den Klammern nur wenig von 1 abweichen. Bei $r = 2\,h$ wird der begangene Fehler für den rechteckigen Querschnitt rund $4\,\%$, für den kreisförmigen und elliptischen rund $3\,\%$.

Die Spannungsverteilung ist durch Hyperbeln gekennzeichnet.

Tolle hat das folgende zeichnerische Verfahren zur Ermittelung der Spannungen und ihrer Verteilung in gekrümmten Stäben angegeben [I, 8], das an der Berechnung eines Hakens für $P = 6000$ kg Last, Abb. 53b, erläutert werde. Man bestimmt zunächst den Schwerpunkt S des Querschnittes. Dann verändert man die Breiten des letzteren im Verhältnis $\frac{x}{r+x}$. Im mittleren Teilbild ist das dadurch geschehen, daß die ganzen Breiten oberhalb der Mittellinie bis zur gestrichelten Linie abgetragen und die Endpunkte beliebiger Ordinaten, z. B. B mit K_I, der Projektion des Krümmungsmittelpunktes, verbunden werden. Dann schneidet die Parallele zu $K_I B$ durch S die gesuchte Länge AC auf der Ordinate AB ab. Die Punkte C liefern eine Kurve, welche mit der Querschnittachse die Flächen F_1 und F_2 einschließt, deren Differenz $F_1 - F_2$ mit F' bezeichnet sei. Wenn nun die auf den Querschnitt wirkende äußere Kraft P im oberen Teilbild durch zwei senkrecht zum Querschnitt stehende Kräfte P_0 und P' ersetzt wird, von denen P_0 im Schwerpunkte S, P' im Krümmungsmittelpunkt K_I angreift, so ist die Spannung in einem Flächenelemente im Abstande x von der Schwerachse die algebraische Summe zweier Spannungen:

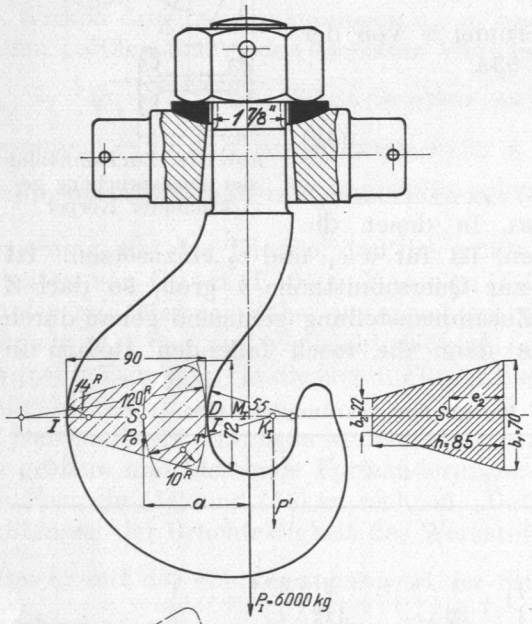

Abb. 53b. Hakenberechnung nach Tolle.

a) von P_0 herrührend, $\sigma_0 = \frac{P_0}{F}$, positiv, wenn P_0 eine Zugkraft, negativ, wenn P_0 eine Druckkraft ist. σ_0 ist für alle Fasern des Querschnitts gleich groß.

b) von P' hervorgerufen, $\sigma' = \frac{P'}{F'} \cdot \frac{x}{r+x}$. Ob Zug- oder Druckspannungen im Punkte D herrschen, ergibt sich anschauungsmäßig aus der Richtung der Kraft P'. (Bei der Bestimmung durch das Vorzeichen ist zu beachten, daß $F' = F_1 - F_2$ stets negativ ausfällt, P' als Zugkraft positiv, als Druckkraft negativ einzusetzen ist und daß für e_1 und e_2 das am Kopf des Abschnittes Gesagte gilt.) Der Verlauf von σ' ist durch eine gleichseitige, durch den Schwerpunkt S laufende Hyperbel dargestellt, die man nach der unteren Abbildung findet, indem man die Spannung für einen beliebigen Punkt, z. B. die äußerste Faser D aus

$$\sigma'_D = \frac{P'}{F'} \cdot \frac{e_2}{r+e_2}$$

berechnet und als Ordinate $\overline{DE}$ aufträgt. Verbindet man E mit S und zieht durch K_I die Parallele zu $\overline{ES}$, so schneidet diese $\overline{DE}$ im Punkte G. Legt man durch G die Parallele $\overline{GJ}$ zu $\overline{K_I S}$, so findet man einen weiteren Punkt der Spannungslinie, z. B. den auf der Ordinate HJ gelegenen, wenn $\overline{SL}$ parallel $\overline{K_I J}$ gezogen wird. Zahlenmäßig ergeben sich, wenn die Ermittelung an dem in natürlicher Größe aufgezeichneten Haken für $P = 6000$ kg durchgeführt wird: