

### Versuchsbeschreibung

Für die untersuchten Hartmetallwerkstoffe wurden mathematische Modelle entwickelt, um die wichtigsten mechanischen Kenngrößen (Verbundhärte, Bruchzähigkeit und E-Modul) mittels der in der Quantitativen Gefügeanalyse gewonnenen Mikrostrukturparameter berechnen zu können.

### Versuchsbedingungen

Für das Modell zur Berechnung der Verbundhärte wurden die im Projekt gewonnenen Struktur-Eigenschaftsbeziehungen verwendet. Das Modell wurde anschließend an die gemessenen Härtewerte angepasst.

Für die Berechnung der Bruchzähigkeit (kritischer Spannungsintensitätsfaktor  $K_{Ic}$ ) wurden die gewonnenen Struktur-Eigenschaftsbeziehungen mit früheren Arbeiten von Bolton und Keely (*Fibre Sci. Technol.* 19, 1983, S. 37-58) sowie von Cutler und Vikar (*J. Mater. Sci.* 20, 1985, S. 3557-3573) verglichen und deren Anwendbarkeit überprüft.

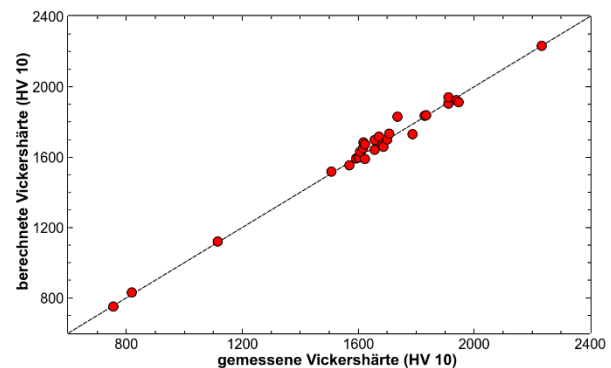
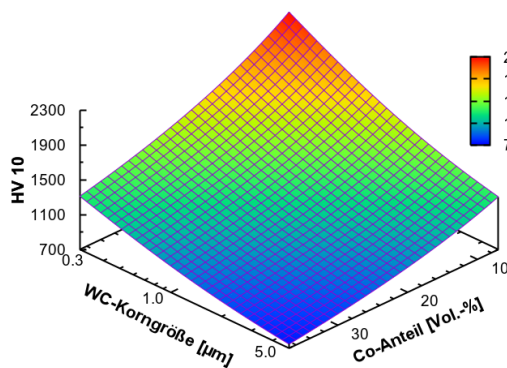
Im Falle des Elastizitätsmoduls wurden die Modelle von Voigt (1928), Reuss (1929), Paul (1960), Hirsch (1962), Hashin und Shtrikman (1963), Poech et al. (1992) und Zahl et al. (1993) herangezogen und mit den gemessenen Werten verglichen.

### Zusammenfassung der Ergebnisse

#### Verbundhärte:

Die Verbundhärte (HV 10) eines Hartmetallwerkstoffes mit dem Co-Volumenanteil  $\varphi_{Co}$  und der mittleren WC-Korngröße (mittlerer maximaler Feretdurchmesser)  $d_{Fer}$  lässt sich mit folgender Formel berechnen:

$$H = \frac{0,5}{\varphi_{Co} + 0,331} \left( 729 + \frac{718}{\sqrt{d_{Fer}[\mu m] + 0,13}} \right)$$



#### Bruchzähigkeit:

Das Anpassen der Messwerte an das Modell von Bolton und Keely liefert folgende Formel zur Berechnung der Bruchzähigkeit:

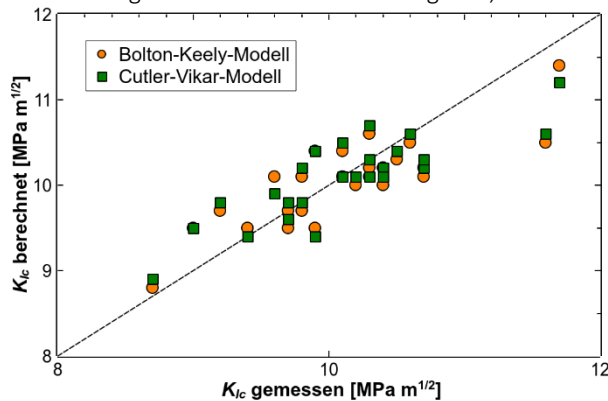
$$K_{Ic}^{BK} [MPa m^{1/2}] = 2,3(3) \cdot d_{Fer} [\mu m] + 10,5(29) \cdot \varphi_{Co} + 7,3(5)$$

Das Anpassen der Messwerte an das Modell von Cutler und Vikar liefert folgende Formel zur Berechnung der Bruchzähigkeit:

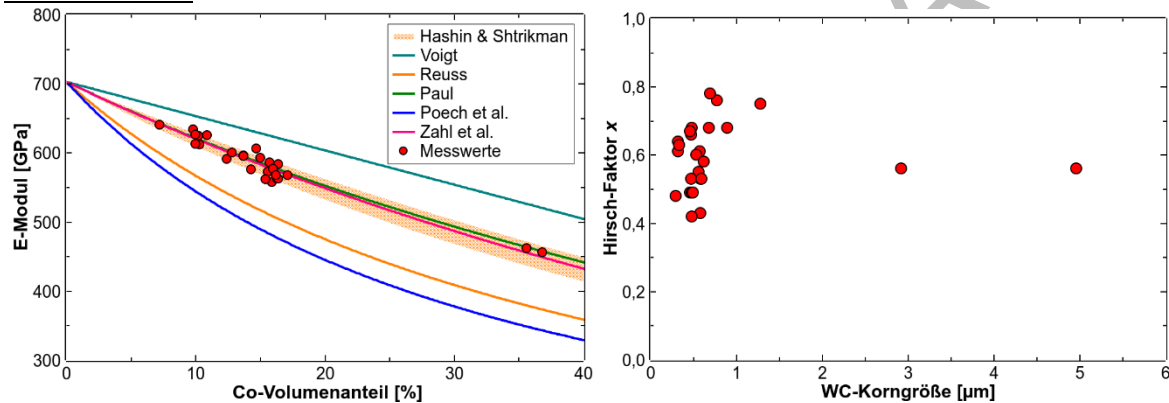
$$K_{Ic}^{CV} [MPa m^{1/2}] = [14,2(40) \cdot \varphi_{Co} + 2,0(6)] \cdot d_{Fer}^{1/2} [\mu m^{1/2}] + 7,2(5)$$

Die berechneten Werte für die Bruchzähigkeit weichen in beiden Fällen im Mittel um ca. 3 % von den gemessenen Werten ab, wobei die Abweichung bei höheren Werten (gröbere Hartmetallwerkstoffe) zunimmt. Sowohl Bolton und Keely als auch Cutler und Vikar gehen von einem konsequenten Anstieg der Größe  $K_{Ic}$  mit der WC-Korngröße aus. Allerdings berücksichtigen beide Arbeiten nur Hartmetalle mit WC-Korngrößen über

0,9  $\mu\text{m}$ . Die im Rahmen dieses Projekts gewonnenen Daten der Materialien mit feinerer Körnung zeigen kein eindeutiges Verhalten, da in einigen Fällen (bei konstantem Co-Gehalt) die Bruchzähigkeit relativ konstant bleibt trotz größer werdender WC-Korngröße, in anderen Fällen scheinbar auch zunimmt.



Elastizitätsmodul:



#### Schlussfolgerung der Ergebnisse

Das entwickelte Modell zur Berechnung der Vickershärte HV 10 stimmt sehr gut mit den gemessenen Werten über den gesamten industriell relevanten Bereich (700 – 2300 HV 10) überein und erlaubt somit eine gute Abschätzung der Härte aus den Gefügeparametern des Materials.

Die beiden bekannten Modelle von Bolton und Keely und von Cutler und Virkar liefern zwar eine gute Abschätzung der Bruchzähigkeit, allerdings ist es fraglich, ob die für feine und gröbere Hartmetalle zugrundeliegenden Korrelationen im Bezug auf die WC-Korngröße geeignet sind, um die Bruchzähigkeit von ultrafeinen und feinsten Hartmetallsorten zu beschreiben. Der Grund hierfür liegt in dem uneinheitlichen Verhalten der gemessenen Bruchzähigkeiten in Abhängigkeit der WC-Korngröße bei Korngrößen kleiner als 0,9  $\mu\text{m}$ .

Für die Abschätzung des Elastizitätsmoduls sind die Modelle von Paul (1960), Hashin/Shtrikman (1963) und Zahl et al. (1993) sehr gut geeignet. Auch das Hirsch-Modell liefert gute Ergebnisse, allerdings zeigt der hierfür benötigte Hirsch-Faktor  $x$  eine deutliche Abhängigkeit von der Korngröße der WC-Phase.

#### Weiterführende Dokumente

T. Kresse, D. Meinhard, T. Bernthaler, G. Schneider, Hardness of WC-Co hard metals: Preparation, quantitative microstructure analysis, structure-property relationship and modelling, Int. J. Refract. Met. Hard Mater. 75 (2018) S. 287-293, DOI: [10.1016/j.ijrmhm.2018.05.003](https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2018.05.003).