

Kriterien der Stahlauswahl und Härtefestlegung bei Druckgießformen

Druckgießen ist eine sehr vielseitige und effiziente Produktionstechnologie zur Herstellung nahezu einbaufertiger Teile oder Komponenten. Die Palette der durch Druckgießen erzeugten Teile ist äußerst weitreichend. Sie beginnt bei kleinen Möbelbeschlägen, beinhaltet Gehäuse vielfältigster Elektromotoren oder Pumpen, PKW-Motorenblöcke sowie Stufen von Rolltreppen, Getriebegehäuse von Bussen mit mehr als 40 kg Teilgewicht und schließlich sogar PKW-Türen. Es ist naheliegend, dass diese Produktvielfalt auch entsprechend unterschiedliche Anforderungen an die eingesetzten Druckgießformen nach sich zieht.

Ein wirtschaftlicher Druckgießprozess setzt zuverlässig arbeitende Formen voraus. Werkzeugbedingte Unterbrechungen des Gießprozesses oder überproportional hohe Nacharbeitskosten der Produkte wirken sich unmittelbar auf die Fertigungskosten der Gussteile aus. Druckgießformen aus Warmarbeitsstählen verdanken ihr Verhalten im Gießprozess im Wesentlichen der chemischen Zusammensetzung der sowie der Wärmebehandlung der Formen. Der vorliegende Bericht gibt Hinweise zur Auswahl geeigneter Warmarbeitsstähle und zur Festlegung der Gebrauchshärte der Formen. Darüber hinaus werden Hinweise gegeben, in welcher Weise die eingestellte Härte Einfluss auf weitere Eigenschaften der eingesetzten Stähle nimmt.

Criteria of Steel Selection and Hardness Definition for Pressure Die Casting Dies

Pressure die casting of light metals nowadays allows to produce a wide variety of components like fixtures for furniture, bodies of electrical engines, cylinder blocks for cars and even doors and other structural components of premium cars. An economic die casting process requires reliable dies which are based on carefully selected steels and proper heat treatment. Among the most important criteria for the selection of the steel are size and complexity of the die inserts, wall thickness of the castings and desired surface properties. Special hot-work tool steels like TQ 1 and HP 1 combine improved properties like increased toughness and thermal fatigue resistance offering the chance to build dies with clearly improved performance. This is very beneficial in large-scale dies.

The hardness of steel is directly related to other material properties like toughness and thermal fatigue resistance. The working hardness has to be defined case by case. An increase of hardness results on the one hand in an increased wear resistance and thermal fatigue resistance but reduces the toughness of the steel on the other hand. The limits of hardness recommendations will be explained.

Warmarbeitsstähle für Druckgießformen

Der in Deutschland seit Jahrzehnten am häufigsten verwendete Warmarbeitsstahl für Druckgießformen ist der Stahl 1.2343 (X37CrMoV5-1). Aufgrund seiner ausgewogenen Kombination von Anlassbeständigkeit, Warmfestigkeit und -zähigkeit und Thermoschockbeständigkeit ist er für viele Druckgießformen mit Standardanforderungen geeignet. Der Stahl 1.2344 (X40CrMoV5-1) weist aufgrund seines erhöhten Vanadinhalt eine bessere Anlassbeständigkeit und Warmfestigkeit auf. Für Formen mit verbes-

serter Thermoschockbeständigkeit wurde in der Vergangenheit häufig der Stahl 1.2367 (X38CrMoV5-3) verwendet, der aufgrund seines erhöhten Molybdängehaltes über eine höhere Warmfestigkeit und Wärmeleitfähigkeit als die beiden zuvor genannten Stähle verfügt.

Die Weiterentwicklung der Gussteile und damit auch der Anforderungen an die Formen gingen einher mit der Entwicklung neuer Warmarbeitsstähle mit deutlich verbesserten Eigenschaften. Fortschritte in der Stahlmetallurgie ermöglichten eine drastische Absenkung der Gehalte von Schwefel, Phosphor und schädlicher Begleitelemente aus dem

Schrottkreislauf der Stähle, was wiederum eine deutlichen Verbesserung mechanisch-technologischer Eigenschaften, vor allem der Zähigkeit, bewirkte. Kind & Co. wendet diese Erkenntnisse in der Erzeugung der Sonder-Warmarbeitsstähle TQ 1 und HP 1 an.

Mit der Entwicklung des Stahles HTR wurde Kind & Co. den Marktforderungen nach deutlich verbesserter Wärmeleitfähigkeit gerecht.

An dieser Stelle sei noch einmal darauf hingewiesen, dass Druckgießformen nur aus Stählen gefertigt werden sollen, die über das Elektro-Schlacke-Umschmelzverfahren (ESU) oder gleichwertige Umschmelzprozesse erzeugt wurden.

Eine Übersicht über die für den Leichtmetall-Druckguss geeigneten Warmarbeitsstähle aus dem Haus Kind & Co. liefert Tafel 1.

Kriterien der Stahlauswahl

Die Auswahl eines geeigneten Warmarbeitsstahles für eine Druckgießform setzt zunächst eine grundlegende Analyse des zu gießenden Teils voraus. Zu berücksichtigen sind hierbei vor allem die nachfolgenden Aspekte:

- Größe, Geometrie und Komplexität des Gussstücks,
- Wandstärke,
- Oberflächenanforderungen (Sichtteile) und die
- Geplante Stückzahl.

Große Gussstücke wie z. B. Bus- oder LKW-Getriebegehäuse oder Federbeinaufnahmen für PKWs stellen an die eingesetzten Formen hohe Ansprüche. Große Schmelzmengen müssen in kurzer Zeit in die Form gefüllt werden, ohne dass dabei bereits eine erste Erstarrung einsetzt. Dies gelingt im Allgemeinen nur dann, wenn die Schmelze mit entsprechend hoher Gießtemperatur und hohem Druck in die Form geschossen wird. Die dadurch in den Formeinbauten auftretenden hohen mechanischen und thermischen Spannungen müssen vom Formeinbau durch eine möglichst hohe Zähigkeit des Stahles kompensiert werden, um Risse in hoch belasteten Bereichen der Formeinbauten zu verhindern. Vielfach wird für derartige Formen der Stahl 1.2343 verwendet, jedoch kann dieser hierbei bereits an die Grenzen seiner Anwendbarkeit stoßen. Eine höhere Zuverlässigkeit der Formen kann durch Stähle mit verbesserter Zähigkeit erreicht werden. Einen

Autor:
Dipl.-Ing. **Ingolf Schruff**, Kind & Co.,
Edelstahlwerk, KG, D-51674 Wiehl

Tafel 1: Chemische Zusammensetzungen von Warmarbeitsstählen für Druckgussformen

Bezeichnung		Legierungsgehalt in Gew.-%									
W.-Nr.	Marke	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	W	Nb
1.2343	USN	0,37	1,00	0,40	< 0,020	< 0,005	5,20	1,20	0,40	---	---
1.2344	USD	0,40	1,00	0,40	< 0,020	< 0,005	5,20	1,30	1,00	---	---
1.2367	RPU	0,38	0,40	0,40	< 0,020	< 0,005	5,00	3,00	0,50	---	---
---	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	---	+
---	HTR	0,32	0,20	0,30	< 0,015	< 0,003	2,20	1,20	0,50	3,80	--

Vergleich der Zähigkeitspotenziale verschiedener Warmarbeitsstähle ermöglicht Bild 1.

Höhensprünge im Gussteil, wie sie in gegossenen Längs- oder Querträgern von PKWs auftreten, sind an entsprechende Volumenunterschiede der Formeinsätze gekoppelt. Derartige Volumen- und Massenunterschieden innerhalb der Einsätze führen zu Temperaturunterschieden und damit zu thermisch induzierten Spannungen. Stähle mit einem hohen Zähigkeitspotenzial sowie einer hohen Wärmeleitfähigkeit, z.B. TQ 1 und HP 1, tragen zu einer Reduktion der Spannungen im Formeinsatz und somit zu einer höheren Zuverlässigkeit im Gießbetrieb bei.

Komplexere Gussteile wie Federbeinaufnahmen oder Gehäuse für Telekommunikationseinrichtungen weisen zur mechanischen Stabilisierung bzw. zur verbesserten Wärmeabfuhr Verrippungen auf. Die Kerbwirkung der dafür benötigten Aussparungen in den Formen wird durch die unter hohem Druck

einströmende Schmelze und die damit einhergehende Sprengwirkung verstärkt. Im Gegensatz zu flachen Konturen benötigen derartige Formeinsätze eine besonders hohe Zähigkeit, die bereits bei der Stahlauswahl und bei der späteren Festlegung der Härte berücksichtigt werden muss. Werden derartige Formen zudem durch Elektroerodieren gefertigt, ist bei der Stahlauswahl zu berücksichtigen, dass dieses Verfahren die Oberfläche der Stähle verändert und ausgeprägte Spannungen im Formeinsatz hervorruft. Für derartige Anwendungsfälle haben sich die Sonderwarmarbeitsstähle TQ 1 und HP 1 weltweit bewährt.

Bei den Premium-PKWs gewinnen Strukturbauerteile aus Leichtmetall-Druckguss immer mehr Bedeutung. Hierzu zählen die bereits zuvor genannten Federbeinaufnahmen sowie Längs- und Querträger, aber auch immer häufiger komplette Türen. Sicht- und Montageflächen solcher Strukturbauerteile

erfordern einen Formenstahl mit höchster Beständigkeit gegen den auftretenden Thermoschock, um die besonders hohen Oberflächenanforderungen sicher erfüllen zu können. Unter den in Tafel 1 aufgeführten Stählen eignen sich für derartige Formen die Stähle TQ 1 und HP 1.

Weisen die erzeugten Gussteile Dichtungsnuten auf, müssen die eingesetzten Formen eine hohe Warmfestigkeit und Anlassbeständigkeit sowie Thermoschockbeständigkeit aufweisen. Diese Anforderungen lassen sich schnell damit erklären, dass der Steg am Formeinsatz, der die Dichtungsnut am Gussteil abbildet, auf mindestens drei Seiten von der Schmelze umspült und damit bei jedem Schuss sehr stark erhitzt wird. Formen für derartige Gussteile werden idealerweise aus Sonderwarmarbeitsstählen, die über entsprechend verbesserte Eigenschaften verfügen, gebaut. Die ausgezeichnete Thermoschockbeständigkeit und die hohe Wärmeleitfähigkeit des Stahles TQ 1 können bei derartigen Formeinsätzen deutlich verbesserte Gießleistungen hervorrufen.

Die Wandstärke eines Gussteils steht im direkten Zusammenhang mit der thermischen Beanspruchung des entsprechenden Bereichs des Formeinsatzes. Dickwandige Gussteile, z.B. mit Wandstärken ab 3 mm aufwärts, bringen eine große Wärmemenge auf die Formoberfläche ein und verstärken die thermische Beanspruchung der Formoberfläche. Im Gegensatz dazu bringen dünnwandige Gussteile eine vergleichsweise geringe Wärmemenge in die Form ein, so dass dabei die Gefahr einer Erstarrung vor Abschluss des Füllvorganges besteht. Dieses Risiko wird oft dadurch vermieden, dass man die Temperatur und auch die Fließgeschwindigkeit des zu vergießenden Metalls erhöht. Den erhöhten Beanspruchungen der Form durch die erhöhte Temperatur und höhere Fließgeschwindigkeit der Schmelze muss durch die Auswahl eines Stahles mit ausreichender Anlassbeständigkeit entgegen gewirkt werden.

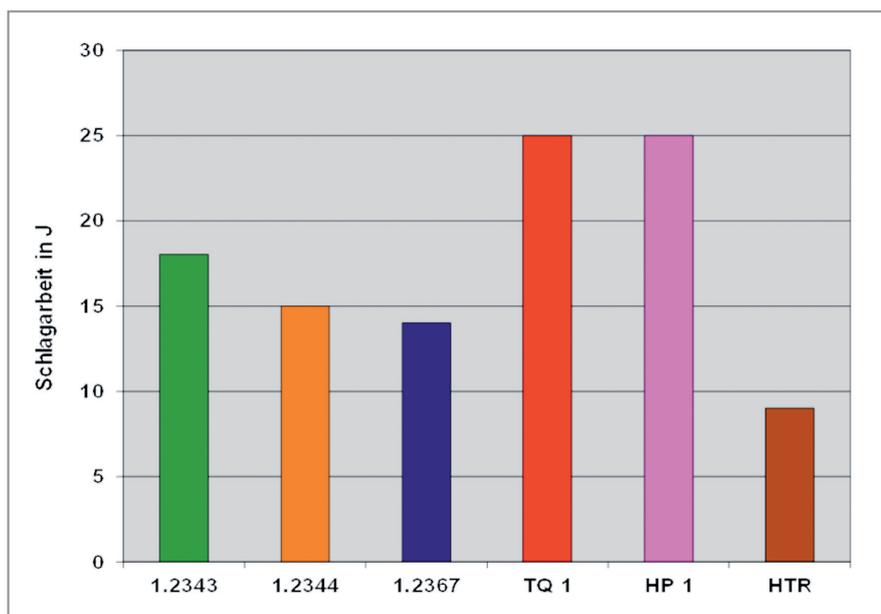


Bild 1: Zähigkeitspotenzial verschiedener Warmarbeitsstähle (ISO-V-Kerbschlagbiegeproben, Querrichtung, Härte: 45 HRC)

Tafel 2: Wärmeleitfähigkeit λ in W / (m x K) für verschiedene Warmarbeitsstähle (vergütet)

Werkstoffnummer	Markenbezeichnung	Prüftemperatur in °C		
		20	200	400
1.2343	USN	26,8	27,8	27,3
1.2344	USD	25,5	27,1	27,7
1.2367	RPU	29,9	32,1	32,4
--	TQ 1	29,8	31,0	31,4
---	HP 1	29,5	30,5	30,5
---	HTR	35,2	34,6	33,0

Berücksichtigt werden sollte ferner, dass innerhalb großer Formeinsätze stärkere Temperaturdifferenzen zu erwarten sind. Somit nimmt das Risiko thermisch bedingter Spannungen mit zunehmender Größe des Formeinsatzes zu. Dies bedeutet, dass mit zunehmender Größe eines Formeinsatzes das Zähigkeitspotenzial des eingesetzten Stahles an Bedeutung gewinnt. In derartigen Fällen sollte der Wechsel vom meist verwendeten Stahl 1.2343 zu Sonder-Warmarbeitsstählen wie HP 1 oder TQ 1 ernsthaft in Erwägung gezogen werden.

Schließlich sollte bei allen Erwägungen zur Stahlauswahl die geplante Zahl von Gussteilen berücksichtigt werden. Kleinserien von wenigen tausend Teilen oder Prototypen benötigen nicht dieselben hochentwickelten Formenstähle wie Gussteile mit sichtbaren Oberflächen. Für derartige Formen ist im Regelfall der Stahl 1.2343 ausreichend. Sollen jedoch Losgrößen von deutlich mehr als 100.000 Teilen gefertigt werden, gewinnen die Sonder-Warmarbeitsstähle wie TQ 1 oder HP 1 zunehmend an Bedeutung. Bei Formen aus diesen Stählen entwickelt sich das durch Thermoschockrisse hervorgerufene Rissnetzwerk deutlich später und mit verzögerter Rissausbreitungsgeschwindigkeit. Der anfangs höhere Materialpreis für diese Stähle wird nicht nur durch eine längere Lebensdauer der Formen, sondern auch durch eine verbesserte Gussteilqualität kompensiert. Dies setzt jedoch eine sachgerechte Wärmebehandlung sowie ordnungsgemäße Handhabung der Formen voraus.

Bei einigen Gussteilen kann es infolge von örtlichen Materialansammlungen bei der Erstarrung zur Lunkerbildung kommen. Diesem Phänomen kann durch eine raschere Wärmeabfuhr während der Erstarrung begegnet werden. Teileinsätze aus Stählen mit verbesserter Wärmeleitfähigkeit wie der Sonder-Warmarbeitsstahl HTR tragen erheblich dazu bei, Hot-Spots zu vermeiden und somit Lunken vorzubeugen. Einen Überblick über die

Wärmeleitfähigkeit verschiedener Warmarbeitsstähle liefert Tafel 2.

Kriterien zur Festlegung der Härte

Neben der Stahlauswahl bestimmt die eingestellte Härte der Formen in entscheidender Weise deren Leistungsfähigkeit. Die Härte ist eine einfach zu messende Eigenschaft und dient als Kontrollmerkmal bei der Wärmebehandlung, dem Härten und Anlassen, der Formen.

Die Wärmebehandlung einer Druckgießform erfolgt üblicherweise unter Angabe einer einzustellenden Zielhärte. Entsprechend der Stahlsorte und der einzustellenden Härteleg

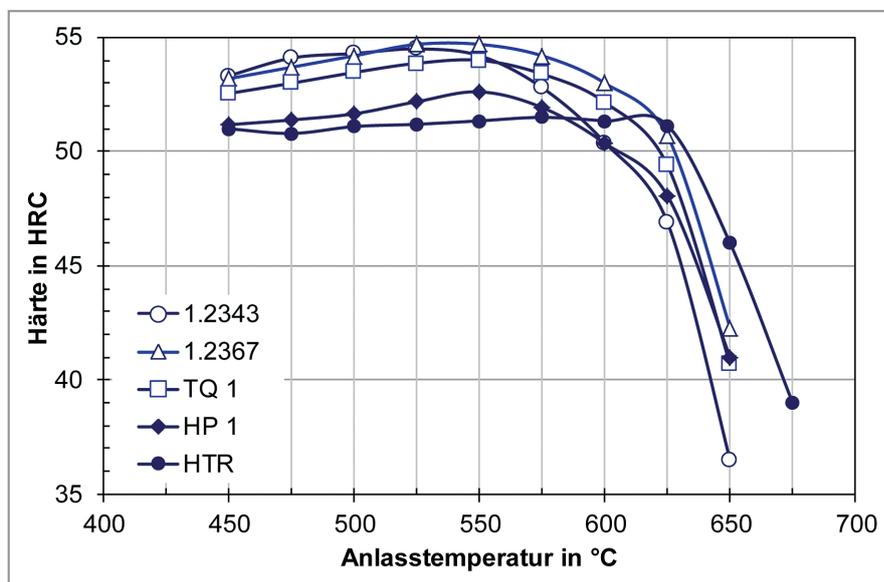


Bild 2: Anlasskurven von Warmarbeitsstählen

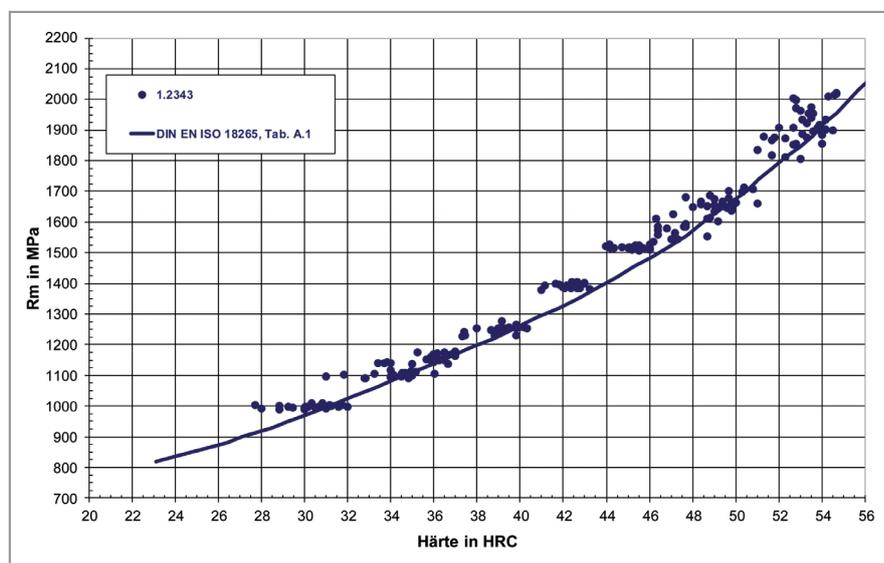


Bild 3: Zusammenhang zwischen Härte und Zugfestigkeit am Beispiel des Stahles 1.2343

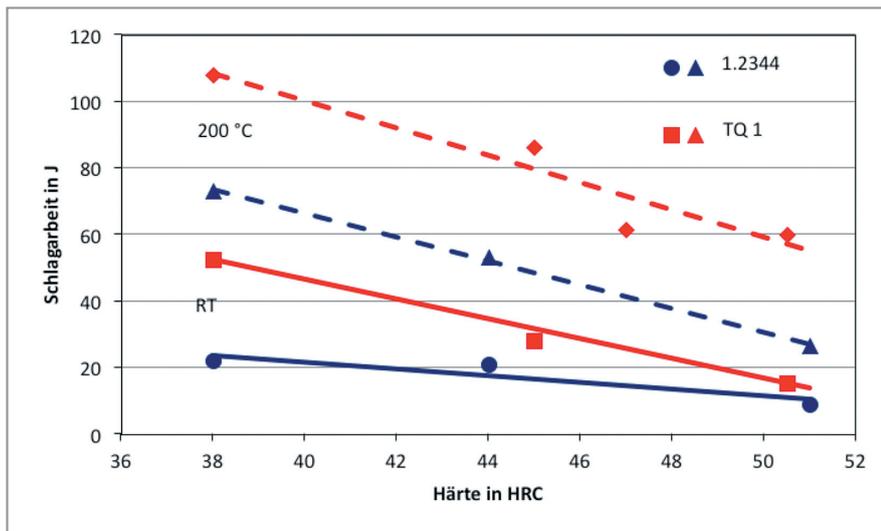


Bild 4: Einfluss der Härte auf die Kerbschlagbiegearbeit (ISO-V-Querproben) von Warmarbeitsstählen bei Raumtemperatur und erhöhter Prüftemperatur

werden die Parameter Härtetemperatur, Verweildauer auf der Härtetemperatur (Haltezeit), Abschreckbedingungen und Anlasstemperaturen festgelegt. Die Wärmebehandlung erfolgt heute nahezu ausnahmslos in Vakuum-Härteöfen.

Die stahlspezifischen Anlasskurven (Bild 2) ermöglichen dem Wärmebehandler die zielgerichtete Vorgabe der Anlasstemperaturen.

Die Festlegung der einzustellenden Härte hängt von zahlreichen Faktoren ab, da die Härte mit verschiedenen anderen Eigenschaften direkt im Zusammenhang steht. Am Beispiel des Stahles 1.2343 verdeutlicht Bild 3 [1] den Zusammenhang zwischen Härte und Zugfestigkeit.

Mit der steigenden Festigkeit geht eine Zunahme der Ermüdungsfestigkeit und damit der Thermoschockbeständigkeit einher. Gleichzeitig ist damit aber auch ein Rückgang an Zähigkeit verbunden (Bild 4), so dass mit steigender Härte auch das Risiko von Spannungsrissen zunimmt.

Aufgrund der spezifischen Formen und der Volumenunterschiede einer Druckgießform lässt sich die einzustellende Härte nie auf exakt 1 HRC festlegen. Erforderlich ist vielmehr die Angabe einer Ziel-Härtespanne von +/- 1 HRC um einen anzustrebenden Härtewert. Diese Härtespanne resultiert daraus, dass unterschiedlich dicke Segmente eines Formeinsatzes beim Abschrecken während

des Härtens unterschiedlich schnell abkühlen. Im Regelfall ist die Spanne von +/- 1 HRC bei den meisten Formeinsätzen ausreichend weit gefasst. Formeinsätze mit Kantenlängen von mehr als ca. 600 mm, z. B. bei Formen für PKW-Türen, benötigen jedoch eine aufgeweitete Spanne von ca. +/- 1,5 HRC.

Zahlreiche Formen aus dem Warmarbeitsstahl 1.2343 werden auf eine Härte von 45 +/- 1 HRC gehärtet und angelassen. Senkt man die Härte weiter ab in Richtung 41 HRC, kann man einem eventuell geometrisch bedingten Spannungsriss im Gießbetrieb entgegen wirken. Die Folge ist jedoch eine höhere Sensibilität gegenüber Thermoschocks. Auch wird der Widerstand gegenüber Verschleiß reduziert.

Steigert man die Härte auf bis zu 50 HRC, lässt sich die Beständigkeit gegenüber Thermoschocks deutlich verbessern, jedoch wird das Risiko von Spannungsrissen, gerade an scharfen Kanten oder engen Radien, deutlich gesteigert [2].

Um Spannungsrisse zu vermeiden sollten Formen aus dem Stahl 1.2343 die Härte den Wert von 47 HRC nicht überschreiten. Bei den Stählen 1.2344 und 1.2367 liegt dieser Grenzwert bei 46 HRC. Sonder-Stähle wie TQ 1 und HP 1 verfügen über ein deutlich höheres Zähigkeitspotenzial, so dass Formen aus diesen Stählen auch durchaus bis auf 48–50 HRC gehärtet und angelassen werden können. Auf diese Weise lässt sich der ohne-

hin bereits außergewöhnlich hohe Widerstand dieser beiden Stähle gegenüber Thermoschockrisse noch weiter steigern.

Zu berücksichtigen sind aber bei derartigen Härtevariationen immer auch die spezifischen Geometrien einer Form. Nur so lassen sich Eigenschaften zielgerichtet optimieren.

Der Sonder-Warmarbeitsstahl HTR weist aufgrund seiner hohen Warmfestigkeit ein deutlich verringertes Zähigkeitspotenzial auf. Aus diesem Grund sollte bei diesem Stahl die Härte auf max. 42 HRC begrenzt sein.

Zusammenfassung

Neben den bekannten, genormten Warmarbeitsstählen 1.2343, 1.2344 und 1.2367 wurden in den letzten Jahren Sonder-Warmarbeitsstähle mit deutlich verbesserten Eigenschaftsprofilen entwickelt. Die wesentlichen Kriterien zur Stahlauswahl wie Formengröße und -komplexität, Wandstärke der Gussteile und gewünschte Oberflächenbeschaffenheit der Gussteile wurden beschrieben. Sonder-Warmarbeitsstähle wie TQ 1 und HP 1 vereinen verbesserte Eigenschaften wie höhere Zähigkeit und Thermoschockbeständigkeit und bieten damit die Möglichkeit, Formen mit deutlich besserer Leistungsfähigkeit zu bauen. Dies kommt gerade bei großformatigen Formen zum Tragen.

Die Härte eines Stahles steht im direkten Zusammenhang zu anderen Werkstoffeigenschaften wie Zähigkeit und Thermoschockbeständigkeit. Die Festlegung der Arbeitshärtespanne bedarf immer einer individuellen Betrachtung einer Druckgießform. Eine Härtesteigerung bewirkt einerseits eine Erhöhung des Verschleißwiderstandes und der Thermoschockbeständigkeit der Form, andererseits wird die Zähigkeit des Stahles reduziert und das Risiko eines Spannungsrisses. Die Grenzen für sinnvolle Härteempfehlungen wurden erläutert. ◀

Schrifttum

- [1] Schruff: The conversion of hardness and tensile strength according to DIN EN ISO 18265 – a daily and riskful routine; Proceedings of the 8th International Tooling Conference “Tool Steels – Deciding Factor in Worldwide Production”, Aachen, 02.–04. Juni 2009, Vol. 1, S. 321–330
- [2] NADCA Die Material Committee: Special Quality Die Steel & Heat Treatment Acceptance Criteria for Die Casting Dies. NADCA #207-2011; North American Die Casting Association, Wheeling, IL 60090, USA, 2011