

Buigen van dikwandige plaat

Citation for published version (APA):

Hoogenboom, S. M. (1984). *Buigen van dikwandige plaat*. (TH Eindhoven. Afd. Werktuigbouwkunde, Vakgroep Produktietechnologie : WPB; Vol. WPB0140). Technische Hogeschool Eindhoven.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1984

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

BB 433642

BUIGEN VAN DIKWANDIGE PLAAT

4791

Auteur: ir. S.M. Hoogenboom

WPB-Rapport nr. 0140 dec. '84

VF code: D1

BUIGEN VAN DIKWANDIGE PLAAT.

I. Vooraf.

In het nu volgende zal middels een eenvoudig procesmodel het buigend moment worden berekend voor het geval van exponentieel verstevend materiaal. Tevens zal m.b.t. insnoering aan de buitenzijde van de gebogen plaat iets worden vermeld over de kritische buigstraal. In Fig. 1.1 zijn de voor het proces relevante grootheden weergegeven.

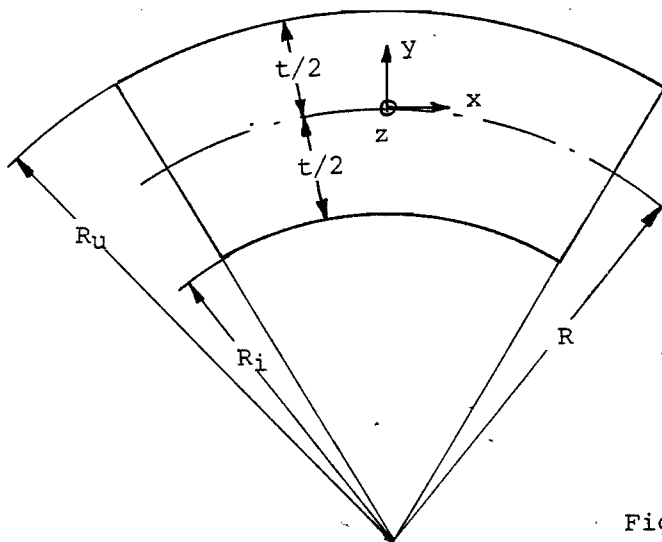


Fig. 1.1

II. Het buigend moment.

Er wordt het nu volgende procesmodel aangenomen ([1], [2]):

- vlakke deformatie in de z -richting, dus $\epsilon_z = 0$.
- het neutrale vlak is het momentane middenvlak met straal R ; ter plaatse is een lokaal coördinatensysteem gekozen.

Er geldt zodoende $\epsilon_x = (y=0) = 0$.

- de plaatdikte verandert tijdens het buigproces niet.

- $\sigma_y = 0$.

- als materiaalmodel wordt exponentieel verstevend materiaal aangenomen,

$$\text{dus } \bar{\sigma} = C(\bar{\epsilon} + \bar{\epsilon}_0)^n \tag{2.1}$$

Omdat: $\sigma_y = 0$ is.

$$\bar{\sigma}^2 = \sigma_x^2 + \sigma_z^2 - \sigma_x \sigma_z \tag{2.2}$$

Met Levy-von Mises en $\epsilon_z = 0$ is dan

$$\sigma_z = \frac{\sigma_x}{2} \quad (2.3)$$

Hiermee is (2.2)

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \frac{2}{\sqrt{3}} \bar{\sigma} \quad \text{voor } y > 0 \\ \sigma_x &= \frac{-2}{\sqrt{3}} \bar{\sigma} \quad \text{voor } y < 0 \end{aligned} \quad (2.4)$$

Voor de rekken geldt:

$$\epsilon_x = -\epsilon_y = \ln \left(1 + \frac{y}{R} \right) \quad (2.5)$$

zodat

$$\bar{\epsilon} = \frac{2}{\sqrt{3}} \left| \ln \left(1 + \frac{y}{R} \right) \right| \quad (2.6)$$

Bij goede benadering kan hiervoor worden geschreven:

$$\bar{\epsilon} = \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{|y|}{R} \quad (2.7)$$

Met (2.1) en (2.4) is dan:

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \frac{2C}{\sqrt{3}} \left(\frac{2}{\sqrt{3}} \frac{y}{R} + \bar{\epsilon}_0 \right)^n \quad \text{voor } y > 0 \\ \sigma_x &= \frac{-2C}{\sqrt{3}} \left(\frac{-2}{\sqrt{3}} \frac{y}{R} + \bar{\epsilon}_0 \right) \quad \text{voor } y < 0 \end{aligned} \quad (2.8)$$

Omdat σ_x spiegelsymmetries is ten opzichte van de x-as geldt zodoende voor het buigend moment:

$$M_b = 2 \int_0^{t/2} \sigma_x \cdot y \cdot L \cdot dy \quad (2.9)$$

Hierin is L de plaatafmeting loodrecht op de buigrichting. Uitwerking van (2.9) met gebruikmaking van (2.8) en dimensieloos geschreven met:

$$M_b^* = \frac{M_b}{C.L.t^2} \quad (2.10)$$

levert:

$$M_b^* = \frac{\sqrt{3}}{(n+1)(n+2)} \cdot \rho^2 \cdot \left(\left(\frac{1}{\rho\sqrt{3}} + \bar{\epsilon}_0 \right)^{n+1} \left(\frac{n+1}{\rho\sqrt{3}} - \bar{\epsilon}_0 \right) + \bar{\epsilon}_0^{n+2} \right) \quad (2.11)$$

Hierin is

$$\rho = \frac{R}{t} \quad (2.12)$$

de aan de plaatdikte gerelateerde kromtestraal.

In Fig. 2.1 is voor een aantal n- respektievelijk $\bar{\epsilon}_0$ - waarden (2.11) grafisch weergegeven. In feite wordt hiermee het hele gebied van laaggeleegde niet voorgedeformeerde koolstofstalen bestreken. Door interpolatie kan voor tussenliggende waarden van n en $\bar{\epsilon}_0$ het buigend moment worden berekend. In bijlage A wordt hiervan een rekenvoorbeeld gegeven.

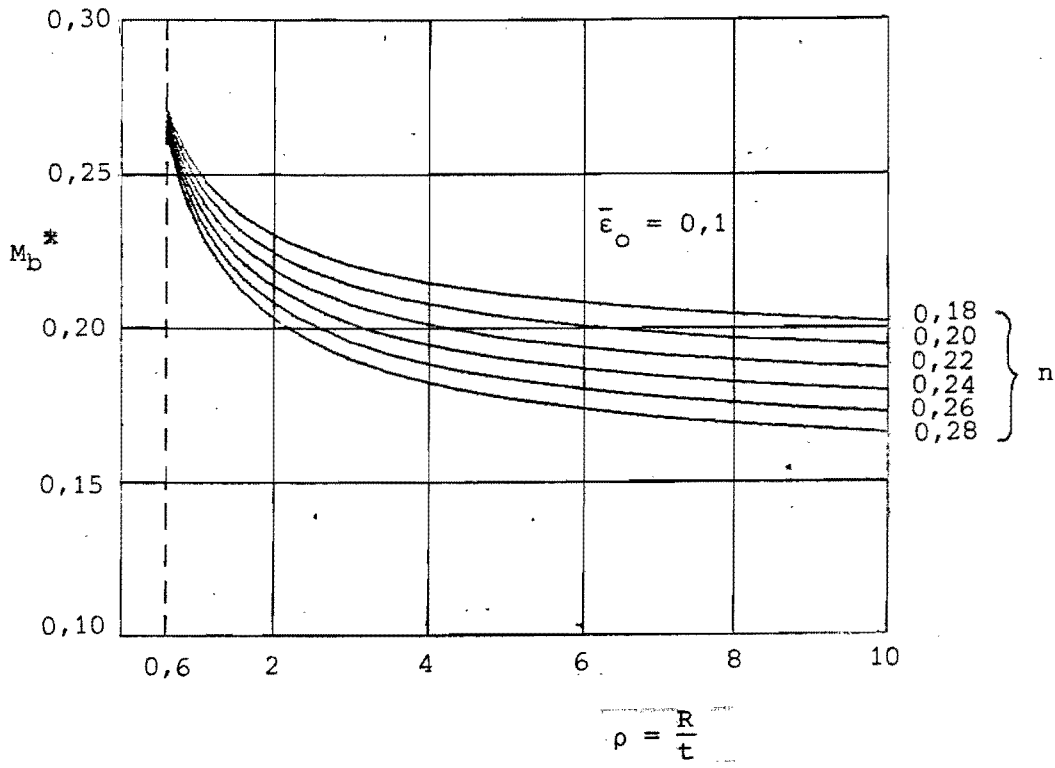
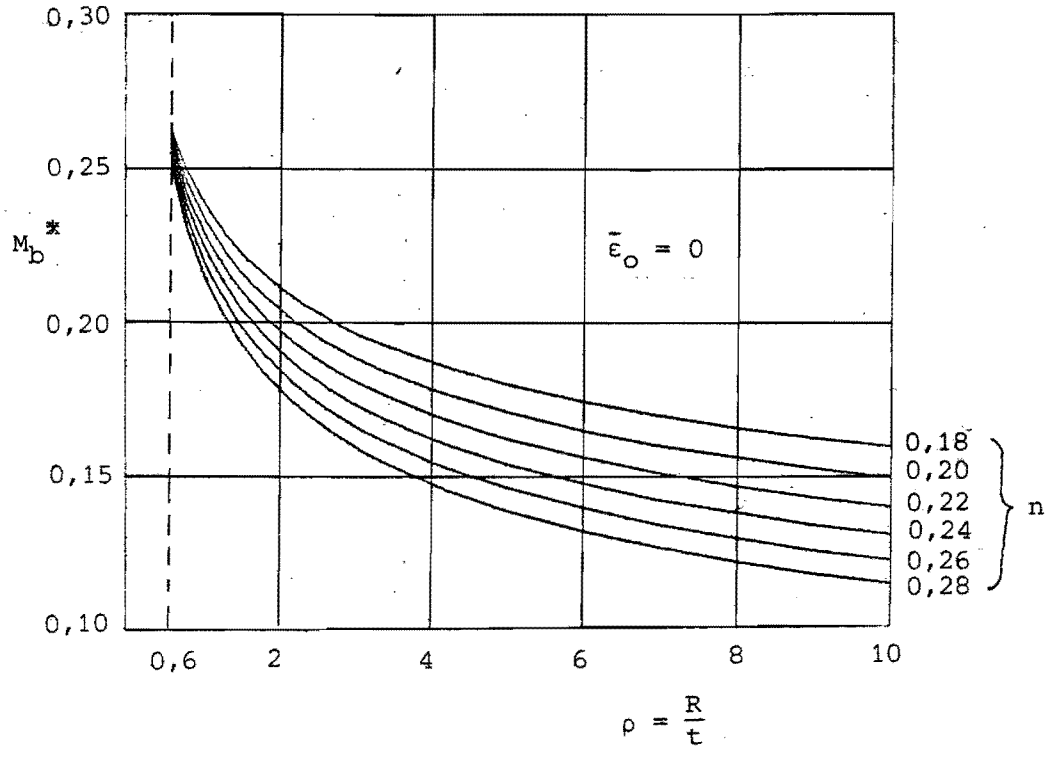


Fig. 2.1

III. Kritische buigstraal.

Een veilige bovengrens voor de kritische buigstraal $e_{krit.}$ m.b.t. het begin van insnoering wordt gegeven door [3]:

$$e_{krit.} = \frac{1}{2} \left(\exp \left(n - \frac{\sqrt{3}}{2} \bar{\epsilon}_0 \right) - 1 \right)^{-1} \quad (3.1)$$

Bij goede benadering kan hiervoor worden geschreven:

$$e_{krit.} = \frac{1}{2(n - \frac{\sqrt{3}}{2} \bar{\epsilon}_0)} \quad (3.2)$$

Het m.b.t. de betreffende staalsoorten interessante gebied is gegeven door (zie [4])

$$0,17 < n - \frac{\sqrt{3}}{2} \bar{\epsilon}_0 < 0,22 \quad (3.3)$$

Dit geeft voor $e_{krit.}$

$$2,9 > e_{krit.} > 2,3 \quad (3.4)$$

Opgemerkt moet worden dan (3.2) een veilige grens aangeeft voor $e_{krit.}$; koolstofstalen met een fijne structuur en zonder geconcentreerde verontreinigingen kunnen nog wel tot $e_{krit.} = 1$ worden gebogen. Tevens kan e.e.a. nog ten gunste worden beïnvloed door, gecombineerd met het buigend moment, het aanbrengen van een normaalkracht.

IV. Conclusies.

M.b.v. relatie 2.11 of grafisch met Fig. 2.1 kan een goede eerste benadering van het benodigd moment worden bepaald. Kleine verschuivingen van het neutrale vlak, welke bij zuiver buigen optreden, hebben weinig invloed hierop [2].

Grote verschuivingen van het neutrale vlak zijn alleen mogelijk door het aanbrengen van een normaalkracht; de in II uitgevoerde berekening is dan echter niet meer van toepassing. Een vervolgonderzoek zal moeten uitwijzen hoe in dat geval het buigend moment en de kritische buigstraal worden beïnvloed.

Tot slot kan worden opgemerkt dat de krachten welke nodig zijn om het vereiste buigend moment te realiseren sterk afhankelijk zijn van het gekozen buigproces en de bijbehorende gereedschapsgeometrie (moment = kracht x arm).

Bijlage A.Rekenvoorbeeld voor M_b .

Gegeven: - St 54 normaalgegloeid (evt. warmgewalst), hiervoor is [4]:

$$C = 934 \text{ N/mm}^2$$

$$n = 0,27$$

$$\bar{\epsilon}_0 = 0,07$$

- plaatdikte $t = 20 \text{ mm}$

- buigstraal $R = 40 \text{ mm}$

- $L = 10 \text{ m}$

Hiermee is:

$$\rho = \frac{R}{t} = 2$$

Met Fig. 2.1 is dan voor

$$\bar{\epsilon}_0 = 0 \quad M_{b.0}^* = 0,18$$

en

$$\bar{\epsilon}_0 = 0,1 \quad M_{b.0,1}^* = 0,205$$

Hiermee is:

$$M_{b.0,07}^* = M_{b.0}^* + 0,7 (M_{b.0,1}^* - M_{b.0}^*)$$

of

$$M_{b.0,07}^* = 0,198$$

Met (2.10) is dan:

$$M_b = 0,74 \cdot 10^6 \text{ Nm}$$

Literatuur.

- [1] S. Hoogenboom, Oefeningen Technische Plasticiteitsleer, Collegedictaat THE (1979).
- [2] A. Dankers, Het buigen van u-profielen ten behoeve van de langsligergabricage bij DAF, I2-verslag THE (1983).
- [3] J. Kals, P. Veenstra, On the critical radius in sheet bending, Annals of the CIRP, 23 (1974).
- [4] Arbeitsgemeinschaft Deutscher Betriebsingenieure, VDI-Arbeitsblatt, 5-3200, A5 t/m A8.