been developed in order to reduce the intensive thermal shocks which arise from spraying large quantities of aqueous release agents. Minimum spray cooling aims at an increased lifetime of the dies and improved quality of the castings.

This modified cooling principle results in increased base temperature of the dies and consequently requires steels with an improved tempering resistance, high-temperature strength and toughness as well as good thermal conductivity. For this purpose Kind & Co. recommends the special hot-work tool steels TQ 1, HP 1, and CS 1.

If the inner cooling systems of these dies are modified by additional cooling channels or reduced distances between cooling channel and certain preventive measures are urgently recommended to protect the dies against corrosion from cooling water.

## Einleitung

Im Bereich der Kühlung von Druckgießformen vollzieht sich derzeit ein starker technologischer Wandel. Das „klassische“ Sprühkühlen der Formen – eine Kombination von externem Kühlen und Auftragen eines Trennmittels – wird zunehmend durch das Minimalmengensprühen verdrängt. Treibende Kraft für diese Verfahrensänderung ist die Absicht, den durch das Aufsprühen wasserbasierter Medien entstehenden Thermoschock zu reduzieren. Dies soll das Auftreten von Thermoschockrisse auf der Gravuroberfläche verhindern oder zumindest verzögern und

infolge dessen die Standzeit der Formen verlängern sowie die Oberflächenqualität der Gussprodukte verbessern.

Da beim Minimalmengensprühen die Verdampfungskühlung der Formoberflächen ganz oder weitgehend entfällt, müssen andere Vorkehrungen zur Abfuhr der Wärme aus der Gusslegierung getroffen werden. Für die Konstrukteure der Druckgießformen ergibt sich daraus die Notwendigkeit eines Umdenkens bei der Stahlauswahl und der thermischen Auslegung der Formen.

## Minimalmengensprühen und Formtemperierung

Augenfälligstes Merkmal des Minimalmengensprühens ist die drastische Verringerung der gesprühten Menge an Kühl- bzw. Trennmittel. Während beim „klassischen“ Sprühkühlen durchaus Volumina von 10–20 Liter eines wasserbasierten Trennmittels nach jedem Gießvorgang auf die Gravur einer Druckgießform gesprüht wurden, werden beim Minimalmengensprühen Volumina im Bereich einiger Milliliter je Schuss auf die Formoberflächen gesprüht. Dabei kommen wasserbasierte, aber auch wasserfreie Trennmittel zum Einsatz.

Der Entfall der Verdampfungskühlung des Wassers verändert den thermischen Haushalt einer Form immens. Der nicht unerhebliche Kühleffekt durch die Wasserverdampfung muss ausgeglichen werden, denn die Wärme der Gusslegierung muss abgeführt werden. Ein Anstieg der Formtemperatur im Gesamten, aber auch im Bereich der Gravur ist dabei unvermeidbar.

Die einfachste Möglichkeit, die Kühlung zu verstärken, ist es, weitere Kühlkanäle in die Form einzubringen bzw. deren Abstand zur formgebenden Oberfläche zu reduzieren. Von der Rückseite eingebaute, punktuell wirkende Kühlkörper unterschiedlichster Bauweisen sind eine häufig angewandte Möglichkeit zur Intensivierung der Formenkühlung. Diese in den meisten Fällen mit Wasser gekühlten Punktkühlungen reichen oft bis wenige Millimeter unter die Gravur und sorgen so für eine intensivierete punktuelle Wärmeabfuhr. Häufig jedoch begrenzen Auswerfer oder Squeezer diese Möglichkeit.

Trotz dieser Verstärkung der inneren Kühlung erscheint ein genereller Anstieg der Formentemperatur gegenüber herkömmlich sprühgekühlten Formen kaum vermeidbar. So berichten verschiedene Gießer, dass ihre minimal sprühgekühlten Formen um ca. 100 °C erhöhte Grundtemperaturen erreichen. Bei der thermischen Beanspruchung

Autor:

**Ingolf Schrupf**, Kind & Co.,  
Edelstahlwerk, GmbH & Co., KG.

Tabelle 1: Chemische Zusammensetzungen von Warmarbeitsstählen für Druckgießformen

Stahlbezeichnung		Legierungsgehalt in Mass.-%								
W.-Nr.	Marke	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	Nb
1.2343	USN	0,38	1,00	0,40	< 0,020	< 0,005	5,20	1,20	0,40	---
1.2367	RPU	0,38	0,40	0,40	< 0,020	< 0,005	5,00	3,00	0,60	---
---	TQ 1	0,36	0,25	0,40	< 0,012	< 0,003	5,20	1,90	0,55	---
---	HP 1	0,35	0,20	0,30	< 0,012	< 0,003	5,20	1,40	0,55	+
---	CS 1	0,50	0,30	0,40	< 0,012	< 0,003	1,90	1,90	0,50	+

der formgebenden Oberflächen ist sogar noch mit höheren Spitzentemperaturen zu rechnen.

Für die Konstrukteure der Formen ist zu bedenken, dass zusätzliche Kühlkanäle und Punktkühlungen die Formeinsätze statisch schwächen, denn jede Bohrung muss als innere Kerbe betrachtet werden. Je dichter die Kühlungen an die Gravur gelegt werden, desto höher werden die mechanische und die thermische Beanspruchung der Restwandstärke.

Unter Berücksichtigung der zuvor beschriebenen Veränderungen in der Beanspruchung der Formen wird angeraten, neben der konstruktiven und thermischen Optimierung auch eine Überprüfung der Stahlauswahl vorzunehmen. Mehr als je zuvor sollten dabei wegen der höheren Temperaturen in den Formeinsätzen die Eigenschaften Warmfestigkeit, Warmzähigkeit und Anlassbeständigkeit der Stähle berücksichtigt werden.

### Minimalmengensprühen und Stahlauswahl

Die zuvor beschriebenen Maßnahmen zur Intensivierung der inneren Kühlung von Druckgießformen können über eine Zunahme

der Zahl an Bohrungen in den Formeinsätzen oder deutlich verringerte Abstände zu den formgebenden Oberflächen die Spannungen in den Formeinsätzen während des Gießbetriebes deutlich intensivieren. Geeignete Warmarbeitsstähle müssen in der Lage sein, die veränderten Beanspruchungen thermischer und mechanischer Art zu überstehen.

In das Zentrum der Stahlauswahl rücken daher stärker als bei konventionell gekühlten Formen folgende Stahleigenschaften:

- Verbesserte Anlassbeständigkeit, um ein Erweichen der Formeinsätze bei den erhöhten Temperaturen und den zu erwartenden großen Fertigungslosen zu unterdrücken,
- Ausreichend hohe Warmfestigkeit und Zähigkeit zur Kompensation der auftretenden Spannungen,
- Hohe Wärmeleitfähigkeit, um die Wärme aus der Gusslegierung in die innere Kühlung abzuleiten.

Für konventionell gekühlte Formen die Stähle stellen die Stähle 1.2343 oder 1.2367 h ausreichende Werkstoffeigenschaften bereit. Für den Einsatz in Formen für das Minimalmengensprühen eignen sich jedoch besonders die in Tabelle 1 aufgeführten Sonder-Warmarbeitsstähle TQ 1, HP 1 und CS 1.

Die beiden genormten Warmarbeitsstähle 1.2343 und 1.2367 [1] sind zwei für herkömmliche Druckgießformen häufig eingesetzte Warmarbeitsstähle. Für das Minimalmengensprühen im Druckguss sind sie jedoch aufgrund ihrer Eigenschaftspalette nur noch begrenzt geeignet.

Die drei Sonderstähle TQ 1, HP 1 und CS 1 basieren auf dem Prinzip höchster Reinheit. Nicht nur die Gehalte an Phosphor und Schwefel sind stark abgesenkt, auch die Gehalte zähigkeitsmindernder Begleitelemente sind durch besondere metallurgische Maßnahmen abgesenkt worden, was den Stählen eine außergewöhnlich hohe Zähigkeit verleiht.

Die erste wesentliche Eigenschaft ist die Anlassbeständigkeit der Stähle. Eine hohe Anlassbeständigkeit verhindert das Erweichen der Stähle infolge der Betriebstemperatur. Bild 1 verdeutlicht, dass TQ 1 und HP 1 den Stahl 1.2343 in seiner Anlassbeständigkeit übertreffen und im oberen Bereich der Anlasstemperaturen dem Stahl 1.2367 gleichwertig sind. Auffällig höher ist die Anlassbeständigkeit des neuentwickelten Stahles CS 1, dessen Analysenkonzept gezielt auf eine weiter verbesserte Warmfestigkeit bei zugleich weiterhin guter Zähigkeit ausgerichtet ist. Damit wird verdeutlicht, dass die drei Sonderstähle sowie der Stahl 1.2367 erhöhte Formtemperaturen besser vertragen als der bisher meist verwendete 1.2343.

Im Warmzugversuch wird deutlich, welche der beschriebenen Stähle auch bei erhöhten Temperaturen noch über hohe Warmfestigkeit verfügen (Bild 2). Mit steigender Prüftemperatur kommt es zunächst zu einem für alle Stähle ähnlichem Abfall der 0,2 % Dehngrenze  $R_{p0,2}$ . Oberhalb einer Prüftemperatur von ca. 350 °C werden deutliche Unterschiede zwischen den Stählen erkennbar. Die Grafik verdeutlicht, dass oberhalb dieser Temperatur die Sonderstähle TQ 1 und HP 1 deutlich höhere Werte für die Dehngrenze aufweisen als die Stähle 1.2343 und 1.2367. Die mit Abstand höchsten Werte für  $R_{p0,2}$  erreicht im oberen Temperaturbereich der neuentwickelte Stahl CS 1.

Die Brucheinschnürung als Maß für die Zähigkeit (Bild 2) lässt erkennen, dass TQ 1 und HP 1 über nahezu den gesamten Temperaturbereich die höchsten Werte der Brucheinschnürung erreichen. Der Stahl CS 1 liegt über nahezu den gesamten Temperaturbereich auf dem Niveau der Stähle 1.2343 und 1.2367, oberhalb von 450 °C übersteigt er deren Niveau trotz seiner hohen Warmfestigkeit. Damit wird für TQ 1, HP 1 und CS 1 die besondere Kombination einer sehr hohen

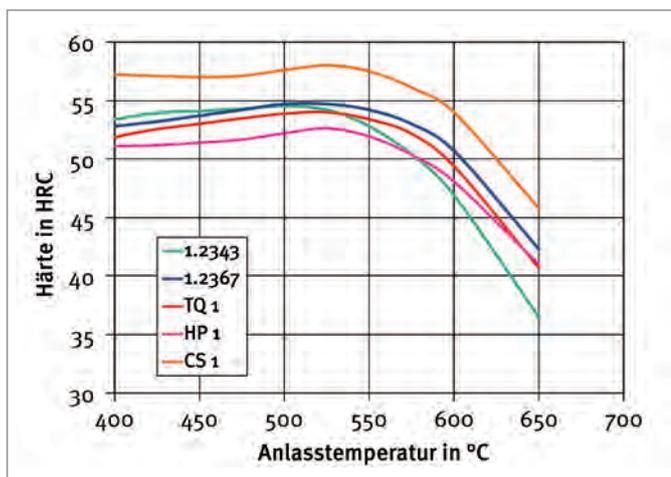


Bild 1: Anlasskurven von Warmarbeitsstählen

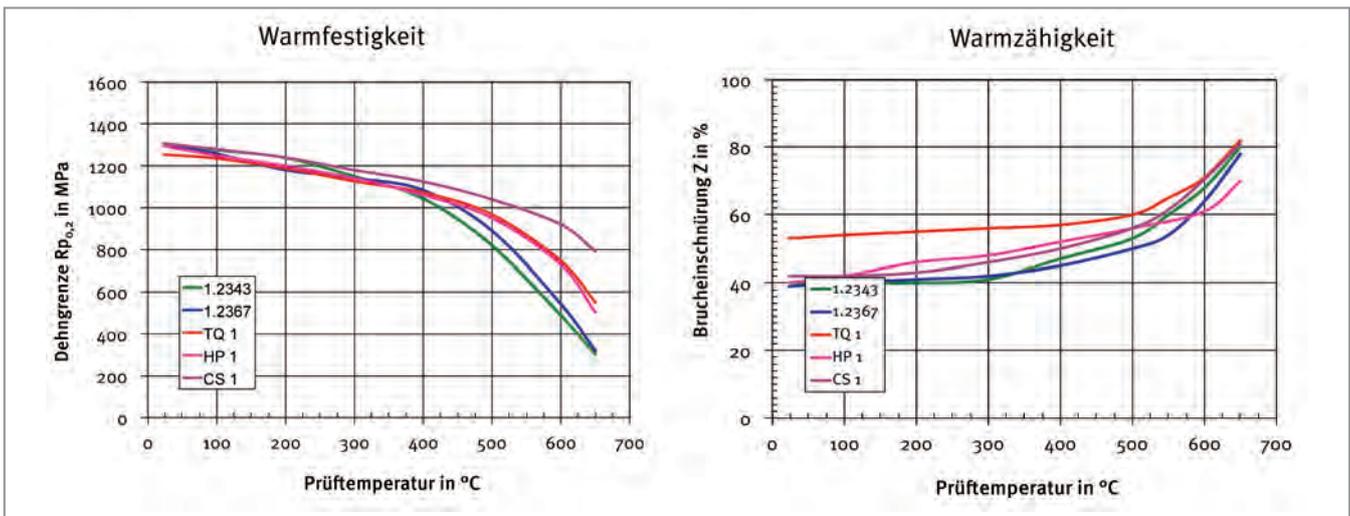


Bild 2: Warmfestigkeit und -zähigkeit von Warmarbeitsstählen

Warmfestigkeit in Kombination mit guter Zähigkeit verdeutlicht. Diese Eigenschaftskombination gewinnt immer dann an Bedeutung, wenn die Abstände zwischen Gravuroberfläche und Kühlkanälen reduziert, also die im Gießprozess mechanisch und thermisch beanspruchten Querschnitte verringert werden und die Werkzeugtemperaturen steigen.

Die Wärmeleitfähigkeit der Werkzeugstähle ist die Eigenschaft, die für die Abfuhr der mit der Gusslegierung eingebrachten Wärme in das innere Kühlsystem verantwortlich ist. Durch den Wegfall der Verdampfungskühlung beim Sprühen kommt dieser Eigenschaft eine noch größere Bedeutung zu als bei herkömmlich gesprühenden Formen zu. Ein weiterer Aspekt ist, dass eine hohe Wärmeleitfähigkeit dazu beitragen kann, lokale Temperaturspitzen zu verringern.

Die Werte der Wärmeleitfähigkeit sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Die beim Minimalmengensprühen wegen einer ausreichenden Kühlung der Formeinsätze eingebrachten zusätzlichen Kühlka-

näle, Punkt-Kühlkörper und/oder verringerte Abstände zwischen Kühlung und formgebender Oberfläche erfordern ein sorgfältiges Kühlwasser-Management. Keiner der hier vorgestellten Warmarbeitsstähle ist gegenüber Wasser korrosionsbeständig. Ein besonderes Gefahrenpotenzial wird von dem im Wasser gelösten Chlor hervorgerufen. Schon der in Deutschland für Trinkwasser maximal zulässige Chlorgehalt (max. 250 ppm Cl-) ist in der Lage, in derartigen Werkzeugen Lochfraßkorrosion in Kühlkanälen auszulösen. Steigende Chlorgehalte und Temperaturen intensivieren diese Reaktion zusätzlich [2].

Unter dem gleichzeitigen Einwirken mechanischer und thermischer Spannungen wächst gerade bei geringen Abständen der Kühlung zur formgebenden Oberfläche das Risiko einer Leckage in die Gravur hinein. Stähle mit hoher Anlassbeständigkeit, verbesserter Warmfestigkeit und zugleich hoher Zähigkeit bieten ein deutlich höheres Potenzial, Spannungsspitzen auszugleichen und derartige Schäden zu vermeiden.

## Zusammenfassung

Das Minimalmengensprühen im Druckgießbereich wurde entwickelt, um die intensiven Thermoschocks infolge des Aufsprühens großer Mengen wasserbasierter Trennmittel zu vermindern. Ziel ist es, die Lebensdauer der Formen zu steigern und die Qualität der Druckgießteile zu verbessern.

Der Anstieg der Formgrundtemperatur infolge dieser veränderten Kühlung erfordert Stähle mit einer verbesserten Anlassbeständigkeit, Warmfestigkeit und -zähigkeit sowie einer guten Wärmeleitung. Kind & Co. empfiehlt für diese Zwecke die Sonder-Warmarbeitsstähle TQ 1, HP 1 und CS 1.

Sofern die betroffenen Formen Modifikationen des inneren Kühlsystems in Form weiterer und evtl. auch dichter an die formgebende Oberfläche reichender Kühlbohrungen erfahren, sind besondere Schutzmaßnahmen gegen Korrosion durch Kühlwasser sinnvoll. ◀

## Literatur

- [1] DIN EN ISO 4957 Werkzeugstähle. Beuth Verlag, Berlin 2001
- [2] R. Rahn, I. Schruff: "The Selection of Tool Steels for Hot-Stamping Tools with Respect to Increased Loads", Proc. Hot Sheet Metal Forming of High Performance Steel CHS<sup>2</sup>, Toronto, Canada, 2015, S. 659–668

Tabelle 2: Wärmeleitfähigkeit von Warmarbeitsstählen für Druckgießformen (Zustand gehärtet und angelassen 45 HRC)

Stahlbezeichnung		Wärmeleitfähigkeit $\lambda$ in W/(m * K) bei einer Prüftemperatur von		
W.-Nr.	Marke	100 °C	400 °C	600 °C
1.2343	USN	26,8	27,3	29,3
1.2367	RPU	29,9	32,4	34,0
---	TQ 1	29,8	31,4	33,0
---	HP 1	29,5	30,5	31,5
---	CS1	28,8	29,4	30,1