

# Moderne Warmarbeitsstähle für Druckgussformen

Im Druckguss erzeugte Komponenten aus Leichtmetall finden heute immer stärkere Verbreitung in nahezu allen Bereichen des täglichen Lebens. Die Palette der täglich genutzten, im Druckguss erzeugten Komponenten beginnt bei kleinen Möbelbeschlägen aus Zink, beinhaltet moderne Bratpfannen und Kochtöpfe sowie Gehäuse für Telekommunikationseinrichtungen. Die gießtechnisch sicher größte Herausforderung ist in der Fertigung von Strukturbauteilen aus der Automobilindustrie gegeben.

Die Gussteile reichen von Stückgewichten von wenigen Gramm bis zu über 50 kg. Entsprechend unterschiedlich sind auch die an die Formen bzw. die eingesetzten Warmarbeitsstähle gestellten Anforderungen. Die qualitativen Anforderungen sind jedoch generell in den letzten Jahren massiv angestiegen. Feinste Gussteile, die in modernen Mobiltelefonen zum Einsatz kommen, erfordern bei filigranen Strukturen eine höchste Oberflächengüte. Zahlreiche Strukturbauteile wie Autotüren haben sichtbare, lackierte Flächen, so dass auch hier an die Oberflächenrauheit der Gussteile und damit an die Thermoschockbeständigkeit der Warmarbeitsstähle die höchsten Anforderungen gestellt werden.

Die kostengünstige Produktion derartiger Druckgussteile erfordert heute mehr denn je leistungsfähige Druckgussformen, die die Erzeugung hoher Stückzahlen mit hoher Teilequalität bei gleichzeitig kurzen Taktzeiten ermöglichen.

Als Werkstoff für Druckgussformen stehen drei international genormte Warmarbeitsstähle zur Verfügung. Sie verfügen über Eigenschaftsprofile, die eine wirtschaftliche Erzeugung zahlreicher Standardteile im Druckguss ermöglichen. Mit zunehmender Komplexität, aber auch mit zunehmender Größe der Gussteile reichen die Eigenschaftsprofile der etablierten, genormten Warmarbeitsstähle für eine wirtschaftliche Fertigung nicht mehr aus.

Vor dem Hintergrund der ständig steigenden Anforderungen an die Qualität der Gussteile und damit an die Eigenschaften der für die Formen eingesetzten Warmarbeitsstähle hat Kind & Co. drei Sonder-Warmarbeitsstähle mit optimierten Eigenschaften entwickelt, die nachfolgend beschrieben werden.

## Modern Hot-work Tool Steels for Die Casting Dies

The increasing versatility of die cast products, from furniture fixtures to structural components of cars, motivated Kind & Co. as leading system supplier of material solutions to develop additional sophisticated special hot-work tool steels.

The two special grades TQ 1 and HP 1 are based on the principle of highest cleanliness and are characterized by a unique combination of high-temperature strength, toughness, and thermal fatigue resistance. The use of these grades provides great advantage especially in dies for products with highest surface requirements. These grades have also proved their suitability for products characterized by smallest radii or sharp corners.

The use of TQ 1 and HP 1 drastically delays the appearance of heat checking cracks on the die surfaces. The high thermal conductivity compensates thermal stresses in the dies. Dies made of TQ 1 or HP 1 are not only less sensitive to unscheduled maintenance but in average they also achieve higher production figures. This way they highly contribute to an economically optimized die casting production.

The special grade HTR offers an enormous tempering resistance and high-temperature strength. As it also offers a clearly improved thermal conductivity HTR is recommended as a die material for partial inserts which are exposed to extreme thermal influence.

### Warmarbeitsstähle für Druckgussformen

Tabelle 1 enthält neben den chemischen Zusammensetzungen der drei gebräuchlichsten Warmarbeitsstähle mit den Werkstoffnummern 1.2343, 1.2344 und 1.2367 auch

die Zusammensetzungen der von Kind & Co. entwickelten Sonder-Warmarbeitsstähle TQ 1, HP 1 und HTR.

In allen Fällen handelt es sich um martensitische Warmarbeitsstähle mit den Hauptlegierungselementen Chrom, Molybdän und Vanadin, die über das Elektro-Schlacke-

Umschmelzverfahren (ESU) erzeugt werden.

Die Warmarbeitsstähle 1.2343, 1.2344 und 1.2367 sind in der DIN EN ISO 4957 [1] auf internationaler Ebene genormt. Der Stahl 1.2343 verfügt über eine ausgewogene Kombination von Warmfestigkeit und Warmzähigkeit und ist damit der am häufigsten für Druckgussformen eingesetzte Warmarbeitsstahl in Westeuropa. Mit seinem höheren Vanadengehalt entwickelt 1.2344 eine etwas höhere Warmfestigkeit und Anlassbeständigkeit als 1.2343, weist jedoch eine geringere Zähigkeit auf. Traditionsgemäß findet dieser Stahl besonders in den USA Verwendung in Druckgussformen. Infolge seines auf 3,00 % erhöhten Molybdängehaltes weist der Stahl 1.2367 eine deutlich bessere Warmfestigkeit und Anlassbeständigkeit auf als die beiden zuvor genannten Stähle. Dieser Vorteil ist jedoch mit einer spürbaren Einbuße an Zähigkeit verbunden.

Die Sonder-Warmarbeitsstähle TQ 1 und HP 1 bauen auf dem Prinzip höchster Reinheit auf. Dies zeigt sich nicht nur in den abgesenkten Gehalten von Phosphor und Schwefel, sondern auch in drastisch reduzierten Gehalten schädlicher Begleitelemente, die sich üblicherweise im Schrottkreislauf anreichern und sich negativ auf die Zähigkeit von Stählen auswirken. Die ebenfalls erkennbare Absenkung der Kohlenstoff- und Siliziumgehalte wirkt sich in diesem Umfang zusätzlich positiv auf die Zähigkeit aus. In Kombination mit den genannten Molybdän- und Vanadengehalten entwickelt TQ 1 eine besondere Eigenschaftskombination von sehr hoher Zähigkeit, Warmfestigkeit, Anlassbeständigkeit und Thermoschockbeständigkeit.

Der Stahl HP 1 basiert ebenfalls auf dem Prinzip der höchsten Reinheit. Gegenüber TQ 1 wurde jedoch sein Molybdängehalt reduziert. Damit wurde zum Zeitpunkt der Stahlentwicklung den extremen Preissteigerungen des Legierungselementes Molybdän Rechnung getragen. Durch das Zulegieren von Niob und eine Anpassung der empfohlenen Härtetemperatur erreicht HP 1 jedoch dieselbe Warmfestigkeit wie TQ 1.

Die Zusammensetzung des dritten Sonderstahles – HTR – ist auf eine erhebliche Steigerung der Warmfestigkeit, Anlassbeständigkeit und Wärmeleitfähigkeit ausgerichtet. Demzufolge wurde sein Chromgehalt

Autor:

**Ingolf Schruff**

Leiter Anwendungstechnik Werkzeugstähle  
Kind & Co., Edelstahlwerk, KG  
D - 51674 Wiehl

Tabelle 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	--

deutlich abgesenkt. Die reduzierten Kohlenstoff- und Chromgehalte tragen ihrerseits zur Zähigkeit dieses Stahles bei.

### Eigenschaften der beschriebenen Stähle

Die Vorteile der Sonder-Warmarbeitsstähle lassen sich am besten durch einen Vergleich der Eigenschaften beschreiben.

Anlass-Schaubilder sind nicht nur ein wichtiges Arbeitsmittel bei der Wärmebehandlung von Druckgussformen, sondern sie helfen auch bei der Auswahl geeigneter Warmarbeitsstähle. Sie beschreiben die Veränderung der Härte der Stähle infolge einer Erwärmung.

Bild 1 gibt die Anlasskurven der hier vorgestellten Stähle wieder, wobei aus Gründen der Übersichtlichkeit der in Deutschland weniger häufig genutzte Stahl 1.2344 unberücksichtigt bleibt. Mit Ausnahme des Stahles HTR weisen die genannten Stähle bei Anlasstemperaturen zwischen 500 und 550 °C ein ausgeprägtes Sekundärhärtemaximum auf. Mit weiter steigenden Anlasstemperaturen fällt die Härte ab, wobei aus der Steilheit des Kurvenabfalles auf die Anlassbeständigkeit geschlossen werden kann. Je

steiler die Anlasskurve eines Stahles abfällt, desto geringer ist seine Anlassbeständigkeit, desto empfindlicher reagiert der Stahl auf Erwärmungen im Gießbetrieb. Die Kurven belegen die gegenüber 1.2343 bessere Anlassbeständigkeit des Stahles 1.2367. Im technisch interessanten Bereich der Anlasstemperaturen oberhalb von 550 °C erreichen TQ 1 und HP 1 nahezu dieselbe Anlassbeständigkeit wie 1.2367. Der Sonderstahl HTR weist durch seinen hohen Wolframgehalt eine erheblich höhere Anlassbeständigkeit auf als die übrigen gezeigten Stähle. Das Sekundärhärtemaximum ist nicht nur um ca. 70 °C zu höheren Anlasstemperaturen verschoben, auch fällt der Kurvenverlauf bei Temperaturen oberhalb dieses Maximums vergleichsweise gering ab.

Die hohe Anlassbeständigkeit dieser Sonder-Warmarbeitsstähle trägt dazu bei, dass die daraus gefertigten Druckgussformen die betriebsbedingte Erwärmung besser überstehen als Formen aus den drei genormten Stählen.

Um den hohen mechanischen Beanspruchungen im Gießbetrieb widerstehen zu können, müssen Druckgussformen über eine ausreichende Festigkeit bei erhöhten Temperaturen verfügen. Als Maß für die Warmfestigkeit

wurde in Bild 2 die bei steigender Prüftemperatur im Zugversuch gemessene Rp0,2%-Dehngrenze in Abhängigkeit von der Prüftemperatur dargestellt. Alle geprüften Stähle waren zuvor auf eine Ausgangsfestigkeit von  $R_m = 1450 \text{ N/mm}^2$  gehärtet und angelassen worden.

Die Darstellung verdeutlicht, dass bis zu einer Prüftemperatur von ca. 400 °C keine signifikanten Unterschiede in der Warmfestigkeit der Stähle auftreten. Oberhalb dieser Temperatur unterscheiden sich die Sonderstähle signifikant durch erheblich höhere Warmfestigkeitswerte von den drei genormten Stählen. Auch hier zeichnet sich der Stahl HTR durch besonders hohe Warmfestigkeit aus.

Da die mechanischen Belastungen einer Druckgussform sehr schlagartig auftreten, müssen die eingesetzten Warmarbeitsstähle über ein hohes Zähigkeitspotenzial verfügen. In Bild 3 sind Zähigkeitswerte der beschriebenen Stähle für die Härte von 45 HRC miteinander verglichen. Unter den drei genormten Warmarbeitsstählen fällt die Schlagzähigkeit in der Reihenfolge 1.2343 – 1.2344 – 1.2367 ab. Im Vergleich zum Warmarbeitsstahl 1.2343 entwickeln die beiden Stähle TQ 1 und HP 1 jedoch ein um ca. 25 % höheres

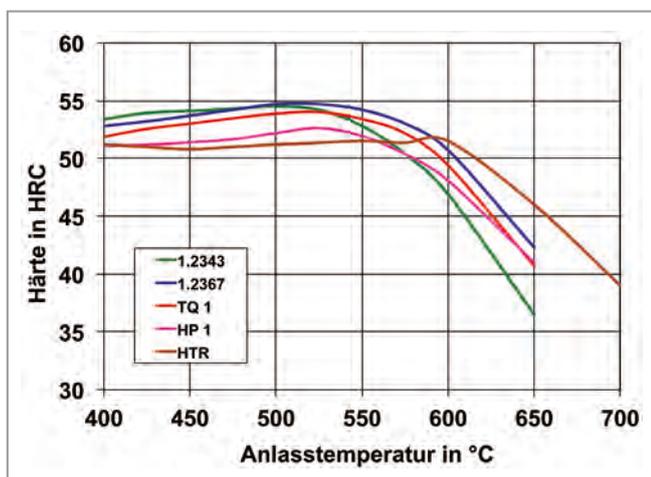


Bild 1: Anlassverhalten von Warmarbeitsstählen

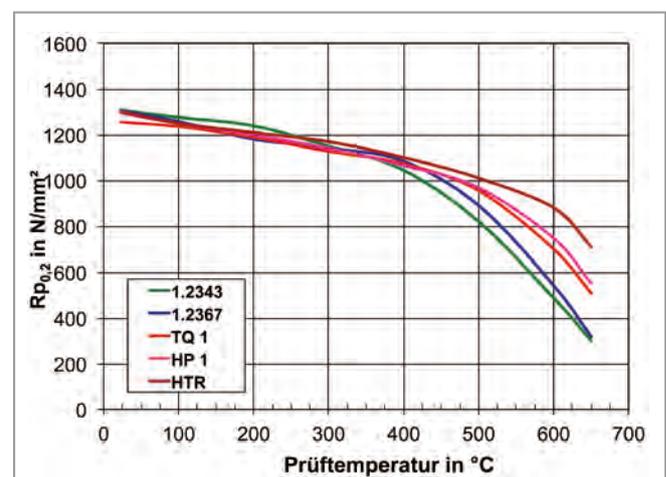


Bild 2: Warmfestigkeit von Warmarbeitsstählen

Tabelle 2: Wärmeleitfähigkeit von Warmarbeitsstählen.  
Zustand: Gehärtet und angelassen auf 45 HRC

Stahlbezeichnung		Wärmeleitfähigkeit $\lambda$ in W/m x K		
W.-Nr.	Marke	20 °C	200 °C	400 °C
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

Tabelle 3: Richtwerte zum Härten von Warmarbeitsstählen

Stahlbezeichnung		Härte-Temp. in °C	Haltezeit in min
W.-Nr.	Marke		
1.2343	USN	1000	45
1.2344	USD	1020	45
1.2367	RPU	1030	45
---	TQ 1	1010	60
---	HP 1	1020	60
---	HTR	1060	60

Zähigkeitspotenzial. Lediglich der Wolframlegierte Stahl HTR entwickelt aufgrund seiner hohen Warmfestigkeit ein niedrigeres Zähigkeitsniveau, das bei der Festlegung der Gebrauchshärte für diesen Stahl berücksichtigt werden sollte (max. 42 HRC).

Der mit jedem Gießzyklus verbundene Thermoschock, der an der Formkontur aus dem Kontakt mit der zu vergießenden Schmelze und der späteren Sprühkühlung resultiert, führt im Laufe der Zeit zu einer thermischen Ermüdung des Formenstahles. Als Folge dessen bilden sich mit zunehmender Nutzungsdauer an den Konturoberflächen netzwerkartig ausgebildete Thermoschockrisse. Diese Risse formen sich nicht nur auf dem Gussteil ab und erfordern aufwendige Nacharbeit der Gussteile, sie schädigen auch zunehmend die Formen.

Eine hohe Thermoschockbeständigkeit des Formenstahles trägt daher entscheidend zur hohen Gesamtlebensdauer der Form und zur Produktivität des Gießprozesses bei.

Die Aufnahmen in Bild 4 geben die Ausbildung und die durchschnittliche Länge von Thermoschockrisse nach Prüfstandversuchen wieder. Diese selbst erklärenden Bilder zeigen deutlich, dass die Thermoschockbeständigkeit in der Reihenfolge 1.2343 – 1.2344 – 1.2367 – TQ 1 / HP 1 – HTR zunimmt. Dies ist insbesondere für Formen, mit denen Teile mit Sichtflächen oder Dich-

tungsnuten gegossen werden, sehr wesentlich.

Eine weitere wesentliche Eigenschaft von Warmarbeitsstählen für Druckgussformen ist die Wärmeleitfähigkeit, denn sie bestimmt maßgeblich die Zykluszeit und damit auch die Effektivität des Gießprozesses. Darüber hinaus trägt eine hohe Wärmeleitfähigkeit erheblich dazu bei, thermisch bedingte Spannungen in Formeinsätzen auszugleichen. So trägt sie direkt zur Steigerung der Formenlebensdauer bei.

Tabelle 2 stellt die Wärmeleitfähigkeit der Stähle gegenüber, gemessen im gehärteten und angelassenen Zustand (45 HRC).

### Wärmebehandlung von Druckgussformen

Die in Druckgussformen zum Einsatz kommenden Warmarbeitsstähle können ihre Gebrauchseigenschaften nur dann entwickeln, wenn sie sachgerecht gehärtet und angelassen werden. Heute zählt die Vakuumwärmebehandlung weltweit zum Stand der Technik bei der Wärmebehandlung von Druckgussformen.

Kind & Co. betreibt im eigenen Werk eine der modernsten und leistungsfähigsten Vakuumhärtereien Europas. Den Formenbauern stehen hier fünf Vakuumöfen mit einer Chargerlast von bis zu mehr als 5.500 kg zur Ver-

fügung. Das Know-how der Mitarbeiter und die ausgereifte Anlagen- und Prozesstechnik sind dabei verantwortlich für die erfolgreiche Wärmebehandlung.

Für das Gelingen des Härten und Anlassens ist es zwingend notwendig, bestimmte Grundvoraussetzungen kompromisslos zu befolgen. Neben der Einhaltung der vorgegebenen Härtetemperaturen und Haltezeiten ist es erforderlich, die Formeinsätze mindestens zweimal, bei Gewichten über 300 kg mindestens dreimal anzulassen. Die dabei ablaufenden Vorgänge erlauben keine Beschleunigung der Prozesse – dies würde unweigerlich zu qualitativen Einbußen führen.

Für die Warmarbeitsstähle aus dem Hause Kind & Co. gelten die in Tabelle 3 aufgeführten Härtetemperaturen und Haltezeiten auf Härtetemperatur:

### Anwendungsempfehlungen

Die drei bekannten Warmarbeitsstähle sind aufgrund ihrer Eigenschaftsspektren für zahlreiche Standard-Druckgussanwendungen geeignet. Unter den genormten Stählen weist der Stahl 1.2343 die höchste Zähigkeit auf, wodurch er in Westeuropa am häufigsten eingesetzt wird. Beim Stahl 1.2367 sorgt die vergleichsweise höhere Warmfestigkeit für eine bessere Thermoschockbeständigkeit, so dass dieser Stahl vor allem immer dann

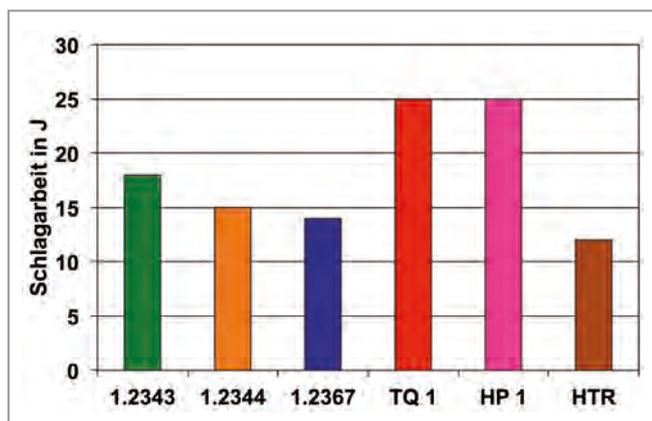
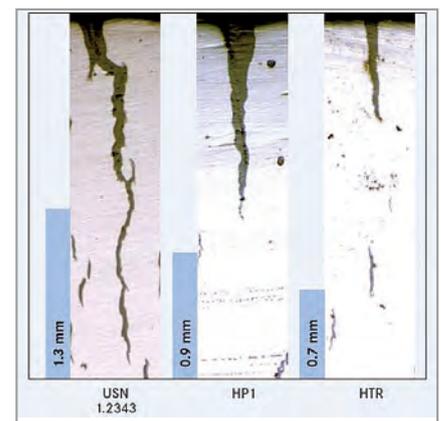


Bild 3: Zähigkeit von Warmarbeitsstählen

Bild 4: Ausbildung und mittlere Länge von Thermoschockrisse an Proben aus unterschiedlichen Warmarbeitsstählen Prüfbedingungen: 600 °C / Wasser, 4000 Zyklen



zum Einsatz kam, wenn Formen mit höheren Ansprüchen an die Oberflächenbeschaffenheit gebaut werden sollten.

Wie die oben beschriebenen Eigenschaftsvergleiche verdeutlichen, weisen jedoch die Sonderstähle TQ 1 und HP 1 Eigenschaftskombinationen auf, die mit den genormten Stählen nicht zu erreichen sind.

Aufgrund der Kombination einer sehr hohen Warmfestigkeit und Warmzähigkeit – beide Eigenschaften verhalten sich üblicherweise gegenläufig – weist TQ 1 eine erheblich bessere Thermoschockbeständigkeit auf. Dies macht TQ 1 gerade für solche Formen geeignet, in denen Teile mit Sichtflächen gegossen werden sollen. Hierzu zählen immer häufiger sogenannte Strukturbauteile aus der Automobilindustrie wie z. B. Türen oder Federbeinstützen.

Da die Eigenschaften von TQ 1 und HP 1 weitestgehend gleich sind, stellt sich die Frage, welcher Stahl bei welcher Anwendung zum Einsatz kommen sollte. Beide Stähle eignen sich für Formen, die Teile mit höchsten Oberflächenansprüchen, mit feinen Radien oder scharfen Kanten fertigen sollen. Die Entscheidung zwischen diesen beiden Stählen sollte an Hand der Formenabmessungen getroffen werden, da sich die Stähle in ihrem Umwandlungsverhalten beim Härten voneinander unterscheiden. Die Tatsache, dass beim Stahl TQ 1 die ungewünschte Zwischenstufenumwandlung (bainitische Umwandlung) beim Härten zu erheblich späteren Zeiten verschoben ist, wirkt sich besonders bei großformatigen Formeinsätzen positiv auf die

mechanischen Eigenschaften aus. Daher bietet sich eine abmessungsabhängige Differenzierung zwischen beiden Stählen an:

Bei großformatigen Teilen wie Formen für Strukturbauteile aus der Automobilindustrie sollte bevorzugt TQ 1 eingesetzt werden, bei Formeinsätzen mit Wandstärken unter etwa 150 mm bietet sich der Stahl HP 1 an.

Bei der Verwendung des besonders temperaturbeständigen Stahles HTR ist unbedingt zu beachten, dass das Zähigkeitspotenzial dieses Stahles aufgrund seiner hohen Warmfestigkeit gegenüber den anderen hier beschriebenen Stählen reduziert ist. Sein Einsatz bietet sich daher als Teileinsatz für bestimmte Bereiche eines Formeneinsatzes an, die besonders hoch thermisch beansprucht werden. Seine besonders hohe Wärmeleitfähigkeit kann dazu beitragen, Lunker im Gussteil an Stellen mit Ansammlungen von Gussmaterial zu vermeiden. In thermisch besonders hoch beanspruchten Bereichen lässt sich mit Teileinsätzen aus HTR der Befall mit Thermoschockrisen erheblich verzögern.

## Zusammenfassung

Vor dem Hintergrund einer immer größer werdenden Palette von Gussprodukten, die vom Möbelbeschlag bis zu sichtbaren Karosserieteilen beim PKW reicht, hat Kind & Co. als führender Anbieter von Werkstoff-Systemlösungen zusätzlich zu den üblichen, genormten Warmarbeitsstählen drei weitere Sonderwarmarbeitsstähle entwickelt.

TQ 1 und HP 1 zeichnen sich durch eine

besondere Kombination von Warmfestigkeit, Zähigkeit und Thermoschockbeständigkeit aus. Ihr Einsatz bringt den Gießern besonders in den Fällen deutliche Vorteile, in denen Gussteile mit höchsten Oberflächenanforderungen zu fertigen sind. Auch bei Produkten, die sich durch minimale Radien oder scharfe Kanten auszeichnen, bewährt sich der Einsatz dieser Stähle.

Der Einsatz dieser Sonderwarmarbeitsstähle verzögert das Auftreten schädlicher Thermoschockrisse auf den Formenoberflächen erheblich. Die hohe Wärmeleitfähigkeit dieser beiden Stähle wirkt ausgeprägten thermischen Spannungen entgegen. Formen, die aus TQ 1 oder HP 1 gefertigt werden, sind nicht nur weniger wartungsanfällig als Formen aus den genormten Warmarbeitsstählen, sie erreichen auch im Regelfall wesentlich höhere Gesamtleistungen. Damit tragen beide Sonderwarmarbeitsstähle spürbar zur wirtschaftlich optimierten Fertigung von Druckguss-Produkten bei.

Der Stahl HTR zeichnet sich durch eine sehr hohe Anlassbeständigkeit und Warmfestigkeit aus. Seine Wärmeleitfähigkeit ist ebenso deutlich verbessert. HTR bietet sich für die Verwendung in Teileinsätzen an, die besonders hoch thermisch beansprucht werden.

## Literatur

- [1] DIN EN ISO 4957: Werkzeugstähle. Beuth-Verlag, Berlin, Februar 2001