

Grundlagen für Auslegung gekröpfter Schnapphaken

Für gekröpfte Schnapphaken stehen jetzt praktische Auslegungsgrundlagen und realitätsnahe Berechnungsformeln zur Verfügung, wie sie für gerade Schnapphaken bereits früher erarbeitet wurden. Diese Grundlagen sind am Institut für Werkstofftechnik und Kunststoffverarbeitung (IWK) der HSR Hochschule für Technik Rapperswil entwickelt worden (Bild 1).

**JOHANNES KUNZ
ROMAN FREI**

Gekröpfte Schnapphaken sind in der Füge- und Verbindungstechnik immer dann eine Möglichkeit, wenn die verfügbaren Platzverhältnisse der Anwendung gerader

Schnapphaken entgegenstehen. Allerdings trifft man sie eher selten an. Die wenigen bisher verfügbaren Berechnungs-Tools liefern kaum praxisnahe Resultate. Sie basieren auf der Theorie erster Ordnung, d.h., sie ignorieren die Hakenauslenkung und die damit verbundene Winkeländerung beim Fügen und Lösen. Damit stellte sich die Aufgabe, wirklichkeitsnähere und möglichst einfach handhabbare Formeln zu entwickeln. Dabei interessieren in erster Linie die möglichst genaue Erfassung des Füge- und des Löseverhaltens sowie die Sicherstellung zulässiger Dehnungen und Spannungen. Dies beinhaltet den Einbezug der Winkeländerung beim Fügen und beim Lösen, die Optimierung der Fügegeometrie und die Berücksichtigung der Spannungs- und Dehnungsüberhöhungen (Kerb-

wirkung) bei der Anbindung des Hakens an das Formteil.

Umfangreiche Untersuchungen

Das Projekt beschränkte sich auf L- und U-förmig gekröpfte Schnapphaken als Grundformen und mit Fügerichtung vom freien Ende her (Bild 2). In bewährter Weise wurden theoretisch-analytische Betrachtungen und rechnerisch-numerische Parameterstudien mittels der Finite-Elemente-Methode (FEM) kombiniert. Die gefundenen Gesetzmässigkeiten wurden anschliessend grafisch interpretiert und möglichst treffend mathematisch beschrieben.

Die Untersuchungen gingen von einer Reihe von Voraussetzungen und Idealisierungen aus: Der federnde Teil des Schnapphakens ist von konstantem rechteckigem Querschnitt; der Schnapphaken besteht aus einem Kunststoff mit linear-viskoelastischem Verhalten, das heisst, die zeitabhängige Werk-

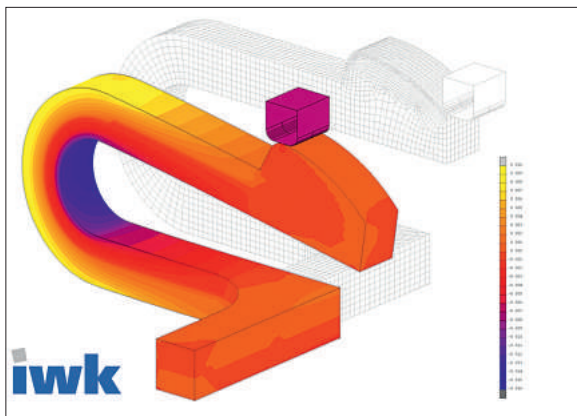


Bild 1: Dehnung am U-förmig gekröpften Schnapphaken beim Fügen, berechnet mit FEM. (Bilder: IWK)

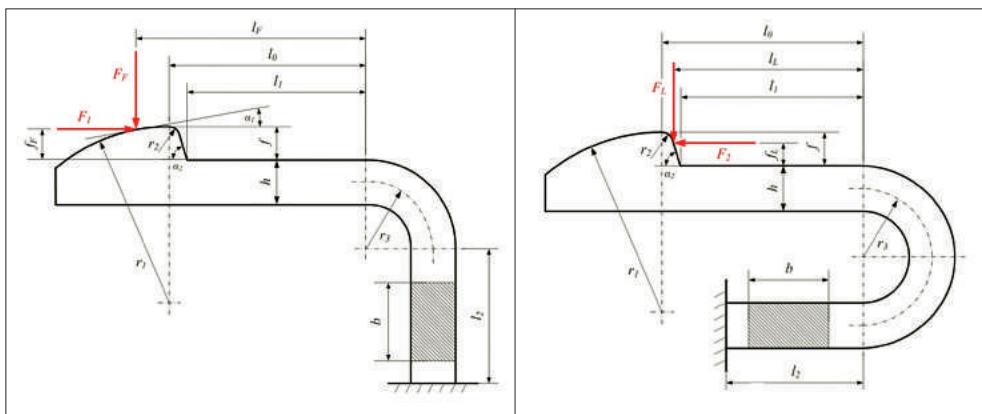


Bild 2: Schemaskizzen von L- und U-förmig gekröpften Schnapphaken mit Fügerichtung von der Seite des freien Endes (hier von links) und optimierter Fügegeometrie.

Johannes Kunz, Prof. Dipl.-Ing., Institut für Werkstofftechnik und Kunststoffverarbeitung (IWK) an der HSR Hochschule für Technik Rapperswil

Roman Frei, BSc FHO in Maschinentechnik, wissenschaftlicher Mitarbeiter am IWK Rapperswil

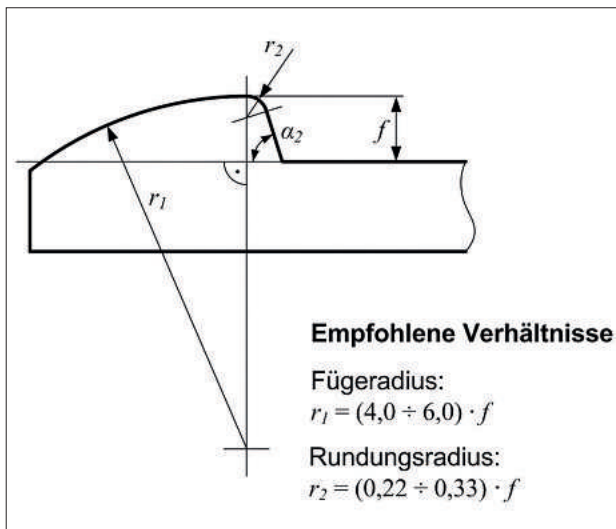


Bild 3: Mit der optimierten Fügegeometrie kann die Fügekraft wesentlich reduziert werden.

stoffsteifigkeit, beschrieben durch das Kriechmodul, ist keine Funktion der Last; die Werkstoffsteifigkeit beim – kurzzeitigen – Füge- bzw. Lösevorgang wird durch den im Kurzzeitversuch ermittelten Elastizitätsmodul hinreichend gut beschrieben; der Fügepartner besteht aus einem Werkstoff von vergleichsweise hoher Steifigkeit, sodass er näherungsweise als starrer Körper modelliert werden kann; und die Reibung zwischen den beiden Körpern wird mit gleicher Grösse für Haft- und Gleitreibung angenommen.

Mit der FEM wurden an L-förmigen Schnapphaken insgesamt dreissig Parameterkombinationen untersucht, bei den U-förmigen Schnapphaken waren es zwanzig. Dabei wurden die Proportionen innerhalb der Bereiche $0 \leq l_2/l_1 \leq 2$, $0,167 \leq r_3/r_1 \leq 0,33$ und $0,125 \leq h/l_1 \leq 0,33$ variiert. Diese begrenzen damit in etwa auch die Gültigkeit der herausgearbeiteten Formeln für die Füge- und die Lösekraft sowie für die maximale Dehnung im Bereich des Übergangsbogens in Funktion der massgebenden Parameter.

Optimierte Fügegeometrie

Für die Umsetzung der axialen Fügekraft in die Auslenkkraft, ►

Schlauchtechnik - Hydraulik - Antriebstechnik



Heizmann

weil's einfach klappt!



Heizmann AG, Neumattstrasse 8, CH-5000 Aarau
 Tel. +41 (0)62 834 06 06 Fax +41 (0)62 834 06 03
www.heizmann.ch info@heizmann.ch

► die den Haken um den Federweg f durchbiegt, wird noch immer verbreitet eine schiefe Ebene von etwa 30° Neigung angewendet. Es ist aber bekannt, dass diese Lösung unerwünschte hohe Kraft- und Spannungsspitzen verursacht. Mit einer optimierten Fügegeometrie in Form einer konvex gekrümmten Fläche anstelle der schiefen Ebene (Bild 3) können die Fügekräfte um 65 bis 75 Prozent gesenkt werden (Bild 4). Die so optimierte Fügegeometrie führt zu einem Kraftverlauf, der auch bei zunehmender Auslenkung und Neigung des Hakens während des Fügevorgangs über einen weiten Bereich des Fügewegs stetig bleibt.

Die optimale Fügegeometrie für L- und U-förmig gekröpfte Schnapphaken weist eine kreisbogenförmige Kontur mit einem Radius r_1 auf, der rund viermal so gross ist wie der Federweg f , der ja in etwa der Hinterschneidung entspricht. Noch etwas besser wäre ein Radius von $6 \times f$, was aber zu einem

überlangen Hakenkopf führen würde.

Praxisnahe Berechnungsformeln

Je ein Satz von Formeln, welche die Zusammenhänge zwischen der L- bzw. U-förmigen Schnapphakengeometrie, den wirkenden Kräften und der Werkstoffsteifigkeit mathematisch beschreiben, ist das Ergebnis der Untersuchungen. Gegenüber den FEM-Resultaten konnte mit einer Standardabweichung von 4,8 bis 8,95 Prozent je nach Formel eine recht gute Übereinstimmung erzielt werden. Bei der Erarbeitung der Berechnungsformeln wurde nebst der Genauigkeit eine möglichst einfache Struktur angestrebt, um sie praktisch handhabbar zu machen.

Aufgrund analytischer Berechnungen an idealisierten Modellen gekröpfter Balken wurden die massgebenden geometrischen Parameter für die Auswertung der umfangreichen Berechnungen mit der FEM herausgearbeitet. Als massgebend für die Füge- und die Lösekräfte stellten sich die drei Geometrieverhältnisse l_2/l_1 , r_3/l_1 und $r_3 \times l_2/l_1^2$ heraus, wobei das drittgenannte Verhältnis bei den U-förmigen Schnapphaken einen vernachlässigbaren Einfluss zeigte. Dabei hat sich bestätigt, dass die Neigung des Schnapphakens bei der Auslenkung (Bild 5) auch bei den gekröpften Varianten die Füge- und die Lösekräfte erheblich beeinflussen. Beim Fügen wird der Fügewinkel α_1 um den Winkel φ_1 der Hakenneigung erhöht, entsprechend wird beim Lösen der Lösewinkel α_2 um φ_2 verringert.

Die Extremwerte von Spannungen und Dehnungen am Übergangsbogen können je nach den Abmessungsverhältnissen zwischen den beiden Schnapparmschenkeln oder bei der Anbindung auftreten, wo sie durch die Kerbwirkung noch überhöht werden. Damit empfiehlt es sich, die Spannungen und die Dehnungen sowohl am Übergangsbogen als auch bei der Anbindung

zu berechnen und sich an den jeweils grösseren Werten zu orientieren. Die grösste Dehnung ist rein geometrisch bestimmt und unabhängig davon, ob die Verbindung gefügt oder gelöst wird. An diesen Stellen ist der Spannungszustand praktisch einachsig, weshalb die Grösstwerte der Spannungen anhand der Dehnungen mit dem einfachen Hookeschen Gesetz berechnet werden können.

Bei der Anbindung des Schnapphakens an das Formteil weist das Biegemoment auch bei gekröpften Schnapphaken zumindest ein relatives Maximum auf. Die daraus resultierenden Spannungen und Dehnungen werden infolge des sprunghaften Übergangs zwischen den beiden unterschiedlichen Querschnitten umgekehrt proportional zum Rundungsradius überhöht. Diese Kerbwirkung kann auch bei gekröpften Schnapphaken mit denselben Formzahlen erfasst werden, wie sie für gerade Schnapphaken ermittelt wurden. Die Formzahlen sind als Verhältnis der Maximalwerte zu den Nennwerten der Spannungen bzw. Dehnungen definiert.

Berechnungsgrundlage

Mit den am IWK erarbeiteten Berechnungsformeln steht der Konstruktionspraxis nun eine Grundlage zur Verfügung, die alle relevanten Einflüsse erfasst. Sie eignen sich für die Auslegung gekröpfter Schnapphaken «von Hand», für Variantenstudien mittels Tabellenkalkulation oder auch für Berechnung von Basis- bzw. Referenzgeometrien bei der Erfassung komplexerer Geometrien mittels FEM. Die Darstellung der Resultate einschliesslich aller Formeln findet sich auf der Website des Instituts zum Download unter www.iwk.hsr.ch/BauteilAuslegung-Werkstoffme.3578.0.html. ■

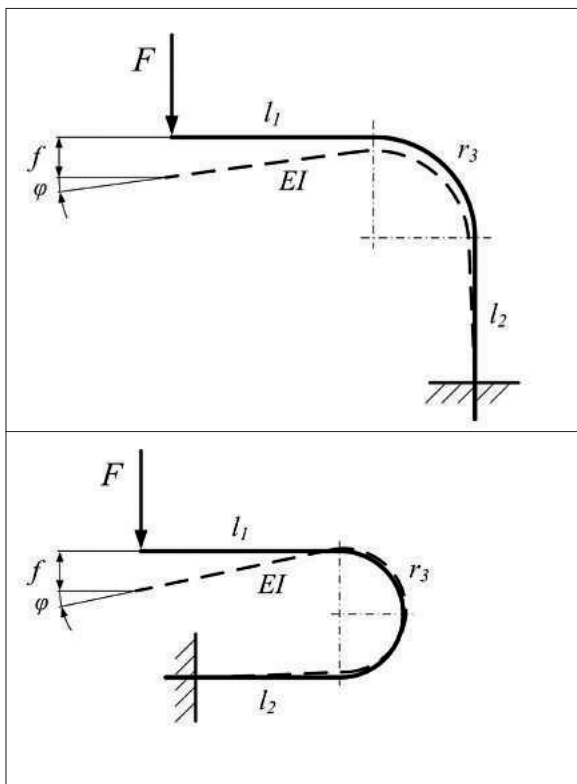


Bild 4: Die Neigung φ infolge Auslenkung um den Federweg f beeinflusst auch bei L- und U-förmig gekröpften Schnapphaken die Füge- und die Lösekräfte erheblich.