

Konstruktionshinweise

Hartmut Hoffmann, Markus Ostermeier, Rudolf Hautmann, Markus Lutz von Schwerin, München

Untersuchungen über optimale Rippenstrukturen von Umformwerkzeugen mit Hilfe der Gießsimulation

Bei umformtechnisch hergestellten Bauteilen in der Automobilindustrie zeichnen sich unter anderem zwei Tendenzen ab. Zum einen werden die Bauteile zunehmend größer, zum anderen werden Werkstoffe mit höheren Festigkeiten verwendet. Dadurch steigen die Anforderungen an die zumeist gegossenen Umformwerkzeuge. Vor allem die steigenden Abmaße und das in Folge steigende Gewicht sind nachteilig für Handhabung und Kosten. Deshalb ist es notwendig, die Struktur von Umformwerkzeugen zu optimieren.

1 Einleitung

In [1] werden die Anforderungen an ein Umformwerkzeug und die sich daraus ergebenden Gestaltungsmöglichkeiten ausführlich untersucht. Ergebnis ist, dass meist ohne fundierte Begründung ein konstanter Rippenabstand sowie eine gleiche Rippenstärke gewählt werden, obwohl die Werkzeugverrippung einen gravierenden Einfluss auf die Flächenpressung zwischen Blech und Niederhalter beziehungsweise Matrize und somit auf Reißen und Faltenbildung im Ziehteil hat. Um eine gleichmäßige Flächenpressung und damit auch einen geringeren Tuschieraufwand zu erreichen, ist deshalb aus umformtechnischer Sicht ein prismatisch verripptes Umformwerkzeug optimal. Bei diesen bisherigen Untersuchungen blieben jedoch fertigungstechnische und damit auch gießtechnologische Aspekte unberücksichtigt.

Da Umformwerkzeuge im Vollformgießverfahren hergestellt werden, lässt sich die Form weitgehend frei gestalten. Es müssen jedoch die fertigungstechnischen Randbe-

Prof. Dr.-Ing. Hartmut Hoffmann, Dipl.-Ing. Markus Ostermeier, Dipl.-Ing. Rudolf Hautmann, Technische Lehrstuhl für Umformtechnik und Gießereiwesen, TU München; Markus Lutz von Schwerin, BMW AG München

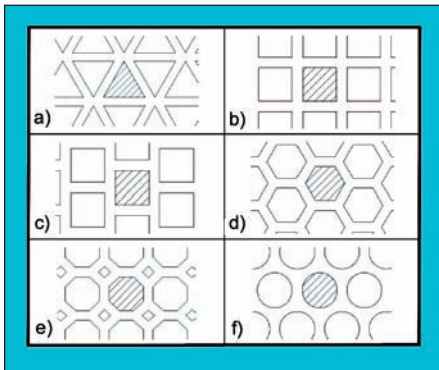


Bild 1: Untersuchte Verrippungsstrukturen
a) 3-eckig, b) 4-eckig, c) 4-eckig versetzt, d) 6-eckig, e) 8-eckig, f) rund

Tabelle 2: Die wichtigsten für die Berechnung verwendeten Materialkennwerte der untersuchten Werkstoffsorte EN-GJS-500-7

| | |
|-----------------------------|------|
| Zugfestigkeit [MPa] | 500 |
| Streckgrenze [MPa] | 320 |
| Druckfestigkeit [MPa] | 1000 |
| Dichte [g/cm ³] | 7,1 |
| T _{Liquidus} [°C] | 1180 |
| T _{Solidus} [°C] | 1120 |

dingungen des Gießens wie zum Beispiel Formfüllung, Lunker- und Eigenspannungsbildung und Verzug berücksichtigt werden. Um den Einfluss unterschiedlicher Verrippungsstrukturen aufzuzeigen, wurden anhand eines vereinfachten Werkzeugmodells und mit Hilfe der Simulation die Auswirkungen unterschiedlicher Verrippungsstrukturen, Rippenformen, -höhen und -breiten auf die Lunker- und Eigenspannungsbildung sowie auf den Verzug untersucht.

Tabelle 1: Untersuchte Variationen der Rippenstrukturen

| Versuchsreihe VR 1 Verrippungsstruktur | Versuchsreihe VR 2 Rippenbreite | Versuchsreihe VR 3 Rippenhöhe | Versuchsreihe VR 4 Durchmesser |
|---|------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| 3-eckig | | | |
| 4-eckig | | | |
| 4-eckig versetzt | | | |
| 6-eckig | 40 | 400 | 400 |
| | | 200 | 400 |
| | | 400 | 320 |
| | | 400 | 400 |
| | | 520 | 400 |
| | | 600 | 400 |
| | 80 | 800 | 400 |
| | | 300 | 400 |
| | | 400 | 400 |
| | | 400 | 500 |
| | | 280 | 400 |
| | | 400 | 400 |
| | 100 | 400 | 400 |
| | | 400 | 400 |
| | | 400 | 500 |
| | | 280 | 400 |
| | | 400 | 400 |
| | | 400 | 400 |
| 120 | 400 | 400 | |
| | 400 | 400 | |
| | 400 | 480 | |
| | 580 | 400 | |
| | 400 | 400 | |
| | 400 | 400 | |
| 140 | 400 | 400 | |
| | 400 | 400 | |
| | 400 | 560 | |
| | 600 | 400 | |
| | 800 | 400 | |
| | 400 | 400 | |
| 160 | 400 | 400 | |
| | 400 | 400 | |
| 8-eckig | | | 560 |
| | | | |
| rund | | | |

2 Versuche

Zunächst wurde die Verrippungsstruktur (**Bild 1**) und auf der daraus resultierenden besten Verrippungsstruktur (6-eckig) aufbauend anschließend Rippenhöhe, -breite und -fläche (**Tabelle 1**) untersucht. Hierzu wurden Werkzeugmodelle einer Größe von etwa B = 3000 mm x L = 5000 mm erstellt. Alle Werkzeugmodelle wurden in „CATIA V5“ konstruiert, in ein STL-Dateiformat umgewandelt und mit dem Gießsimulationsprogramm „WinCast“ Version 2002.1 simuliert.

Es wurden die im Programm hinterlegten Werkstoffdaten von EN-GJS-500-7 verwendet. Einen Überblick über die wichtigsten Daten gibt **Tabelle 2**.

3 Ergebnisse

Um die Ergebnisse vergleichbar auswerten zu können, wurde zunächst ein einheitliches Bewertungsschema definiert (**Tabelle 3, Bild 2**). Anhand der Temperaturfeldberechnung wurde der Abstand von Wärmezentren zur Wirkfläche ermittelt (siehe **Bild 3**). Die Wärmezentren geben einen Hinweis auf den Ort späterer, möglicher Lunker. Für die Ermittlung der Eigenspannungen wurden die Homogenität des Spannungsfeldes und die absoluten Maximalbeträge ausgewertet. Bezüglich des Verzuges wurde die Maßänderung einer Diagonalen über zwei Eckpunkte innerhalb einer Ebene bestimmt.

Aus der ersten Versuchsreihe (VR 1) ergab sich, dass mit einer 6-eckigen Verrippungsstruktur die im Vergleich besten Werte bei allen drei untersuchten Variationen (V1, V2, V3) erreicht werden konnten. Als erstes wurden nur Verrippungsstrukturen (V1) und als zweites Verrippungsstrukturen mit Bodenplatte (V2) untersucht. An dritter Stelle wurde auf ein identisches Gewicht geachtet (V3).

Generell traten Lunker zum einen in der Mitte von Rippen und zum anderen an Kreuzungspunkten auf, wobei die Lunkergerfahr in der Mitte bei allen Verrippungsformen gleichermaßen auftrat, Lunker bei Rippenkreuzungen oder -verzweigungen jedoch überwiegend bei dreieckiger und viereckiger Verrippung.

Bei der Eigenspannungsverteilung konnten mit den viereckig versetzt und den sechseckig verrippten Werkzeugmodellen das beste Ergebnis erzielt werden. Beim Verzug erwies sich nur das konventionell viereckig verrippte Teil als besonders schlecht. Die Ergebnisse im Überblick können der **Tabelle 4** entnommen werden. [2]

Bei der zweiten Versuchsreihe (**siehe Tabelle 1**), hier wurden zunächst die Rippenbreite (VR 2), anschließend die Rippenhöhe (VR 3) und zuletzt die von den Rippen umschlossene Sechseckfläche (VR 4) variiert (siehe **Tabelle 1**), erwies sich die Verzugsauswertung als schwierig. Hier konnte kein eindeutiges Optimum gefunden werden. Sehr gute Ergebnisse wurden jedoch mit den Kombinationen Rippenhöhe x Rippenbreite x Wabendurchmesser von 800 x 100 x 500 mm und mit 400 x 140 x 400 mm erzielt. Die Ergebnisse bezüglich der Lunkergerfahr und der Eigenspannungen können dem **Bild 3** entnommen werden. Grün bedeutet hierbei gute Ergebnisse, gelb ausreichende und rot unzureichende Ergebnisse. Bei der Lunkerbewertung sind die Farben analog zum **Bild 2** [3].

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass die Verrippungsstruktur einen wesentlichen Einfluss sowohl auf die Fehlerfreiheit als

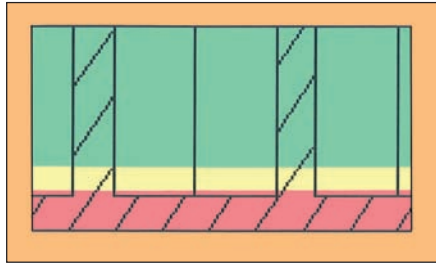


Bild 2: Lunkerbewertung:
rot = 1, gelb = 2, grün = 3

auch die Vorbelastung durch Eigenspannungen und Verzug von Umformwerkzeugen aus Gusseisen hat. Das beste Ergebnis hinsichtlich Lunker, Eigenspannungen und Verzug konnte mit einer wabenförmigen Verrippungsstruktur erreicht werden. Was Lunkergerfahr, Eigenspannung und Verzug betrifft, erwies sich die Kombination Rippenhöhe 400 mm, Rippenbreite 140 mm und Wabendurchmesser 400 mm als sehr gut. Eine experimentelle Überprüfung der mit Hilfe der Gießsimulation erarbeiteten Ergebnisse ist noch vorzunehmen.

Der nächste Schritt hin zu optimalen Verrippungsstrukturen ist der Einsatz von kommerziellen Topologieoptimierungsprogrammen. Damit ist mittlerweile eine weitreichende Strukturoptimierung möglich. Jedoch sind die technologischen Randbedingungen des Gießens durch diese Programme bisher noch weitgehend unberücksichtigt, weshalb das hinsichtlich

seiner Struktur optimierte Ergebnis jeweils mit Hilfe einer Gießsimulation auf seine gießtechnische Eignung überprüft werden muss. Deshalb lässt sich das gewünschte Bauteil nur schrittweise optimieren. Eine Kombination beider Verfahren wird derzeit in einem durch die DFG geförderten Projekt erarbeitet.

Die gleichzeitige Bauteiloptimierung hinsichtlich Struktur und Gussqualität ist jedoch nur ein weiterer Schritt hin zu einer ganzheitlichen, virtuellen Abbildung des Produktentstehungsprozesses von Umformwerkzeugen. Sowohl die Integration der Gießsimulation als auch der Topologieoptimierung stellen hierbei wesentliche Instrumente dar.

Schrifttum

- [1] Siebert, K. u. M. Häussermann: Weiterführende Untersuchungen zur Optimierung der Gestaltung von Umformwerkzeugen, EFB-Forschungsbericht 152. Hannover 2000.
- [2] Asam, M.: Untersuchungen zum Einfluss variierender Verrippungsstrukturen auf das gießtechnische Verhalten abstrahierter Umformwerkzeuge mittels FEM-Simulation, unveröffentlichte Semesterarbeit, Technische Universität München, Fakultät für Maschinenwesen 2004.
- [3] Nußbaumer, K., u. B. Kalb: Untersuchungen zum Einfluss variierender wabenförmiger Verrippungsstrukturen auf das gießtechnische Verhalten abstrahierter Umformwerkzeuge mittels FEM-Simulation. Unveröffentlichte Semesterarbeit, Technische Universität München, Fakultät für Maschinenwesen 2004.

Tabelle 3: Bewertungskriterien (auch die Vergabe von ½-Punkten ist möglich) (nach [2])

| Kriterium | 1 Punkt | 2 Punkte | 3 Punkte |
|--------------------------|---|--|---------------------------------|
| Temperaturfeld | Hohe Lunkergerfahr | Mittlere Lunkergerfahr | Geringe bis keine Lunkergerfahr |
| Eigenspannungsverteilung | Großflächig auftretende, hohe Eigenspannungen | Stellenweise auftretende, hohe Eigenspannungen | Niedrige Eigenspannungen |
| Verzug | Starker Verzug | Mittlerer Verzug | Geringer Verzug |

Tabelle 4: Ergebnisse der Untersuchungen zur Variation der Verrippungsstruktur

| | Lunker | | | Eigenspannungen | | | Verzug | | |
|-----------|--------|-----|-----|-----------------|-----|-----|--------|-----|-----|
| | V 1 | V 2 | V 3 | V 1 | V 2 | V 3 | V 1 | V 2 | V 3 |
| 3-eckig | 1 | 1 | 1,5 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 3 |
| 4-eckig | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 | 1 |
| 4-eckig v | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2,5 | 2,5 | 2,5 |
| 6-eckig | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2,5 | 3 | 3 |
| 8-eckig | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 |
| rund | 3 | 3 | 3 | 2 | 2,5 | 2,5 | 1,5 | 1,5 | 3 |

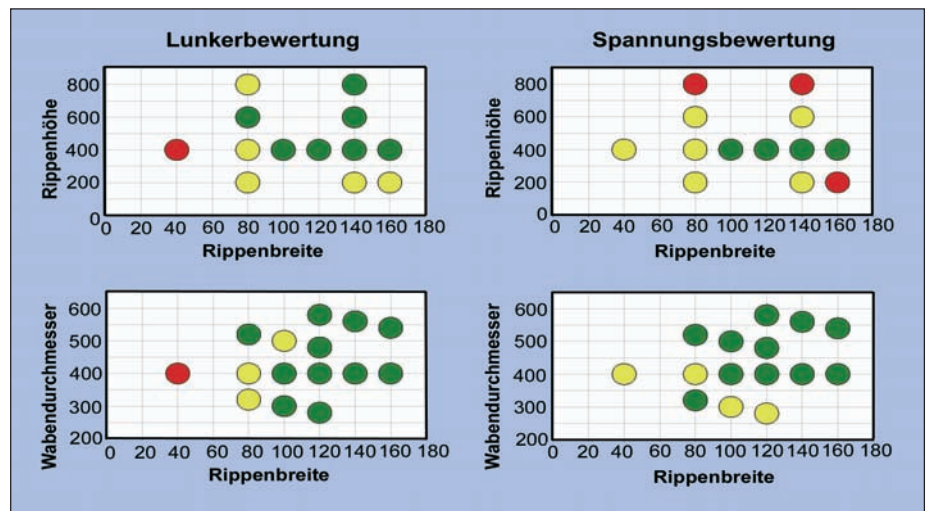


Bild 3: Ergebnis der Lunker- und Eigenspannungsbewertung