

Nachalov, V.A.

**Spannungen in Rohrbogen aufgrund von äußeren und
Kompensationslasten.**

Deutsche Auszugsübersetzung aus:

Nachalov, V/iktor/ A/leksandrovič/: Nadežnost' gibov trub elektroenergetičeskich ustanovok /Sicherheit von Rohrbogen in Wärmeenergieanlagen; russ./ . Moskva: Verlag "Energoatomizdat", 1983, S. 99 - 101.

Russ.: Напряжения в гйбах труб от внешних и компенсационных нагрузок.
Naprjaženija v gibach trub ot vnešnich i kompensacionnych nagruzok.

$$\sigma_{\theta} = \sigma_{\theta x}^0 \beta_1 + \sigma_{\theta y}^0 \beta_2 \quad (3.46)$$

$$\sigma_{\varphi} = \sigma_{\theta x}^0 \gamma_1 + \sigma_{\theta y}^0 \gamma_2 \quad (3.47)$$

Die Querschnittsform des Bogens hat kaum Auswirkungen auf die Kompensationsspannungen und auf die Spannungen aufgrund von Gewichtsbelastungen. Spannungen, die in der Wand eines gebogenen Rohres mit elliptischem Querschnitt aufgrund eines äußeren, in der Biegeebene wirkenden Biegemoments auftreten, wurden von M.T. Huber [103] sowie von R.A. Clark und E. Reissner [49] bestimmt. Obwohl sich die letztgenannte Lösung auf dünnwandige gebogene Rohre mit kleinem Radius ($\lambda < 0,7$) bezieht, kann man die daraus folgende Relation der Spannungen in Bogen mit elliptischem und rundem Querschnitt offensichtlich auch auf normale Bogen übertragen. Wie beim Biegen eines Rohres mit rundem Querschnitt treten die maximalen Umfangsspannungen in einem Bogen mit elliptischem Querschnitt in der neutralen Zone auf ($\varphi = 0$). Die Spannungen können nach Formel (3.47) berechnet werden, wobei für die Unrundheit des Querschnitts und die Wandkrümmung Korrekturen vorgenommen werden. Ausgehend von [49] stellen wir die Korrektur für die Unrundheit dar als

$$K_{\alpha} = (1 - 0,255\alpha_{*c}) \frac{2 + \alpha_{*c}}{2 - \alpha_{*c}}, \quad (4.68)$$

wobei α_{*c} die auf die mittlere Querschnittslinie bezogene Unrundheit ist,

$$\alpha_{*c} = \alpha_* \frac{2\beta}{\beta + 1}. \quad (4.68)$$

Die Formel (4.68) ist bei $\alpha_{*c} \leq 0,2$ hinreichend genau. Bei $\alpha_{*c} = 0,1$ und $\beta = 1$ ist $K_{\alpha} = 1,077$, bei Zunahme von β bis 1,5 steigt K_{α} nur bis 1,095. Bei $\alpha_* = 0,2$ und $\beta = 1,5$ ist $K_{\alpha} = 1,19$. Somit ist das Verhältnis der Zusatzspannung zur Hauptspannung beim Biegen eines Rohres annähernd gleich der Unrundheit des Querschnitts.

Die Korrektur für die nichtlineare Verteilung der Biegespannungen über die Wanddicke findet man nach denselben Formeln wie bei der Belastung durch Innendruck.

Die Längsspannungen beim Biegen eines Rohres mit elliptischem Querschnitt werden nach Formel (3.46) bestimmt, unter Korrektur für die Unrundheit des Querschnitts entsprechend (4.68).

A.G. Kamerštejn [41, 43] hat die Spannungen beim Biegen von Segmentkrümmern gemessen. Dabei untersuchte er Krümmern mit ein, zwei und drei Segmenten ($\theta = 45^\circ, 30^\circ$ und $22^\circ 30'$) aus Rohren mit $\varnothing 219, 325, 426, 530$ und 720 mm, $R_* \approx 1$ (7 Fälle) und $R_* \approx 2$ (2 Fälle). Die Unrundheit der Symmetrieebene lag innerhalb von $0,3 - 0,6\%$. Die Art der Verteilung der Umfangsspannungen über den Segmentquerschnitt entspricht annähernd der Rohrbiegungstheorie. Absolut sind die Spannungswerte niedriger als bei gebogenen Rohren. Die maximalen Spannungen treten in Nähe der "neutralen" Zone auf. Bei einem Krümmer aus einem Rohr mit $\varnothing 325 \times 11$ mm und einem einzigen Segment beträgt die Spannung etwa $0,7$ von den Spannungen im Bogen. Mit zunehmender Segmentzahl nimmt die Differenz in den Spannungen ab.

Die Längsspannungen in Segmentkrümmern hängen wesentlich stärker von der Segmentzahl ab. Bei einem einzigen Segment ($\theta = 45^\circ$) ist die auf den Segmentrand im Punkt $\varphi = -30^\circ$ wirkende maximale Längsspannung $2,5$ bis 3 mal größer als in einem krummen Rohr. Mit zunehmender Segmentzahl nähern sich die Spannungen denjenigen in einem gebogenen Rohr an. In einem Krümmer aus drei Segmenten sind die Spannungen um annähernd 30% größer als in einem Bogen. Im mittleren Querschnitt der Segmente sind sowohl die Umfangsspannungen als auch die Längsspannungen niedriger als am Rand.

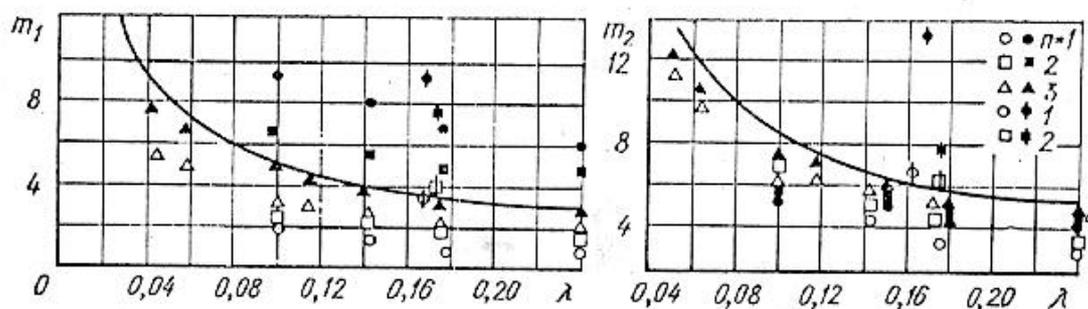


Abb. 4.19. Koeffizienten der Spannungsintensivierung in Segmentkrümmern (Punkte) und in gebogenen Rohren (Linien).

Wie die Versuchsangaben zeigen, kann man zur Berechnung der Spannungen beim Biegen von Segmentkrümmern die Koeffizienten der Spannungsintensivierung benutzen, die für gebogene Rohre ermittelt wurden. Bei einer Segmentzahl von $n = 3$ und höher ist die Differenz zwischen Rechenwerten und Versuchsangaben gering. Eine starke Abweichung stellt man nur bei Krümmern mit einem oder zwei Segmenten fest (Abb. 4.19).

Literatur

49. Кларк Р., Рейсснер Э.: Изгиб труб с криволинейной осью. – В кн.: Проблемы механики. Москва: Иностранная литература, 1955.

Klark, R.; Rejsner, E.: Izgib trub s krivolinejnoju os'ju. - In: Problemy mehaniki. Moskva: Inostrannaja literatura, 1955.

Übersetzung aus dem Englischen: Clark, R.A, Reissner, E.: Bending of curved tubes. - In: Advances in Applied Mechanics. New York, 2 (1951), S. 93 - 122.

41. Камерштейн А.Г.: Исследование деформативности и несущей способности сварных колен. – Строительство трубопроводов. (1964), № 3, стр. 10– 14.

Kamerštejn, A.G.: Issledovanie deformativnosti i nesuščej sposobnosti svarnych kolen. - In: Stroitel'stvo truboprovodov. Moskva, 9 (1964), Nr 3, S. 10 - 14.

/Untersuchung der Verformbarkeit und Tragfähigkeit geschweißter Krümmer; russ./

43. Камерштейн А.Г.: Улсовия работы стальных трубопроводов и резервы их несущей способности. Москва: Стройиздат, 1966.

Kamerštejn, A/natolij/ G/rigor'evič/: Uslovija raboty stal'nych truboprovodov i rezervy ich nesuščej sposobnosti. Moskva: Strojizdat, 1966.

/Verhalten von Rohrleitungen und ihre Tragfähigkeitsreserven; russ. - im 5. Kapitel behandelt der Verfasser unter der Überschrift "Geschweißte Krümmer" die Frage der Segmentkrümmer; Anm.d.Übers./

103. Huber, M.T.: Odszktańcenie sprężyste rury cienkościennej o przekroju eliptycznym przy jej zginaniu. Pure bending of curved thin-walled tubes of elliptic cross section. /poln. mit engl. Zusammenfassung/ - In: Archiwum Mechaniki Stosowanej. Warszawa, 1 (1949), S. 1 - 22.

Stuttgart, den 8. August 1996

übersetzt von

Ottmar Pertschi
(Dipl.-Übersetzer)