

Detail aus einem druckgegossenen Strukturbauteil.

Automobiler Leichtbau mit Strukturbauteilen aus Druckguss

VON INGOLF SCHRUFF, WIEHL

Die Verpflichtung der Europäischen Union zur Verringerung von Treibhausgasemissionen gibt der Automobilindustrie vor, bis zum Jahr 2020 die CO₂-Emissionen neuer PKWs auf 95 g/km zu reduzieren. Eine direkte Auswirkung auf die CO₂-Emission ergibt sich aus der konsequenten Umsetzung des Leichtbaugedankens. Diese Motivation hat die Verwendung druckgegossener Strukturbauteile aus Leichtmetallen in den vergangenen Jahren stark gefördert.

Die Druckgießtechnologie steht im Wettbewerb zu alternativen Verfahren, z. B. dem Einsatz von Tailored Blanks – beanspruchungsgerecht ausgewählter und zusammengefügtter Stahlbleche – oder der Verwendung pressgehärteter hochfester Stahlbleche. Leistungsfähige und störungsarm arbeitende Formen sind eine Grundvoraussetzung dafür, dass sich Strukturbauteile aus Druckguss in diesem

Wettbewerb behaupten. Der besondere Vorteil druckgegossener Strukturbauteile liegt darin, dass die Teile mit hoher Präzision nahezu einbaufertig gefertigt werden und im Vergleich zu gestanzten Schweißkomponenten zahlreiche Fertigungsschritte entfallen.

Druckgegossene Strukturbauteile

Die heute sehr vielfältige Palette druckgegossener Automobil-Strukturbauteile umfasst Säulen, diverse Träger, Federbeinaufnahmen und sogar komplette Türen- und Heckklappenrahmen. Anfangs hauptsächlich in Premiumfahrzeugen verbaut, sind mittlerweile zahlreiche Fahrzeuge der Mittelklasse mit derartigen Komponenten ausgestattet.

Die Komplexität derartiger Bauteile stellt besonders hohe Anforderungen an Druckgießer, Formenbauer und Stahlhersteller. Verrippungen der Gussteile rufen automatisch lokale Spannungsspitzen her-

vor. Fahrzeugtüren oder Heckklappen sind durch ihre rahmenartige Konstruktion charakterisiert. Dabei stehen im Gießbetrieb nur vergleichsweise geringe Volumina der Form im Kontakt zum Gusswerkstoff, eine homogene Temperaturverteilung in den Formeinsätzen wird nur schwer zu erzielen sein. Thermisch bedingte Spannungen in den Formen sind die Konsequenz.

Formteile mit dünnen Wandstärken werden häufig mit sehr hohem Druck bzw. hoher Strömungsgeschwindigkeit abgegossen, um ein Erstarren bereits in der Füllphase zu vermeiden. Aus diesem Grund werden derartige Teile oftmals mit erhöhter Gießtemperatur vergossen und die Formeneinsätze noch stärker mechanisch und thermisch beansprucht.

Sichtbare und lackierte Bereiche der Strukturbauteile stellen höchste Anforderungen an die Thermoschockbeständigkeit der eingesetzten Stähle, um aufwendige Nacharbeiten der Gussteile zu vermeiden.

Tabelle 1: Chemische Zusammensetzungen von Warmarbeitsstählen für Druckgießformen.

Stahlbezeichnung			Legierungsgehalt in Masse-%								
W.-Nr.	Marke	Kurzname	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	Nb
1.2343	USN	X37CrMoV5-1	0,38	1,00	0,40	< 0,020	<0,005	5,20	1,20	0,40	—
1.2344	USD	X40CrMoV5-1	0,40	1,00	0,40	< 0,020	<0,005	5,20	1,30	1,00	—
1.2367	RPU	X38CrMoV5-3	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	+

Geeignete Warmarbeitsstähle für die Formen von Strukturbauteilen

Aus den bisherigen Ausführungen wird erkenntlich, dass die Anforderungen an die Formenstähle bei Strukturbauteilen oft deutlich höher sind als bei anderen Druckgussteilen.

Zur Kompensation thermischer und mechanischer Spannungen werden Stähle mit besonders hoher Zähigkeit benötigt. Eine hohe Anlassbeständigkeit schützt die Formeinsätze vor frühzeitigem Härteverlust und die hohe Oberflächenqualität sichtbarer Gussteile ist nur mit Stählen besonders hoher Thermoschockbeständigkeit zu erreichen. Lokale Temperaturspitzen in den Formeinsätzen lassen sich durch eine hohe Wärmeleitfähigkeit reduzieren.

Viele Druckgießformen werden aus einem der drei genormten Warmarbeitsstähle 1.2343, 1.2344 und 1.2367 [1] gefertigt. Die Verwendung dieser Stähle in umgeschmolzener Ausführung ist dabei eine Grundvoraussetzung. Die besonderen Anforderungen zahlreicher Strukturbauteile können diese Stähle nicht immer erfüllen. Für solche Fälle hat Kind & Co., Wiehl, zwei Sonder-Warmarbeitsstähle entwickelt: TQ 1 und HP 1. Beide basieren auf dem Prinzip höchster Reinheit. Nicht nur die Gehalte an Phosphor und Schwefel, sondern auch schädlicher Begleitelemente wurden drastisch reduziert. Der aus dem Stahl TQ 1 abgeleitete Stahl HP 1 ist zusätzlich mit dem Element Niob mikrolegiert. Ihre chemischen Zusammensetzungen zeigt **Tabelle 1**.

Zu den wichtigsten Eigenschaften der Stähle zählen Anlassbeständigkeit, Warmfestigkeit und Schlagzähigkeit. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde dabei auf 1.2344 verzichtet. Die gute Anlassbeständigkeit beider Sonder-Warmarbeitsstähle (**Bild 1a**) wird gerade bei Anlasstemperaturen über 550 °C erkennbar. Die temperaturabhängige Darstellung der 0,2%-Dehngrenze (**Bild 1b**) verdeutlicht, dass TQ 1 und HP 1 ihre besondere Warmfestigkeit oberhalb von 400 °C entwickeln. Gerade in der Kon-

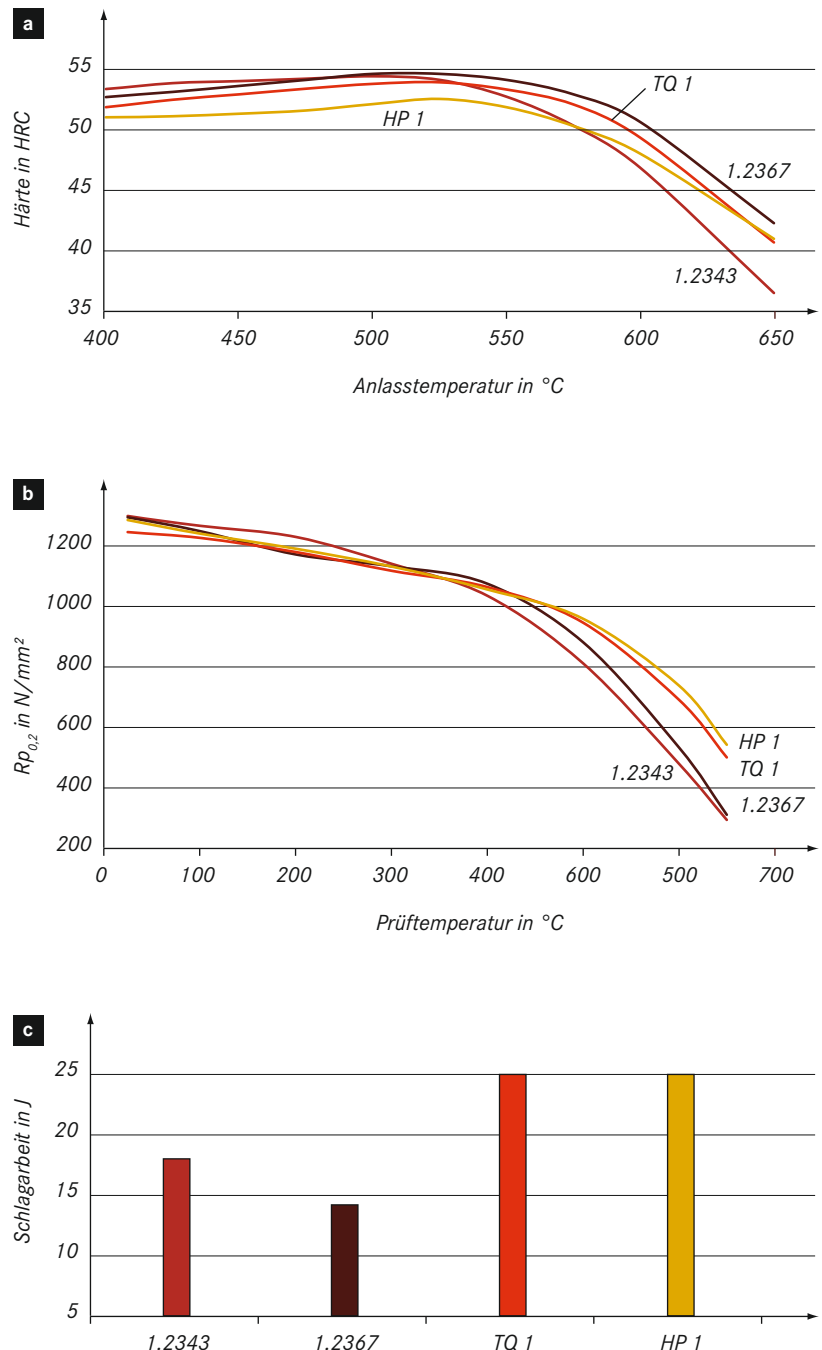


Bild 1: Gegenüberstellung mechanisch-technologischer Eigenschaften einiger Warmarbeitsstähle für Druckgießformen:

- a) Anlassverhalten
- b) 0,2%-Dehngrenze $R_{p0,2}$ als Funktion der Prüftemperatur
- c) Typische Werte der Kerbschlagbiegearbeit (ISO-V-Proben, Kern, Querrichtung, 45 HRC)

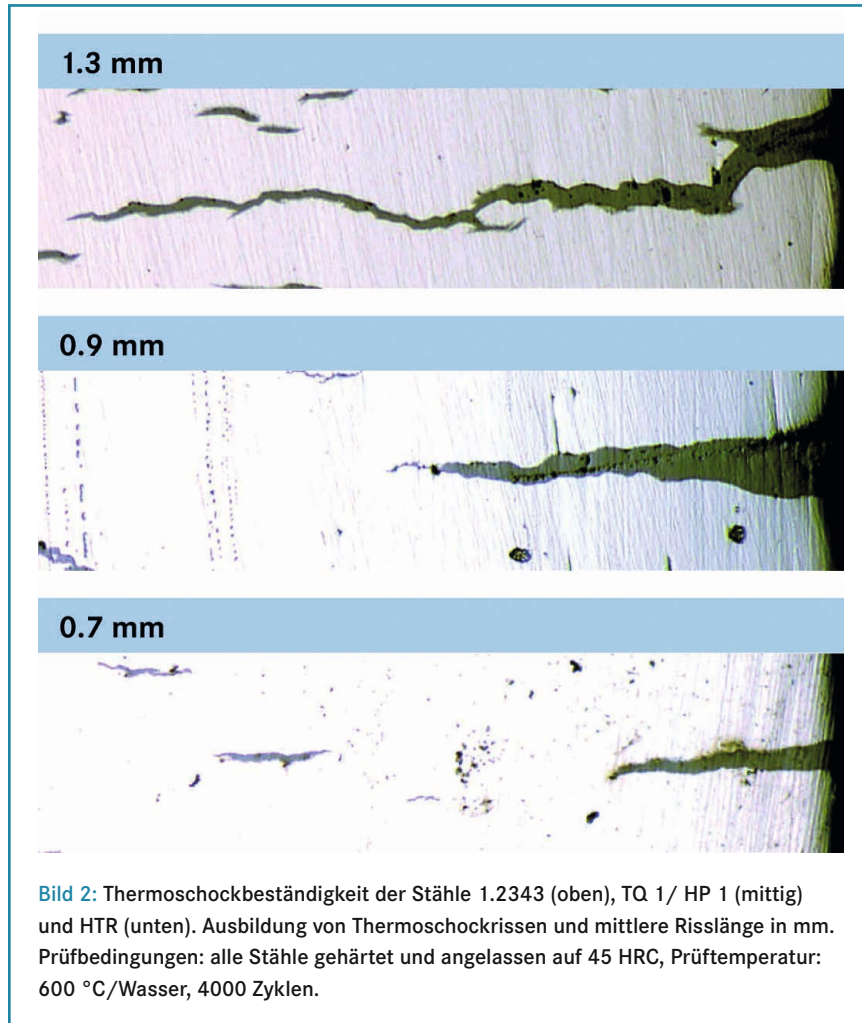


Bild 2: Thermoschockbeständigkeit der Stähle 1.2343 (oben), TQ 1/ HP 1 (mittig) und HTR (unten). Ausbildung von Thermoschockrisse und mittlere Risslänge in mm. Prüfbedingungen: alle Stähle gehärtet und angelassen auf 45 HRC, Prüftemperatur: 600 °C/Wasser, 4000 Zyklen.

Tabelle 2: Wärmeleitfähigkeit von Warmarbeitsstählen für Druckgießformen. Alle Stähle gehärtet und angelassen auf 45 HRC.

Stahl	Marke	Wärmeleitfähigkeit in W/m*K		
		20 °C	200 °C	400 °C
1.2343	USN	26,8	27,8	27,3
1.2367	USD	29,9	32,1	32,4
-	TQ 1	29,5	30,5	30,5
-	HP 1	29,8	31,0	31,4

taktzone zwischen Gusswerkstoff und Formeinsatz ist dieser Temperaturbereich sehr wesentlich. Als dritte mechanisch-technologische Eigenschaft der Stähle gilt die Schlagzähigkeit (Bild 1c), da die Formeinsätze bei jedem Schuss schlagartig sehr hohen mechanischen Beanspruchungen ausgesetzt werden. Unter den drei genormten Stählen weist der Stahl 1.2343 die höchste Kerbschlagzähigkeit auf. Diese nimmt – bei gleicher Härte der Proben – in der Reihenfolge 1.2343 => 1.2344 => 1.2367 ab. Die beiden Sonder-Warmarbeitsstähle TQ 1 und HP 1 liegen annähernd auf gleichem Niveau, das etwa 25 % höher als beim Stahl 1.2343 ist. Diese Zusammenstellung der wichtigsten mechanisch-technologischen

Eigenschaften verdeutlicht die besondere Eigenschaftskombinationen der Stähle TQ 1 und HP 1.

Die Thermoschockbeständigkeit der Warmarbeitsstähle spielt gerade bei der Erzeugung von Gussteilen mit sichtbaren Oberflächen eine große Rolle. Die in Bild 2 zusammengestellten Aufnahmen geben die Ausbildung von Thermoschockrisse in Laborproben der beschriebenen Stähle wieder. Gleichzeitig ist die mittlere Risslänge als Balken dargestellt. Als Referenz dient der Warmarbeitsstahl 1.2343. Der Vergleich gibt die deutlich bessere Thermoschockbeständigkeit von TQ 1 und HP 1 wieder. Der ebenfalls in der Abbildung gezeigte Stahl HTR wurde für Anwendungen mit höch-

ten Anforderungen an die Warmfestigkeit und Wärmeleitfähigkeit entwickelt. Für formgebende Einsätze bei Strukturteilen ist er von untergeordneter Bedeutung.

Die Wärmeleitfähigkeit ist in Druckgießformen aus mehreren Gründen bedeutsam. Zum einen ist sie für die Abfuhr der Wärme aus der Schmelze in die Kühlkanäle verantwortlich, zum anderen trägt sie zum Abbau lokaler Temperaturspitzen und zur Verringerung thermisch bedingter Spannungen in den Formen bei. Die Werte für die Wärmeleitfähigkeit der hier diskutierten Stähle sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

Aus diesen Vergleichen geht hervor, dass TQ 1 und HP 1 über Eigenschaftskombinationen verfügen, die die drei genormten Warmarbeitsstähle 1.2343, 1.2344 und 1.2367 deutlich übertreffen. Im Vergleich untereinander ergeben sich bei TQ 1 und HP 1 in den beschriebenen Eigenschaften nur geringe Unterschiede. Daher stellt sich die Frage nach Auswahlkriterien für diese beiden Stähle.

Aufgrund ihrer besonderen Eigenschaftskombinationen eignen sich beide Stähle in besonderer Weise für druckgegossene Strukturbauteile. Eine Abgrenzung zwischen ihnen kann sich aus der Stärke der Formeinsätze ergeben. Zum besseren Verständnis dieser Unterscheidung sind in Bild 3 die Zeit-Temperatur-Umwandlungs-Schaubilder (ZTU-Schaubilder) beider Stähle für kontinuierliche Abkühlung abgebildet.

Beide Stähle weisen das typische ZTU-Schaubild eines martensitischen Warmarbeitsstahles auf. Der entscheidende Unterschied zwischen beiden Stählen jedoch ergibt sich aus dem Beginn der bainitischen Umwandlung. Beim Stahl TQ 1 ist mit dem Auftreten der Bainitstufe nach ca. 2500 s, bei HP 1 nach bereits 800 s zu rechnen. Diese Differenz von 28 min ist besonders für das Härten dickwandiger Formeinsätze wesentlich, denn zum Erreichen einer hohen Zähigkeit sollte der Stahl beim Härten möglichst vollständig martensitisch umwandeln. Eine später einsetzende Bainitumwandlung begünstigt die gewünschte martensitisch Umwandlung gerade im Kern dickwandiger Formteile. Daraus leitet sich die Empfehlung ab, HP 1 bevorzugt im Bereich von Formeinsätzen bis ca. 200 mm einzusetzen. Darüber hinaus empfiehlt sich TQ 1.

Bei kleineren Formeinsätzen sollte TQ 1 auch dann bevorzugt werden, wenn die Gravuren besonders filigran gestaltet sind und damit höchstmögliche Zähigkeit erforderlich wird.

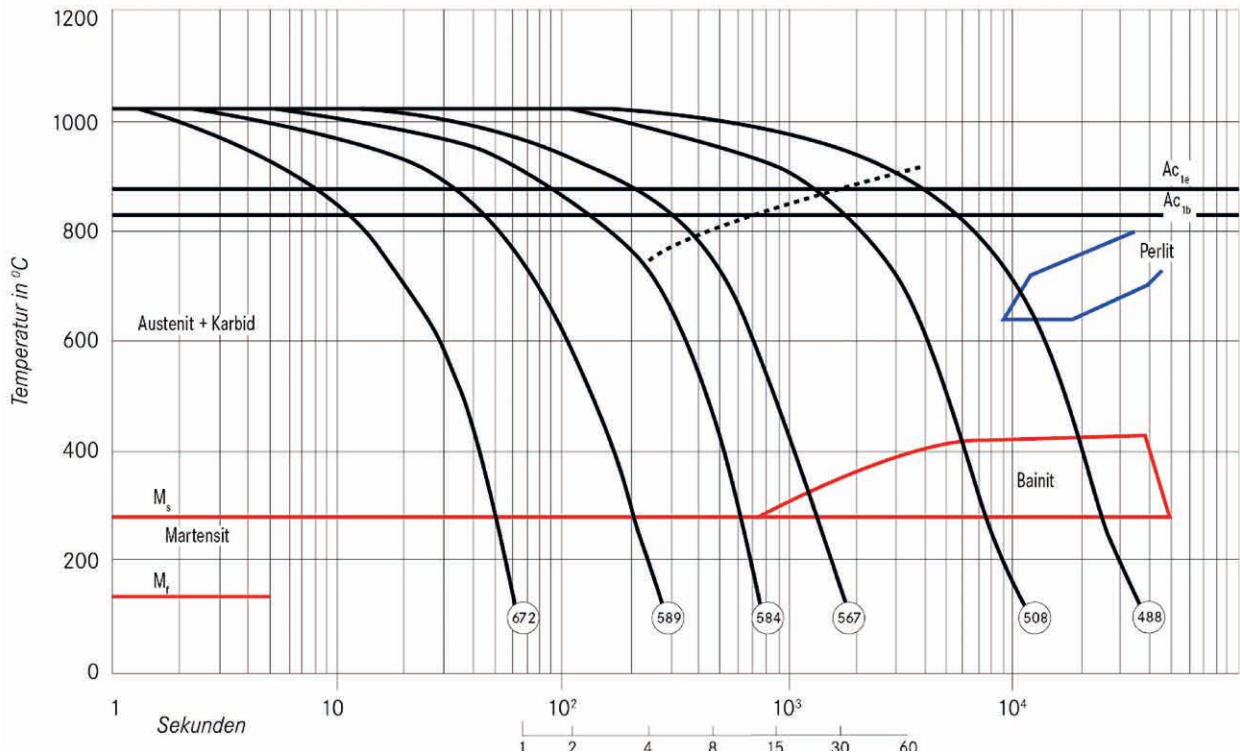
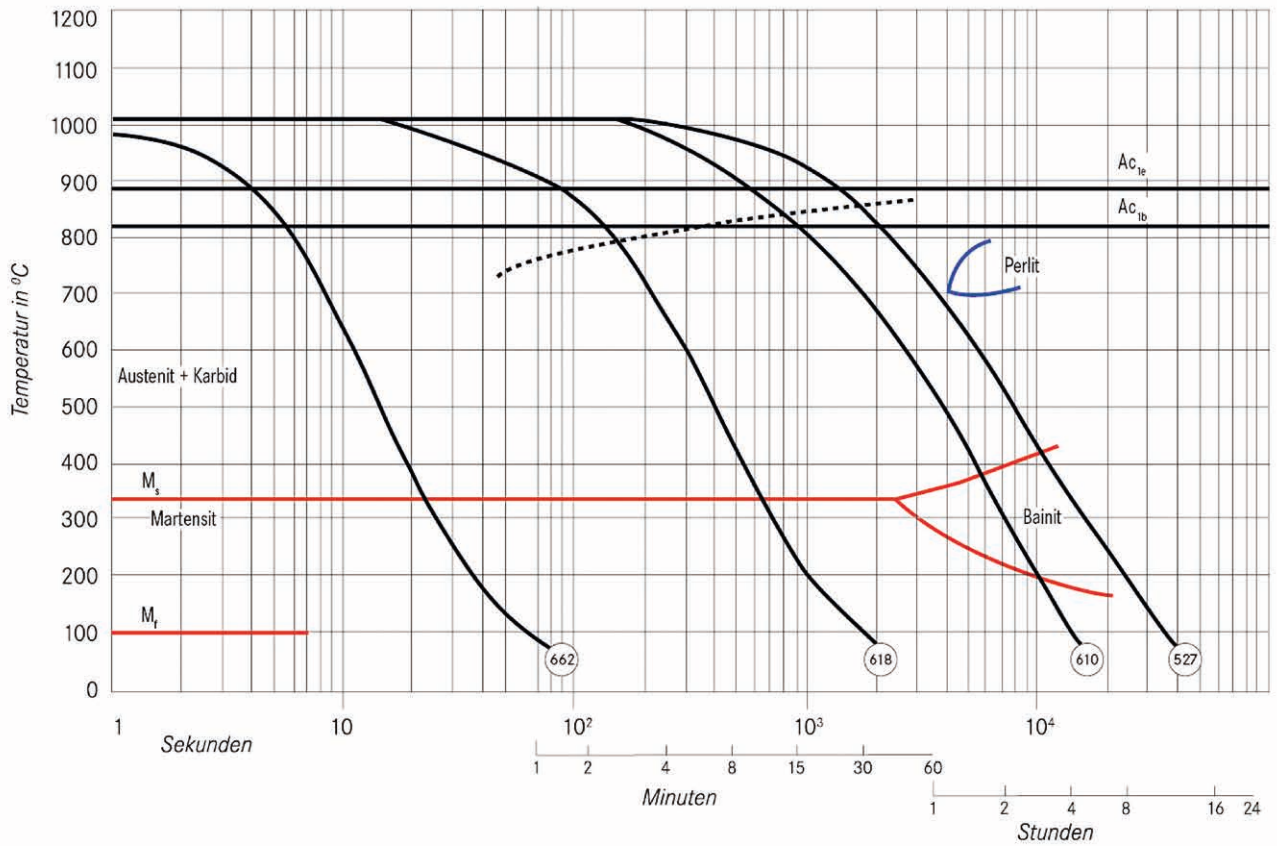


Bild 3: Zeit-Temperatur-Umwandlungs-Schaubilder für kontinuierliche Abkühlung der Stähle TQ 1 (oben) und HP 1 (unten).



FOTOS: GEORG FISCHER AG

Bild 4: Moderner Vakuum-Härteofen bei Kind & Co. für Druckgießformen bis zu 6000 kg Härtegewicht.

Die zusammengefassten Empfehlungen lauten:

HP 1 eignet sich für Formeinsätze mit bis zu 200 mm Stärke für Strukturbauteile mit hohen Anforderungen an Zähigkeit und Oberflächenbeschaffenheit; TQ 1 empfiehlt sich für solche Formen mit höchsten Anforderungen an Zähigkeit und Oberflächenbeschaffenheit und bringt seine Vorteile gerade bei stärkeren Formeinsätzen zur Geltung. Auch bei Formeinsätzen mit starkem Höhenversatz oder stark zerklüfteter Gravur wirkt sich sein Einsatz vorteilhaft aus.

Die Gebrauchshärte dieser Stähle liegt in der üblichen Spanne von 44 – 46 HRC, Abweichungen sind zugunsten bestimm-

ter Eigenschaften zu geringeren oder höheren Werten möglich. Eine Entscheidung sollten immer im Verbund zwischen Stahlhersteller, Formenbauer, Härterei und Gießerei getroffen werden.

Formeinsätze können die Eigenschaften der Stähle nur nach einer sachgerecht durchgeführten Wärmebehandlung entwickeln. Die Firma Kind & Co. empfiehlt für das Vakuumhärten von Druckgießformen die in **Tabelle 3** zusammengestellten Härtetemperaturen und Haltezeiten. Die eigene moderne und leistungsfähige Vakuumhärterei ist auf die Wärmebehandlung von Druckgießformen mit einem Härtegewicht von bis zu 6000 kg (**Bild 4**) ausgerichtet.

Zusammenfassung

An Formen für druckgegossene Strukturbauteile werden aufgrund ihrer Größe und oftmals diffiziler Gestaltung sehr hohe Anforderungen gestellt, die von den bekannten genormten Warmarbeitsstählen nicht mit Sicherheit eingehalten werden können. Die Sonder-Warmarbeitsstähle TQ 1 und HP 1 bieten deutlich verbesserte Eigenschaftsprofile wie z. B. erhöhte Zähigkeit, Warmfestigkeit, Thermoschockbeständigkeit und Wärmeleitfähigkeit. Eine Abgrenzung der Anwendungsbereiche beider Stähle orientiert sich im Wesentlichen an der Stärke der Formeinsätze.

Sachgerecht wärmebehandelte Formeinsätze aus diesen beiden Stählen tragen dazu bei, das Druckgießen von Strukturbauteilen aus Leichtmetallen wirtschaftlich durchzuführen.

Ingolf Schruff, Kind & Co., Edelstahlwerk, GmbH & Co. KG, Wiehl

Literatur:

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

Tabelle 3: Empfohlene Parameter für das Vakuumhärten von Druckgießformen.

Werkstoffnummer	Kurzname	Markenbezeichnung	Härtetemp. in °C	Haltezeit in min
1.2343	X37CrMoV5-1	USN	1000	45
1.2344	X40CrMoV5-1	USD	1020	45
1.2367	X38CrMoV5-3	RPU	1030	45
-	-	TQ 1	1010	60
-	-	HP 1	1020	60
-	-	HTR	1060	60