

Dipl.-Ing. Veit Marx, Erlangen

Simulation des Härteeindrucks an spröden Materialien

Reihe **18**: Mechanik/
Bruchmechanik

Nr. **222**

Inhaltsverzeichnis

Liste der wichtigen Symbole und Abkürzungen	VIII
1 Einleitung	1
1.1 Aufgabe und Zielstellung	1
1.2 Der Eindruckversuch	2
1.3 Übersicht zu numerischen Arbeiten	2
2 Analytische Methoden	5
2.1 Überblick	5
2.2 Prinzipielle Aussagen	5
2.3 Selbstähnlichkeit	7
2.4 Elastisches Problem	9
2.4.1 Einzelkraft auf Halbraum	9
2.4.2 Kugeleindruck	10
2.4.3 Kegeleindruck und beliebige rotationssymmetrische Indenter .	10
2.4.4 Reibung bei elastischen Eindrücken	11
2.5 Plastisches Problem	12
2.5.1 Gleitlinientheorie	12
2.5.2 Hohlraummodelle (expanding cavity)	13
2.5.3 Erweiterte Hohlraummodelle	15
2.5.4 Yoffe-Modell	16
2.5.5 Versetzungsmodell	16
2.6 Vergleich der unterschiedlichen Modellierungen	17
3 Realitätsnahe Modellierung	19
3.1 Deformationsverhalten spröder Stoffe	19
3.2 Geometrie	20
3.3 Rechnungsablauf	22
3.4 Verifikation	24
3.5 Darstellungsform der Ergebnisse	26
4 Kegel- und Pyramideneindruck	27
4.1 Definition der Härte	27
4.2 Geometrie des Eindrucks unter Vollast	28
4.2.1 Allgemeines	28
4.2.2 Kegel	29
4.2.3 Pyramide	30
4.3 Kraft-Eindring-Verhalten	31

4.3.1	Belastung	31
4.3.2	Entlastung	32
4.3.3	Funktionelle Form der Entlastungskurve	34
4.4	Vorgänge während der Entlastung	36
4.4.1	Kontaktänderung	36
4.4.2	Druckentwicklung	36
4.4.3	Geometrische Veränderungen im Kontaktbereich	38
4.4.4	Die bleibende Eindringtiefe h_f	41
4.5	Abhängigkeit der Härte von den Materialparametern	42
4.6	Vergleich von Vickers- und äquivalentem Kegeleindruck	43
4.7	Einfluß der Verfestigung auf Oberflächengeometrie und Härte	45
5	Bestimmung von Materialparametern	47
5.1	Ziel	47
5.2	Elastische Eigenschaften	47
5.3	Plastische Eigenschaften	49
5.4	Härte	51
5.4.1	Härte aus der Eindringtiefe	51
5.4.2	Härte aus energetischen Betrachtungen	53
6	Analyse des Spannungsfeldes und Auswirkungen auf die Rißentstehung und -entwicklung	55
6.1	Allgemeines	55
6.2	Rißsysteme	55
6.3	Gestalt und Größe der plastifizierten Zone	56
6.4	Spannungsverteilung und materialabhängige Rißentstehung	59
6.4.1	Oberfläche	59
6.4.2	Indenterachse	62
6.4.3	Vorgänge unterhalb der Oberfläche	64
6.4.4	Besonderheiten des Vickerseindrucks	66
6.5	Simulation des Rißwachstums in der Diagonalebene	68
6.6	Berechnung von K_{Ic} aus der half-penny Rißgeometrie	68
6.6.1	Das Entstehen der finalen Rißgeometrie	68
6.6.2	Bruchmechanische Modelle	69
6.6.3	Erweiterung	70
7	Besonderheiten durch zusätzliche Annahmen	73
7.1	Reibung	73
7.1.1	Prinzipielles und Kraft-Eindring-Verhalten	73

7.1.2	Spannungsverteilung	76
7.2	Druckabhängiges Fließen	77
7.2.1	Globales Verhalten	77
7.2.2	Modifikation des Spannungsfeldes	79
8	Zusammenfassung und Ausblick	83
A	Algorithmische Realisierung	85
A.1	Methode der finiten Elemente	85
A.2	Kontaktproblem	85
A.3	Geometrische und physikalische Nichtlinearität	88
B	Das Fließen bei spröden Stoffen	90
C	Beispiele für reale Materialhärten	91
D	Ergänzende Ergebnisse zum Vickerseindruck	92
	Literatur	95