

KUPFER UND ALUMINIUM-MEHRSTOFFBRONZEN

Der Trick mit der optimalen Temperierung

Kürzeste Zykluszeit bei bester Teilequalität ist eine der Hauptanforderungen, die an Hochleistungs-Spritzgießwerkzeuge gestellt werden. Die optimale Temperierung des Werkzeugs steht im Mittelpunkt. Welche Rolle dabei spezielle Kupferlegierungen und Aluminium-Mehrstoffbronzen spielen können, beleuchtet der nachfolgende Beitrag.



DIE FORDERUNG des (globalisierten) Marktes ist so einfach wie gnadenlos: Die Spritzteilqualität soll stetig gesteigert werden, und dies unter dem ständig wachsenden Kostendruck. Auf das Spritzgießwerkzeug bezogen heißt dies,

Teile mit bester Qualität in kürzestmöglicher Zykluszeit herzustellen – und dies betriebssicher über den gesamten Werkzeug-Lebenszyklus hinweg.

Damit ist man schon bei der Wärmeleitfähigkeit angelangt, ein in diesem Zusammenhang wichtiges Thema, das aber nicht isoliert betrachtet werden darf und worauf später noch eingegangen wird.

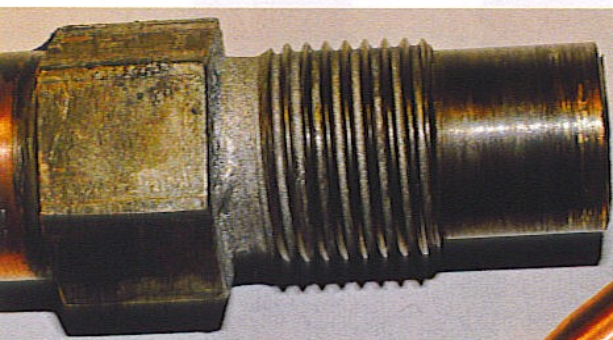
Um die thermischen Anforderungen zu erfüllen, ist eine hohe Wärmeleitfähigkeit des gewählten Werkstoffs eine wichtige Voraussetzung. Diese Voraussetzung erfüllen hochwertige Kupferlegierungen. Durch die hohe Wärmeleitfähigkeit in Verbindung mit einer relativ hohen Härte sind diese Legierungen beispielsweise für Formkerne und Formeinsätze in Spritzgießwerkzeugen

gut geeignet und haben sich in der Praxis für eine Vielzahl von Anwendungen sehr bewährt.

Bei diesen Kupferlegierungen handelt es sich um Werkstoffe, die sich durch hohe bis höchste Wärmeleitfähigkeit bei trotzdem ausreichenden Festigkeitseigenschaften auszeichnen, weshalb sie besonders für thermisch hochbeanspruchte, konturbildende Werkzeugkomponenten geeignet sind.

Diese Legierungen werden bei Schmelzmetall im Vakuum erschmolzen und vergossen und zu Halbzeugen verarbeitet. Um die entsprechenden Eigenschaften dieser Legierungen zu erzielen, dürfen keine Schrotte bei der Herstellung zugesetzt werden.

Je nach verwendeter Kupferlegierung und Werkstoffpartner in Abhängigkeit vom Einsatzzweck, kann es notwendig sein, die Gleiteigenschaften zu optimieren. Dies lässt sich durch eine geeignete Beschichtung auf einfache Weise ermöglichen. So haben sich Hart-Chemisch-Nickel mit eingelagertem hexagonalem Bornitrid oder PTFE bewährt.



Lange Standzeiten: Bei diesen Maschinendüsen besteht der Düsenkörper aus einer Kupferlegierung. Düsen Spitze und Gewinde (Stahl) sind entsprechend verschleißgeschützt ausgeführt. Die beiden Bilder zeigen die Maschinendüse, rechts nach einem Dauereinsatz von viereinhalb Monaten und vier Tonnen verspritztem PBT – bei insgesamt 380 000 Schuss.



Der eine oder andere Werkzeugbauer sieht sich mit der FDA-Richtlinie konfrontiert. Diese verbietet beispielsweise Beryllium und Nickel als Legierungselemente in Werkzeugkomponenten, die mit Spritzteilen in Kontakt stehen und die später mit Lebensmitteln in Berührung kommen. In diesem Fall können die entsprechenden Werkzeugkomponenten mit einer Hartchrom-Schicht versehen werden.

Welche Kupferlegierung ist die richtige?

Grundsätzlich eignen sich für Spritzgießwerkzeuge die verschiedenen Kupferlegierungen der Hovadur K- und B-Reihe:

- Berylliumfreie Legierung aus Kupfer, Nickel, Chrom und Silizium weist eine hohe Wärmeleitfähigkeit und gute Festigkeit auf.
- Berylliumhaltige Legierungen mit den Legierungselementen Kupfer, Nickel, Kobalt und Beryllium, hier nimmt mit steigendem Berylliumgehalt die Festigkeit zu. Gegenläufig verhält sich die Wärmeleitfähigkeit.

Grundsätzlich werden diese Legierungen nur im ausgehärteten Zustand ausgeliefert. Nur in Ausnahmefällen und nur auf ausdrücklichen Wunsch des Kunden erfolgt die Auslieferung im sogenannten ›lösungsgeglühten Zustand‹, denn die Ausscheidungshärtung durch den Kunden bedingt sehr viel Know-how und entsprechendes Equipment. Zusätzlich erwähnt seien Aluminium-Mehrstoffbronzen (Hovadur B). Diese verfügen über ausgezeichnete Gleiteigenschaften, sind sehr gut senkerodier- und schutzgasschweißbar und besitzen eine rund dreimal höhere Wärmeleitfähigkeit als Werkzeugstähle. Die Frage, welche Legierung bei einem Werkzeug verwendet werden soll, kann man pauschal nicht beantworten. Welche Legierung – mit oder ohne Beschichtung – am besten geeignet ist, hängt vom Einsatzfall ab. So ist eine hohe Härte nicht immer gleichzusetzen mit einer guten Verschleißbeständigkeit und damit einer langen Standzeit des Werkzeuges. Und es muss sehr genau zwischen den möglichen Verschleißmechanismen Adhäsion, Abrasion, Ober-

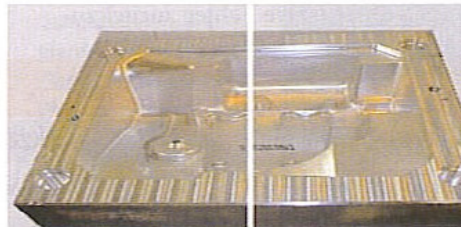
flächen-Zerrüttung (Kavitation) und Korrosion unterschieden werden. Die Tabelle auf Seite 88 dient deshalb nur zur groben Orientierung und erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Die Sache mit dem Verschleiß

In einem Spritzgießwerkzeug gilt es grundsätzlich zwei Beanspruchungsmechanismen in Verbindung mit den Werkzeugkomponenten zu berücksichtigen:

- rheologische Beanspruchung,
 - tribologische Beanspruchung.
- Die Rheologie als die Lehre vom mechanischen Verhalten materieller Körper unter dem Einfluss formverändernder Kräfte ist sozusagen die Grundlage, um die Verschleißmechanismen in der Kavität beurteilen zu können. Mit anderen Worten, welchen Einfluss hat der eingespritzte Kunststoff während des Einspritzvorganges? Wie ist sein Fließverhalten unter den gegebenen Prozessparametern wie Verarbeitungstemperatur, Einspritzdruck oder Nachdruck?

ALCAN ENGINEERED PRODUCTS



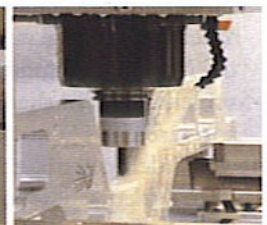
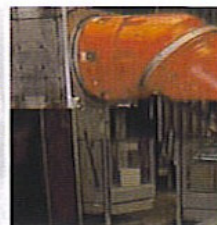
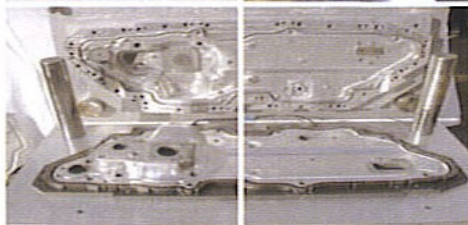
ALUMOLD®
CERTAL®
ALCAST®
FIBRAL®



ALPLAN®
UNIDAL®
PLANOXAL®
FORTAL®



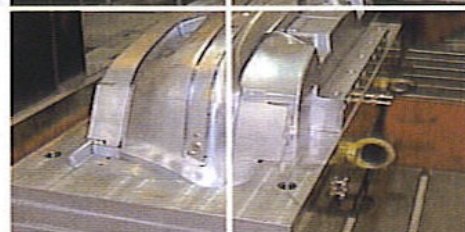
UNBEGRENZTE FORMGEBUNGSMÖGLICHKEITEN
HERVORRAGENDE ZERSPANBARKEIT
AUSGEZEICHNETE FORMSTABILITÄT

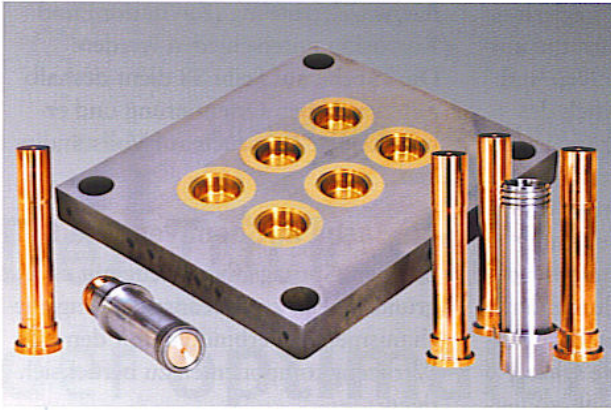


Alcan Aerospace, Transportation and Industry

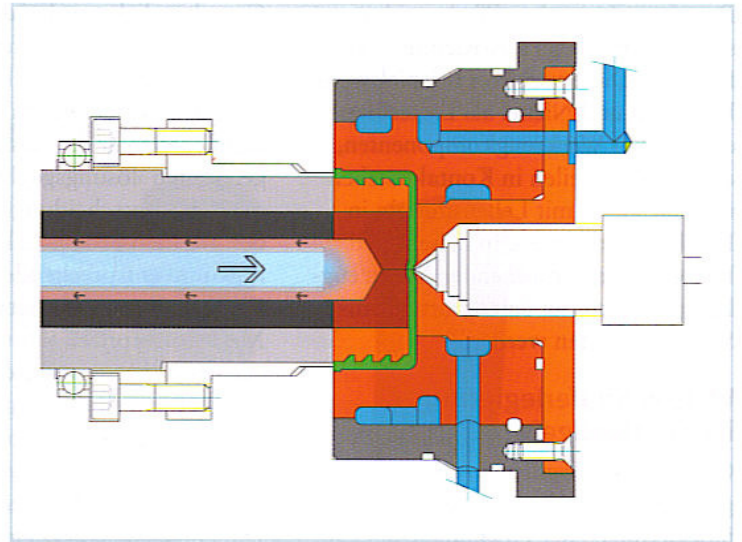
Werk Sierre
ATI Plattenwerk
CH-3960 Sierre, Schweiz
Tel +41 (0) 27 457 5111
Fax +41 (0) 27 457 6425
www.ati.alcan.com

Werk Isoire
B.P. 130
F-63504 Isoire cedex, Frankreich
Tel +33 (0) 473 55 50 50
Fax +33 (0) 473 55 50 60





Wirtschaftlich: Hier ein 6-fach-Schraubkappenwerkzeug. Das linke Bild zeigt den Formeinsatz aus der Kupferlegierung K350 und den Innenkern aus K 265. Zur Prozessoptimierung wurde dann im zweiten Schritt ein System-Schraubkern verwendet (siehe auch Aufmacherbild auf Seite 86), mit dem sich die Zykluszeit um zwei Sekunden reduziert hat. Produziert wurden Schraubkappen mit einem Außendurchmesser von 51 mm auf einer Arburg Allrounder mit 100 t Schließkraft. Kunststoff: Hostalen ACP 5531B (PEHD), Fließindex: 0,1 (2,16-Kg-Methode).



Alle kavitätenbildenden Werkzeugkomponenten unterliegen diesen Beanspruchungsmechanismen – und zwar mit jedem Zyklus.

Unter Tribologie ist die Wissenschaft von Reibung, Verschleiß und Schmierung zu verstehen. Die Tribologie ermöglicht es, für die bewegten Werkzeugkomponenten anhand des Verschleißbildes die Verschleißmechanismen zu bestimmen sowie die notwendigen Maßnahmen festzulegen.

Wer sich nun mit den einzelnen Verschleißmechanismen näher beschäftigt, stellt schnell fest, dass die Härte eines Werkstoffes bei Weitem nicht die alleinige Werkstoffeigenschaft ist, die für die Verschleißbeständigkeit verantwortlich ist.

Im Einzelnen kann man zwischen vier Verschleißmechanismen unterscheiden:

1. Adhäsionsverschleiß: Der Verschleißmechanismus Adhäsion tritt bevorzugt bei Gleitbewegungen auf. Wichtig ist dabei zu wissen, dass für die Minimierung dieser Verschleißart nicht die Härte allein, sondern der Härteunterschied zwischen den gewählten Werkstoffpartnern ein entscheidender Faktor ist. Daneben sind die Reibwerte der beteiligten Partner von großer Bedeutung.
2. Abrasionsverschleiß: Der Verschleißmechanismus Abrasion tritt bevorzugt in der Kavität bei Verwendung von gefüllten Kunststoffen auf. Diese Verschleißart kann nur durch hohe

bis höchste Härte minimiert werden.

3. Oberflächen-Zerrüttung: Der Verschleißmechanismus Oberflächen-Zerrüttung – Kavitation, Erosion – tritt bevorzugt dann auf, wenn der gewählte Werkstoff überbeansprucht wird und dadurch in die Phase der plastischen Verformung übergeht. Diese Verschleißart ist in der Regel auf konstruktive Fehler zurückzu-

führen und ebenfalls nicht von der Höhe der Härte abhängig.

4. Korrosion: Einzelne Kunststoffe, wie beispielsweise PVC, können gegenüber kupferhaltigen Legierungen chemisch reagieren, was die Werkstoffoberfläche zerstört und zum vorzeitigen Versagen führen kann. Diese Verschleißart ist nicht von der Höhe der Härte abhängig. Diese Ver-

Anwendungsmöglichkeiten

Werkzeugelemente	K220	K230	K265	K350	B10
Angussdrüsen	x	x	x	x	-
Boden-/Seiteplatten	x	x	x	x	(x)
Düsenspitzen	x	x	x	x	-
Formkerne	x	x	x	x	-
Kernaufsätze	x	x	x	x	-
Kernstifte	x	x	x	x	-
Maschinendüsen	x	x	x	x	-
Torpedos	x	x	x	x	-
Formeinsätze	x	x	x	x	(x)
Buchsen/Führungsleisten	-	-	-	-	x
Trennschieber 2-K-Spritzen	-	-	-	-	x
Gewindeleitmutter	-	-	-	-	x
Druckplatten	-	-	-	-	x
Prototyp-Formen	-	-	-	-	x

Auswahl: Übersicht über die Verwendungsmöglichkeiten verschiedener Kupferlegierungen bei Spritzgießwerkzeugen am Beispiel der Firma Schmelzmetall. Die Tabelle dient der groben Orientierung, die exakte Werkstoffauswahl ist nur am konkreten Einsatzfall möglich.

schleißart kann am einfachsten durch eine vollständige Oberflächenbeschichtung mit Rein-Chemisch-Nickel, wie es die Firma NovoPlan in Aalen (siehe auch FORM+Werkzeug 4/ 2007, Seite 44) anbietet, unterbunden werden.

Zusammengefasst: Von den vier auftretenden Verschleißmechanismen ist nur in einem Fall – bei Abrasionsverschleiß – hohe bis höchste Härte erforderlich, um eine hohe Verschleißbeständigkeit zu erreichen. Die gegenüber Werkzeugstählen geringere Härte der Kupferlegierungen ist daher nicht unbedingt ein Nachteil, die wesentlich höhere Wärmeleitfähigkeit jedoch eindeutig ein Vorteil. Wo eine höhere Härte benötigt wird, kann dieser vermeintliche Nachteil gezielt durch geeignete Maßnahmen (Beschichtung) ausgeglichen werden.

Verbundtechnologie als Alternative

Die Herausforderung, höchste Spritzteilqualität bei kürzester Zykluszeit, hat etwas von der berühmten Quadratur des Kreises:
Die beste Teilequalität erreicht man, wenn es gelingt, in allen Bereichen eine gleichmäßige Werkzeugwandtemperatur einzustellen und damit Hot Spots zu vermeiden.
Die kürzeste Zykluszeit wird dagegen erreicht, wenn man die Wärmeableitung optimiert.
Die höchste Standzeit einer Form wird erzielt, wenn die verwendeten Werkstoffe auf alle einwirkenden Verschleißmechanismen abgestimmt sind.
Oft wäre daher die Kombination verschiedener Werkstoffe der ideale Weg, die punktuell gewünschten Werkzeugeigenschaften zu erhalten. Und auch Beschichtungen (Dünnschichten) helfen nicht immer weiter.
Hier können sogenannte Verbundtechnologien eine Lösung sein. Das sind spezielle (häufig metallurgische) Verbindungen, bei denen in Bereichen, in denen eine hohe Wärmeleitfähigkeit gefordert ist, entsprechende Kupferlegierungen zum Einsatz kommen, während in den Segmenten mit mechanischem Verschleiß Werkzeugstähle oder entsprechend verschleißfeste Werkstoffe verwendet werden.

Mit einem derartigen Werkstoffverbund kann man nun seine Werkzeugkomponenten so auslegen, dass sie den tatsächlichen im Spritzgießwerkzeug auftretenden Anforderungen entsprechen.

Maschinendüse ohne Verschleißspuren

Die folgenden Anwendungsbeispiele zeigen, welche Möglichkeiten Kupferlegierungen einzeln oder als Verbundwerkstoff beim Einsatz in Werkzeugen zur Kunststoffverarbeitung eröffnen. Ein Beispiel ist eine Maschinendüse, die als Bindeglied zwischen Extruder und Spritzgießwerkzeug ganz besondere Anforderungen zu erfüllen haben. So muss der Kunststoff über die Maschinendüse möglichst ohne Temperaturverlust in das Spritzgießwerkzeug transportiert werden. Bei verlängerten Maschinendüsen aus Stahl ist daher ei-

geschützt, sodass der Gewindebereich (Stahl) und die Düsenspitze an der Oberfläche über eine verschleiß- und korrosionsbeständige Beschichtung verfügen. So läuft bei der in den Extruder eingeschraubten Maschinendüse das Gewinde Stahl in Stahl.
Die beiden Bilder auf Seite ?? zeigen eine derart optimierte Maschinendüse nach einem Dauereinsatz von viereinhalb Monaten. Der dabei verarbeitete Kunststoff ist PBT, die Spritzgießmaschine eine Netstal 90 MPS. In dieser Zeit wurden vier Tonnen dieses Kunststoffs über die Maschinendüse verspritzt, bei insgesamt 380 000 Schuss und einer Düsentemperatur von 280 °C.
Nach dieser Zeit zeigte die Düse weder am Gewinde noch an der Düsenspitze deutlich erkennbaren Verschleiß, sodass die Maschinendüse durchaus weitere Monate eingesetzt werden kann.

Optimal: Diese Formeinsätze für die Deckel- und Eimerherstellung bestehen aus der berylliumhaltigen Kupferlegierung Hovadur K350. Dank gleichmäßiger Werkzeugwandtemperatur hat sich die Spritzteilqualität verbessert und die Zykluszeit deutlich verringert.



ne externe Beheizung unumgänglich. Maschinendüsen, die nur aus einer Kupferlegierung gefertigt werden, zeigen an der Düsenspitze sehr schnell Risse als Folge von Verschleiß. Denn mit jedem Schuss werden diese ja an das Spritzgießwerkzeug angeschlagen. Zudem werden bei den über das Gewinde in den Extruder eingeschraubten Kupfer-Düsen ganze Gewindegänge »abgearbeitet« (unterschiedlicher thermischer Ausdehnungskoeffizient). Große Probleme beim Herausschrauben der Düse sind die Folge.
Bei den hier beschriebenen Maschinendüsen besteht der Düsenkörper aus einer Kupferlegierung (K265). Düsen spitze und Gewinde sind verschleißge-

Schraubkappenwerkzeug: Zykluszeit um 30 Prozent gesenkt

Bei solchen Werkzeugen gibt es gleich mehrere Ansätze, sowohl für den Einsatz von Kupferlegierungen als auch für Verbundlösungen. Schraubkappenwerkzeuge sind Spritzgießwerkzeuge für die Massenfertigung. Hier ist neben der kürzest erreichbaren Zykluszeit bei guter Spritzteilqualität die Werkzeugstandzeit ein wesentlicher Erfolgsfaktor.
So konnte beim Formeinsatz durch Verwendung der Kupferlegierung Hovadur K350, beim Innern kam Hovadur K265 zum Einsatz, die Zykluszeit um mehr als 30 Prozent auf 30 Se- ▶

kunden gesenkt werden. Und zwar ohne negative Einflüsse auf die Form-Standzeit.

Am Beispiel dieses 6-fach-Schraubkappenwerkzeugs wird ebenfalls deutlich, welchen Einfluss der Gewindekern auf die Zykluszeit hat.

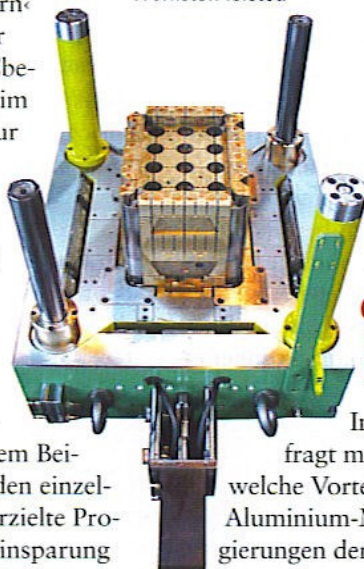
Zusätzlich zu dieser vom Kunden festgelegten Standardkonfiguration wurde im zweiten Schritt der Gewindekern als »Systemkern« ausgeführt. Hier besteht der Gewindekern im Verschleißbereich aus Stahl 1.2344 und im Kavitätsbereich aus Hovadur K265. Erreicht wurde so eine weitere Reduzierung der Zykluszeit um zwei Sekunden. Zwar klingen zwei Sekunden zunächst nicht nach besonders viel, doch bei einer Produktlaufzeit von rund vier Jahren und zehn Werkzeugen im Parallelbetrieb ergibt sich in diesem Beispiel trotz Mehrkosten für den einzelnen Systemkern durch die erzielte Produktivitätssteigerung eine Einsparung von über 12 000 Euro pro Form.

Kernstifte mit Kühlapfen

Ursprünglich wurde dieses Spritzgießwerkzeug mit genormten Kernstiften aus Werkzeugstahl bestückt. Das eigentliche Problem in diesem Beispiel war, dass die vorgegebene Abreißkraft für diese Verbindungsstücke nicht erreicht wurde. Fehlende Prozesssicherheit auf der einen und eine zu lange Zykluszeit auf der anderen Seite waren Ansporn, eine Lösung hierfür zu finden.

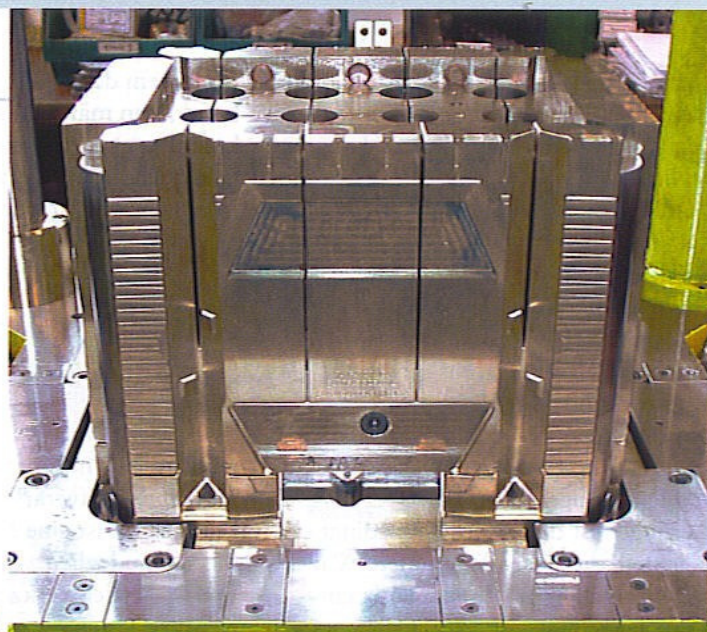
Gelöst wurde dies dadurch, dass die Kernstifte aus CNCS mit einem Kühlapfen versehen und die Oberfläche mithilfe des Glasperlenstrahlens reproduzierbar aufgeraut wurde. Diese Maßnahmen ergaben nicht nur die geforderte Abreißkraft und damit die notwendige Prozesssicherheit, zudem konnten auch Zykluszeit und Herstellkosten deutlich reduziert werden. Bei den veranschlagten Maschinenkosten von 20 Euro pro Stunde ergibt sich auf die 1,5 Millionen Stück eine Einsparung von über 7000 Euro und von 358 Maschinenstunden, die für andere Aufträge genutzt werden können.

Genau richtig: Formeinsatz für die Herstellung von Getränkekästen aus der Aluminium-Mehrstoffbronze-Legierung Hovadur B. Neben hoher Wärmeleitfähigkeit sind hier durch die langen Fließwege gute Gleiteigenschaften gefordert, was dieser Werkstoff leistet.



Getränkekästen erfordern große Fließwege

Im ersten Moment fragt man sich sicherlich, welche Vorteile denn gerade die Aluminium-Mehrstoffbronze-Legierungen der Hovadur-B-Reihe für Werkzeuge in diesem Anwendungsfeld bieten. So sind neben einer guten mechanischen Festigkeits- und Verschleißbeständigkeit gute mechanische Bearbeitbarkeit und sehr gute Korrosionsbeständigkeit gefordert. Schaut man sich diese Werkzeuge jedoch genauer an, so stellt man sehr schnell fest, dass der Kunststoff vom Anspritzpunkt weg sehr große Fließwege zurücklegen muss. Hier sind sehr gute Gleiteigenschaften gefordert, was Hovadur B leistet. Hinzu kommt eine etwa dreifach höhere Wärmeleitfähigkeit dieser Werkstoffe gegenüber Stählen, was zudem zu einer wesentlich reduzierten Zykluszeit führt. Werkstoffe mit noch höherer Wärmeleitfähigkeit, wie etwa Hovadur K265, würden zu einem zu schnellen Einfrieren des Kunststoffs führen. Die Folge: Die Form würde nicht vollständig gefüllt. Zudem müsste aufgrund des schlechte-



ren Reibwertes mit einem wesentlich höheren Einspritzdruck produziert werden.

Eimer und Deckel

Die eigentliche Besonderheit bei dem Beispiel Eimerwerkzeug ist, dass auf verschiedene Weise in einem Arbeitsgang auch der Henkel mit angebracht wird. Auch hier ging es um eine möglichst kurze Zykluszeit. Gleichzeitig sollte ein Einfallen am Eimerrand beziehungsweise am Deckel, also in dem Bereich, wo der Deckel den Eimer umschließt, vermieden werden. Die Werkzeuge wurden deshalb so konfiguriert, dass die verwendeten Einsätze aus dem Werkstoff Hovadur K350 bestehen. Das Bild auf Seite 89 zeigt die beiden Werkzeugeinsätze. Neben der geforderten Spritzteilqualität konnte hier die Zykluszeit deutlich reduziert werden.

Fazit

In vielen Fällen können Kupferlegierungen einen sehr großen Beitrag zur Erfüllung der Forderung nach bester Spritzteilqualität und kürzester Zykluszeit leisten. Mitunter ist eine Kombination verschiedener Werkstoffe der bessere Weg – entweder durch Beschichten oder durch die Verwendung von Verbundwerkstoffen. ■ FW100741

EUROMOLD Halle 9, Stand A99

JÜRGEN BARZ

Leiter Produktmanagement bei Schmelzmetall Deutschland

Links

www.novoplan-aalen.de
www.schmelzmetall.com