



FOTOS: KIND & CO

Gehäuse für Elektronik- und Telekommunikationsanwendungen stellen höchste Anforderungen an die Oberflächenqualität von Druckgießformen.

Stahlentwicklung für Druckgießformen mit höchsten Oberflächenanforderungen

VON INGOLF SCHRUFF, WIEHL

Aus technischen, aber auch ästhetischen Gründen kommt der Oberflächenqualität von Gussteilen, und somit auch der Druckgießformen, eine immer größere Bedeutung zu. Diese steht im direkten Zusammenhang mit dem Auftreten und dem Ausmaß von Temperaturwechsellissen, die sich im Gießprozess direkt auf das Gusstück abformen. Dieser Bericht stellt den neuen Premium-Warmarbeitsstahl CS1 vor, der infolge seiner besonderen Eigenschaftskombination aus einer außergewöhnlich hohen Arbeitshärte, Anlassbeständigkeit und zugleich hoher Zähigkeit einen besonders hohen Widerstand gegen die Bildung und Ausbreitung von Temperaturwechsellissen aufweist.

Temperaturwechsellisse als wesentliche Ausfallursache von Druckgießformen

Der zyklische Wechsel von Erwärmung durch die Schmelze und Abkühlung durch das Trennsprühmittel führt im Laufe eines Formenlebens zu thermischer Ermüdung des Formenstahls und zu den typischerweise netzwerkartig ausgebildeten Temperaturwechsellissen in der formgebenden Oberfläche (**Bild 1**). Durch ihre Ausbreitung in den Stahl, aber auch durch Abformung auf den Gussteilen, reduzieren Temperaturwechsellisse nicht nur die Lebensdauer der Formen, sondern auch die Gussteilqualität. Temperaturwechsellisse zählen damit zu den häufigsten Ausfallursachen von Druckgießformen. Das Redu-

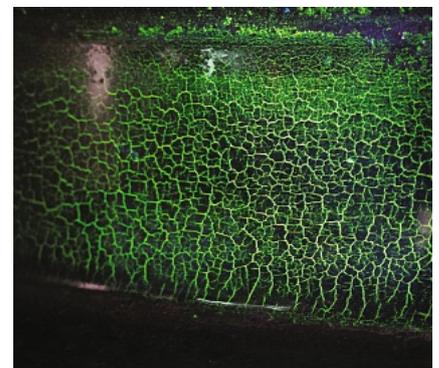


Bild 1: Temperaturwechsellisse auf der formgebenden Oberfläche einer Druckgießform, sichtbar gemacht mittels Magnetpulverprüfung unter UV-Licht.

KURZFASSUNG:

Der internationale Markt für Druckguss-Komponenten ist in den letzten Jahren deutlichen Veränderungen ausgesetzt. Durch die fortschreitende Entwicklung alternativer Antriebskonzepte in der Automobilindustrie wird die Erzeugung klassischer Druckgussteile wie Motorblöcke, Getriebe- und Kupplungsgehäuse spürbar zurückgehen. Zugleich müssen neue anspruchsvolle Strukturbauteile oder Antriebskomponenten entwickelt werden. Auch außerhalb der Fahrzeugindustrie, z.B. in der Medizin- oder Telekommunikationstechnik, entstehen neue, höchst anspruchsvolle Gussprodukte aus Leichtmetall. Der Qualität der Formen, insbesondere im Druckgießprozess, kommt dabei eine immer wichtigere Bedeutung zu.

Tabelle 1: Chemische Zusammensetzungen von Warmarbeitsstählen für Druckgießformen

| Stahlbezeichnung | | Legierungsgehalt in Mass.-% | | | | | | |
|------------------|------------|-----------------------------|------|------|------|------|------|----|
| Marke | W.-Nr. | C | Si | Mn | Cr | Mo | V | Nb |
| USN | ESU 1.2343 | 0,37 | 1,00 | 0,40 | 5,20 | 1,20 | 0,40 | - |
| USD | ESU 1.2344 | 0,40 | 1,00 | 0,40 | 5,20 | 1,30 | 1,00 | - |
| CS1 | — | 0,50 | 0,30 | 0,40 | 5,00 | 1,90 | 0,55 | + |

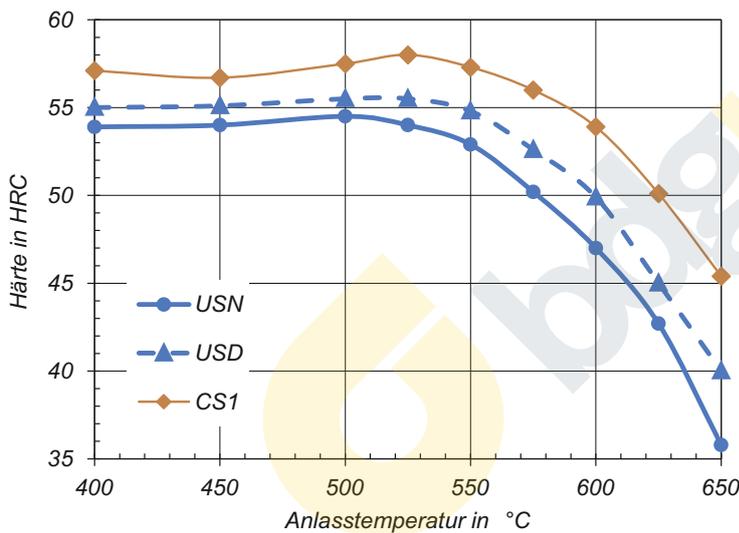


Bild 2: Anlassverhalten der Stähle USN ESU, USD ESU und CS1.

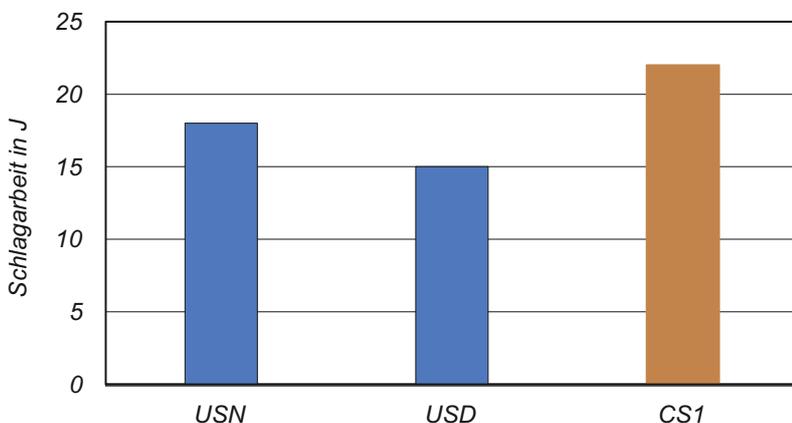


Bild 3: Zähigkeitsvergleich der drei Stähle USN ESU, USD ESU und CS1, durchgeführt an ISO-V-Kerbschlagbiegeproben: Querproben aus dem Kern geschmiedeter Stäbe. Härte der Proben: 45 HRC (USN ESU und USD ESU) und 54 HRC (CS1), Prüfung bei RT.

zieren der Sprühkühlung auf das notwendige Minimum stellt einen Ansatz dar, die Bildung derartiger Oberflächenschäden zu verzögern. Die Technologie des Minimalmengensprühens greift diesen Ansatz auf, bedarf aber einer kompletten Anpassung des Temperiersystems, beispielsweise durch das Einbringen von Stichelkühlungen bis dicht unter die Wirkfläche der Formeinsätze. Diese zahlreichen Bohrungen müssen als Schwächung der Formeinsätze betrachtet werden und können einen Anstieg der allgemeinen Formtemperatur beim Minimalmengensprühen nicht komplett verhindern.

Der Widerstand eines Stahls gegen Temperaturwechselrisse wird im Wesentlichen durch seine Warmfestigkeit und seine Zähigkeit bestimmt. Die Warmfestigkeit wiederum steht in einem direkten Zusammenhang mit der Härte. So bewirkt eine Härtesteigerung einerseits eine Anhebung der Warmfestigkeit aber zugleich auch eine Absenkung der Zähigkeit. Mehr Erfolg verspricht hingegen die Entwicklung eines Stahls, der zugleich eine sehr hohe Warmfestigkeit in Kombination mit einer hohen Zähigkeit anbietet.

Der neue Premium-Warmarbeitsstahl CS1

Als Chrom-Molybdän-Vanadin legierter Warmarbeitsstahl wurde CS1 speziell für mechanisch und thermisch sehr hoch beanspruchte Werkzeugkomponenten entwickelt. Die Kombination eines bedarfsgerechten Legierungskonzepts mit Fertigungsprozessen, die höchste Reinheit garantieren sowie eine optimale Wärmebehandlung verleihen CS1 eine hohe Härte und gleichzeitig ein sehr hohes Zähigkeitsniveau. Entsprechend den hohen Anforderungen an Warmarbeitsstähle für Druckgießformen wird CS1 ebenso wie die etablierten Marken USN ESU und USD ESU, die in ihrer chemischen Zusammensetzung den gebräuchlichen Warmarbeitsstählen 1.2343 und 1.2344 entsprechen [1], ausschließlich über das Elektro-Schlacke-Umschmelzen (ESU) erzeugt. **Tabelle 1** stellt die jeweiligen chemischen Zusammensetzungen gegenüber. Die Darstellung des Anlassverhaltens (**Bild 2**) zeigt, dass CS1 nicht nur ein deutlich höheres Sekundär-Härtemaximum, sondern auch eine klar verbesserte Anlassbeständigkeit im Vergleich zu den Stählen USN ESU und USD ESU aufweist. Damit bietet er einen deutlich höheren Schutz der Formen vor unerwünschtem Erweichen im betrieblichen Einsatz. Aufgrund ihrer besonderen Herstellungsmethoden (Metallurgie, Schmie-

destrategie, Wärmebehandlung) zeigen USN ESU und USD ESU zwar bereits überdurchschnittlich gute Werkzeugleistungen. Die Darstellung des Anlassverhaltens lässt jedoch auf die Möglichkeit schließen, Druckgießformen auf ein noch deutlich höheres Härteniveau zu bringen.

Während die Härte bei Druckgießformen aus Stählen vom Typ 1.2343 und 1.2344 üblicherweise im Bereich von 44-46 HRC liegt, ermöglicht CS1 Arbeits härten von bis zu 54 HRC, im Einzelfall sogar bis zu 56 HRC. Auch ist bei CS1 eine deutlich bessere Dauer-Anlassbeständigkeit zu erwarten, was Druckgießformen einen erheblich verbesserten Schutz vor Härteverlust im Gießbetrieb bietet. Die Möglichkeit, CS1 auch noch mit derart hoher Härte für Druckgießformen einzusetzen, leitet sich aus seinem sehr großen Zähigkeitspotenzial ab. **Bild 3** vergleicht das Zähigkeitsniveau von USN ESU und USD ESU bei der für Druckgießformen üblichen Härte von 45 HRC mit Zähigkeitswerten von CS1 bei einer Härtelage von 52-54 HRC und demonstriert ein um mehr als 20 % gesteigertes Niveau der Kerbschlagbiegearbeit.

Bei der Vermeidung von Temperaturwechselrissen kommt der Warmfestigkeit der Stähle eine besondere Bedeutung zu. **Bild 4** vergleicht daher die im Zugversuch bei steigender Prüftemperatur gemessene 0,2%-Dehngrenze $R_{p0,2}$ der beschriebenen Warmarbeitsstähle. Hierfür wurden die Proben der drei Werkstoffe auf identische Härten von 45 HRC gehärtet und angelassen. Während die Dehngrenze bei USN ESU und USD ESU in gleichem Maße mit steigender Prüftemperatur abfällt, büßt CS1 deutlich weniger in der Dehngrenze ein.

Temperaturwechselrisse werden immer auf der mit Schmelze beaufschlagten Oberfläche eingeleitet. Grau ist hier der Temperaturbereich markiert, den der Formeinsatz zumindest im Kontaktbereich zur Schmelze bei jedem Schuss kurzfristig annimmt. Die gegenüber den Vergleichsstählen deutlich höhere 0,2%-Dehngrenze des CS1 trägt wesentlich zur Vermeidung von Temperaturwechselrissen bei. Mit steigender Härte kann eine weitere Verbesserung der

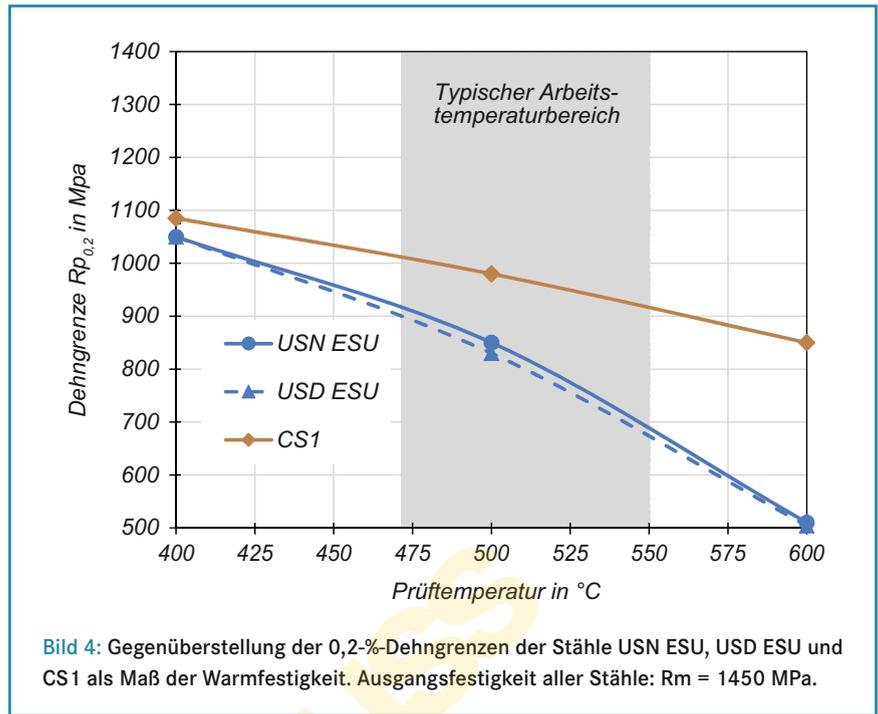


Bild 4: Gegenüberstellung der 0,2%-Dehngrenzen der Stähle USN ESU, USD ESU und CS1 als Maß der Warmfestigkeit. Ausgangsfestigkeit aller Stähle: $R_m = 1450$ MPa.

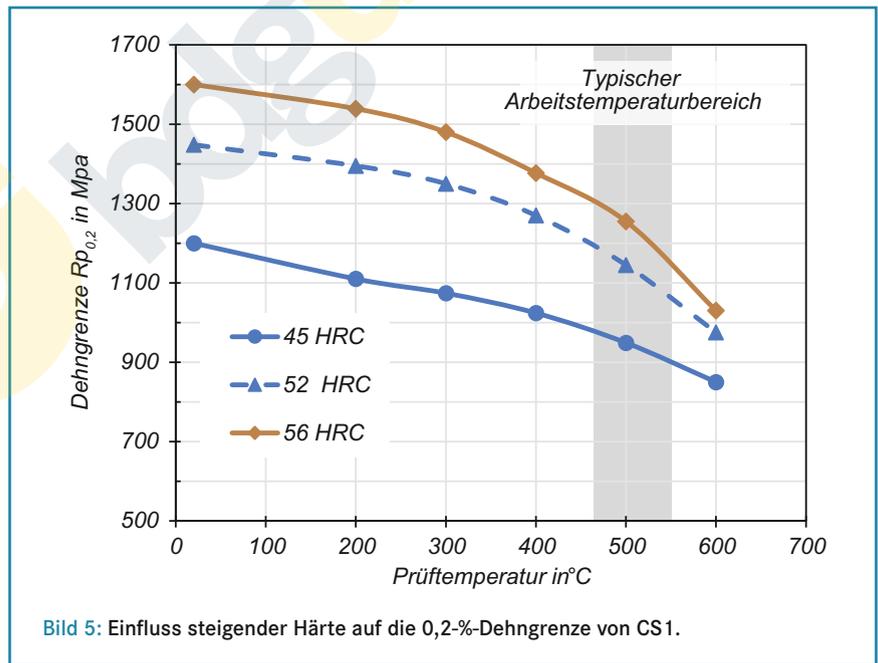


Bild 5: Einfluss steigender Härte auf die 0,2%-Dehngrenze von CS1.

Warmfestigkeit des CS1 erreicht werden (**Bild 5**). Aufgrund des sehr hohen Zähigkeitspotenzials (s. Bild 2) wird es möglich, die Härte von Druckgießformen aus CS1 auf bis zu 54 HRC zu erhöhen. Selbstverständlich sind zusätzlich auch die geometrischen Randbedingungen der For-

men für die Härtefestlegung verantwortlich. Mit der Kombination dieser Eigenschaften in einem Stahl bietet CS1 die Voraussetzung für Druckgießformen mit höchster Beständigkeit gegen Temperaturwechselrisse sowie mit ausgezeichneter geometrischer Stabilität.

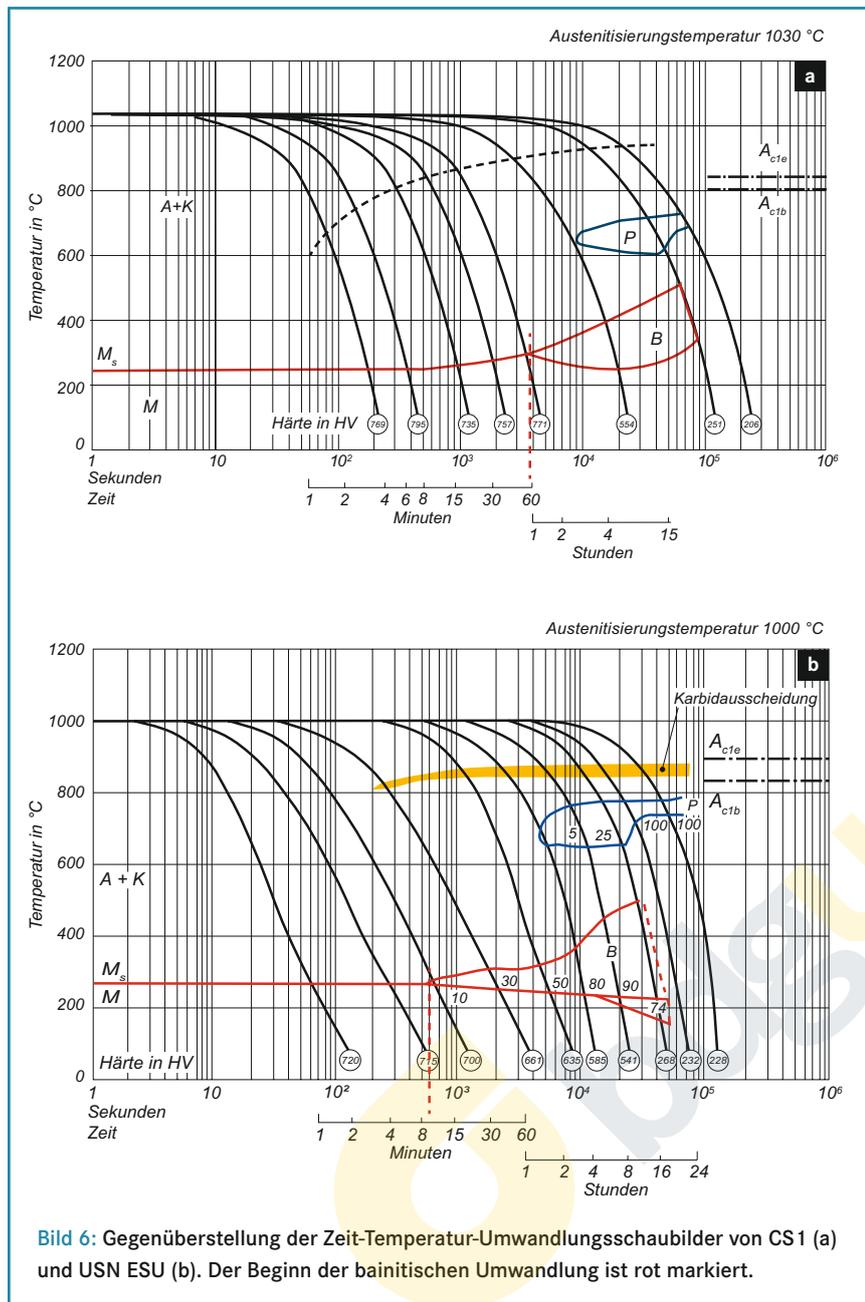


Bild 6: Gegenüberstellung der Zeit-Temperatur-Umwandlungsschaubilder von CS1 (a) und USN ESU (b). Der Beginn der bainitischen Umwandlung ist rot markiert.

Ihre Gebrauchseigenschaften erhalten Warmarbeitsstähle erst durch das Härten und Anlassen. Zeit-Temperatur-Umwandlungsschaubilder geben wichtige Hinweise für das sachgerechte Härten von Werkzeugen. Die Gegenüberstellung der entsprechenden Schaubilder für CS1 und USN verdeutlicht einen besonderen Vorteil des CS1 beim Härten größerer Formen (Bild 6). Höchstmögliche Zähigkeit einer Druckgießform setzt eine weitgehend martensitische Umwandlung des Stahls und damit eine möglichst schnelle Abschreckung von der Härtetemperatur voraus. Dies ist in Randbereichen der Formen verhältnismäßig leicht einzustellen. Im Kernbereich gerade großer Formen ist die Abkühlungsgeschwindigkeit jedoch durch die Wärmeleitfähigkeit des eingesetzten Stahls limitiert. Dadurch besteht gerade im Innern großer Formeinsätze

das Risiko einer zumindest teilweisen bainitischen Umwandlung und daraus resultierender geringer Zähigkeit. Im Zeit-Temperatur-Schaubild drückt sich dies durch die Lage der bainitischen Umwandlung in Bezug auf die Zeitachse aus. Im konkreten Vergleich ist zu sehen, dass bei CS1 die bainitische Umwandlung erst ca. 50 min später einsetzt als bei USN ESU. Damit ist es auch bei größeren Formen sehr viel einfacher, den Kernbereich in die gewünschte martensitische Umwandlung zu führen. Für eine sachgerechte Härtung werden eine Härtetemperatur von 1030 °C und eine Haltezeit auf dieser Temperatur von 60 Minuten empfohlen.

Praxiserfahrungen

Die Kombination der hier beschriebenen Eigenschaften bildet die Basis für das

Leistungsverhalten der Stähle im Druckgießbetrieb. Die nachfolgenden Fallbeispiele beschreiben die jeweiligen spezifischen Anforderungen und geben einen Eindruck von den erreichten Gießleistungen. Im Druckgießen erzeugte Behälter für Bremsflüssigkeit von Motorrädern (Bild 7) stellen im Regelfall in zweifacher Hinsicht Herausforderungen an die Formen dar. Zum einen sind derartige Komponenten sichtbare Anbauteile, auf deren ästhetisches Erscheinungsbild in Fahrerkreisen gemeinhin höchster Wert gelegt wird. Da bei lackierten oder verchromten Ausführungen bereits kleinste Oberflächendefekte des Gussteils sichtbar werden, bestehen auch an die Oberflächenqualität der eingesetzten Formen höchste Anforderungen. Zum anderen stellen Abformungen von Formenrissen in den Dichtungsbereichen solcher Gefäße sehr schnell die Funktionalität der Produkte infrage. Diese hohen Anforderungen waren ursächlich dafür, dass die Gießerei die Formeinsätze nach maximal 3500 Schuss ausmustern musste. Der Einsatz verschiedenster Standard- und Sonderwarmarbeitsstähle unterschiedlichster Hersteller konnte keine nennenswerte Leistungssteigerung erzielen. Durch den Einsatz von CS1 mit einer Härte von 53 HRC konnte die Gießerei die Leistung reproduzierbar auf 13 000 Schuss steigern.

An Drosselgehäuse (Bild 8) werden aus funktionalen Gründen sehr hohe Anforderungen an die Oberflächen gestellt. Durch häufiges Nacharbeiten der Einsätze erreichten Formen aus 1.2343-ESU eine maximale Leistung von 90 000 Schuss. In der aktuell laufenden Erprobung von Formeinsätzen aus CS1 mit einer Härte von 52 HRC ist auch nach 80 000 Schuss noch keine Nacharbeit erforderlich.

Zum Schutz der darin verbauten Elektronikkomponenten benötigen die in Kraftfahrzeugen installierten Assistenz- und Sicherheitssysteme Gehäuse von höchster Oberflächenqualität. Entsprechende Ansprüche werden zusätzlich an Dichtungsfugen gestellt. Hier gefährden bereits kleine Oberflächenrisse der Form die Funktionsfähigkeit der Gussteile. Gleiches gilt für zahlreiche Komponenten der Fernmeldetechnik. Das in Bild 9 beispielhaft gezeigte Gehäuse einer Speichereinheit muss die zuvor beschriebenen Anforderungen sicher erfüllen. Eine weitere Verschärfung der Qualitätsansprüche an die eingesetzten Formeinsätze resultiert aus Kühlrippen auf den Außenseiten der Gehäuse. Formen aus 1.2343-ESU für ein derartiges Gehäuse



Bild 7: Druckgegossener Behälter für die Bremsflüssigkeit eines Motorrads (Beispiel).



Bild 8: Im Druckgießen erzeugtes Drosselgehäuse (Beispiel).

konnten bereits nach nur 5000 Schuss die strengen Vorgaben im Bereich der Dichtflächen nicht einhalten. Im derzeit noch andauernden Versuch mit einem Formeinsatz aus CS1 (Härte 53 HRC) waren nach 7100 Schuss noch keine Auffälligkeiten aufgetreten.

Fazit

Die Druckguss-Industrie unterliegt derzeit einem spürbaren Wandel ihres Produkt-Portfolios. Aus technischen und ästhetischen Gründen werden die Anforderungen an die Oberflächenbeschaffenheit der Gussteile und damit auch der Formeinsätze erheblich verschärft. Verfahrenstechnische Weiterentwicklungen wie das Minimalmengensprühen tragen ihrerseits dazu bei, die Schädigung der Formenoberflächen zu reduzieren. Solche Maßnahmen gehen jedoch mit einer signifikanten Erhöhung der Formentemperatur einher. Der neuentwickelte Premium-Warmarbeitsstahl CS1 kann mit einer deutlich höheren Arbeitshärte eingesetzt werden. Dadurch erreicht er im Bereich typischer Arbeitstemperaturen eine deutlich hö-

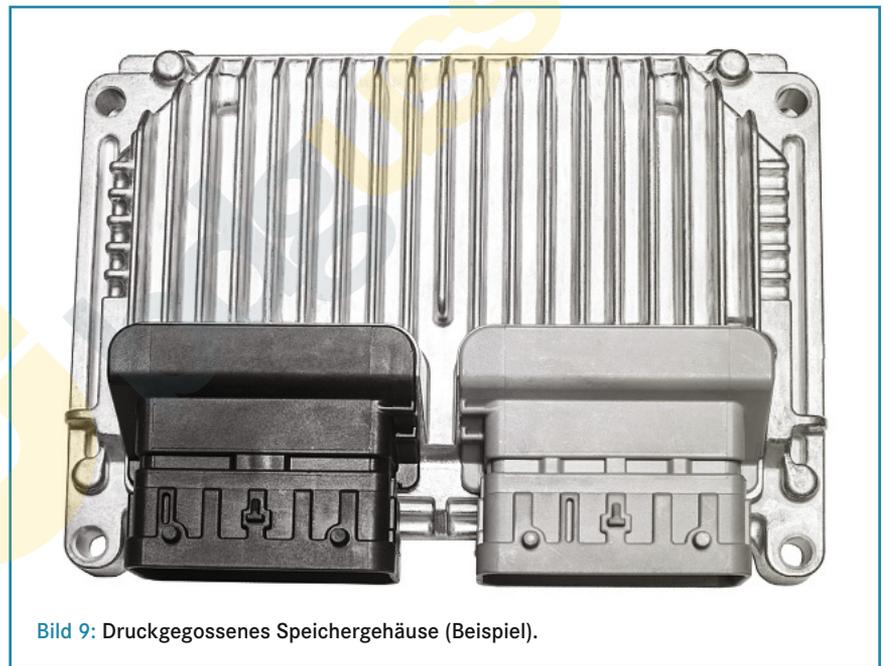


Bild 9: Druckgegossenes Speichergehäuse (Beispiel).

here Warmfestigkeit und damit verbesserte Beständigkeit gegen Temperaturwechselrisse. Da sich das besondere Umwandlungsverhalten von CS1 gerade auf das Härten großformatiger Formeinsätze positiv auswirkt, wird der Einsatz von CS1 nun auch bei deutlich größeren Formeinsätzen erprobt.

Dipl.-Ing. Ingolf Schruff, Experte Anwendungstechnik, Kind & Co., Edelstahlwerk, GmbH & Co. KG, Wiehl

Literatur:

[1] DIN EN ISO 4957-2018: Werkzeugstähle, 2018.