

Verbranding van CH₄ in ID voorgemengde vlam

Citation for published version (APA):

Goey, de, L. P. H. (1989). Verbranding van CH₄ in ID voorgemengde vlam. *I2- Werktuigbouwkunde*, 5(12), 29-30.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1989

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.

Verbranding van CH₄ in 1D voorgemengde vlam

Het uitgangspunt wordt gevormd door het een-staps chemische reactie formalisme: brandstof + zuurstof → producten. De 1D energie-vergelijking ziet er dan als volgt uit:

$$c_p \rho_u u_u \frac{dT}{dx} - \lambda \frac{d^2T}{dx^2} = \Delta H S, \quad (1)$$

met chemische bronterm $S = A (\rho_u T_u / T)^{\alpha + \beta} Y_{br}^\alpha Y_{ox}^\beta \exp(-E_a / RT)$. Hierbij zijn ρ_u, u_u en T_u de massadichtheid, snelheid en temperatuur van het onverbrande mengsel. Verder zijn c_p, λ en ΔH de soortelijke warmte, geleidingscoëfficiënt en de vrijkomende enthalpie. Y_{br} en Y_{ox} zijn massa fracties van brandstof en zuurstof. Het chemische gedrag van het mengsel wordt vastgelegd door de vier "chemische" parameters A, α, β en E_a . Het is de bedoeling om zodanige waarden voor deze parameters te zoeken dat het experimentele verbrandingsgedrag optimaal wordt gereproduceerd. Hiermee kunnen vervolgens meer-dimensionale brander configuraties gemodelleerd worden.

Voor de beschrijving van het verbrandingsgedrag moet er onderscheid worden gemaakt tussen de volgende situaties [1]:

(a) $E_a \gg RT_b$, met T_b de vlamtemperatuur. In dit geval is de convectieve term van vgl. (1) onbelangrijk in de verbrandingszone $T_c < T < T_b$, waarbij T_c de temperatuur aan het begin van de verbrandingszone is. De verbrandingssnelheid voor stoichiometrische mengsels wordt gegeven door

$$u_f^2 \sim AT_b^{\alpha + \beta + \gamma + 2} (T_b - T_u)^{-2} \exp(-E_a / RT_b), \quad (2)$$

met $\lambda(T) \sim T^\gamma$. De theorie die zo wordt gevormd, is een uitbreiding van de activation-energy asymptotics. Een voorbeeld hiervan is CH₄/lucht verbranding.

(b) $E_a \approx RT_b$. In dit geval is de geleidings-

term in vgl. (1) onbelangrijk in de verbrandingszone.

Nu wordt de stoichiometrische verbrandingssnelheid gegeven door

$$u_f^2 \sim AT_c^\gamma [T_b / T_c - 1]^{\alpha + \beta} (T_c - T_u)^{-1} \exp(-E_a / RT_c) \quad (3)$$

Zo kan een nieuwe theorie geformuleerd worden. De verbranding van H₂/lucht is een voorbeeld hiervan.

Uitdrukking (2) geeft aan dat de verbrandingssnelheid u_f van CH₄/lucht mengsels sterk afhankelijk is van T_b . Het gedrag wordt in grote mate beschreven door de 4 chemische parameters A, α, β en E_a . Het is

Het verbrandingsonderzoek aan de TUE wordt gedaan met het doel om modellen voor turbulente en laminaire verbrandingsprocessen te ontwikkelen. Dit moet in de toekomst leiden tot:

- (1) een effectieve constructie van verbrandingstoestellen, ondersteund door computermodellen;
- (2) voorspellingen aangaande effecten van variaties in aardgas samenstelling op het verbrandingsproces (samenwerking met VEG-Gasinstituut).

Tot nu toe heeft het onderzoek zich vooral gericht op laminaire verbrandingsprocessen, waarbij aandacht is geschonken aan zowel diffusie als voorgemengde vlammen. De problemen die bij de modellering van voorgemengde vlammen aan de orde komen zijn:

- (1) de lengteschaal waarover variaties plaats vinden zijn zeer klein, zodat vele gridpunten nodig zijn bij numerieke modelleringen (denk aan honderden per dimensie);
- (2) de chemische eigenschappen van het mengsel zijn zeer belangrijk.

Deze zaken spelen een minder grote rol bij diffusievlammen. Om deze problemen het hoofd te kunnen bieden zijn allereerst een-dimensionale voorgemengde vlammen bestudeerd. Deze studie biedt het voordeel dat:

- (1) numerieke methoden kunnen worden ontwikkeld met minder gridpunten;
- (2) de belangrijkste chemische parameters kunnen worden bepaald.

Zo'n aangepaste numerieke methode en de chemische parameters zijn onmisbaar voor meer-dimensionale modelleringen.

daarom mogelijk deze parameters te bepalen als de T_b afhankelijk van u_f kan worden gemeten met een 1D brander-gestabiliseerde vlam. Voor zo'n vlam is de verbrandingssnelheid u_f gelijk aan de gasstroomsnelheid u_0 en neemt T_b af als $u_f = u_0$ afneemt, vanwege warmteverlies aan de brander. Het experimentele gedrag [2] voor CH₄/lucht verbranding is aangegeven in figuur 1. Een belangrijk ander resultaat van de studie is dat het mogelijk blijkt te zijn een analytische benadering $\theta(x)$ van het exacte temperatuurprofiel $T(x)$ aan de hand van dit model te formuleren. Wordt θ als nieuwe coördinaat opgevat, dan is $T(\theta)$ bijna lineair. Bij

DR. L.P.H. DE GOEY

is wetenschappelijk medewerker aan de faculteit der

Werktuigbouwkunde aan de Technische Universiteit te Eindhoven

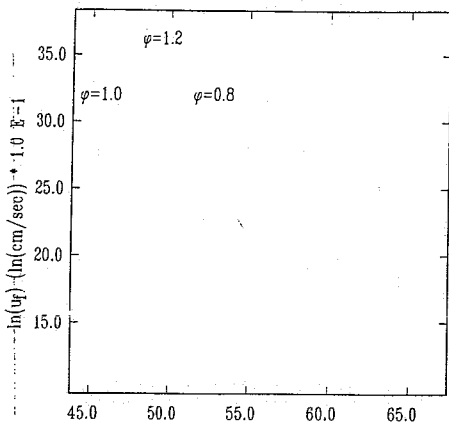


Fig. 1. Het experimentele gedrag [2] van $\ln(u_f)$ als functie van $1/T_b$ voor enkele stoichiometrische factoren ϕ (de brandstof massa fractie vergeleken met die voor stoichiometrische verbranding)

numerieke modellering geeft deze coördinaten-transformatie een factor 7 reductie in het aantal gridpunten (per dimensie).

Experiment

De experimentele opstelling waarmee u_f als functie van T_b gemeten wordt, is weergegeven in Fig. 2. T_b wordt bepaald met de LDA methode ($T_b \sim u_b$, snelheid van de rookgasen). De snelheid $u_f = u_u$ wordt ingesteld en gemeten met een zeepvliesmeter. De eerste metingen geven kwalitatief goede resultaten. Het probleem doet zich echter voor dat de seeding (stofdeeltjes Al_2O_3 van $\pm 1 \mu m$) zich aan het gaas op de branderkop vast hechten, zodat u_u na een tijdje niet meer vol-

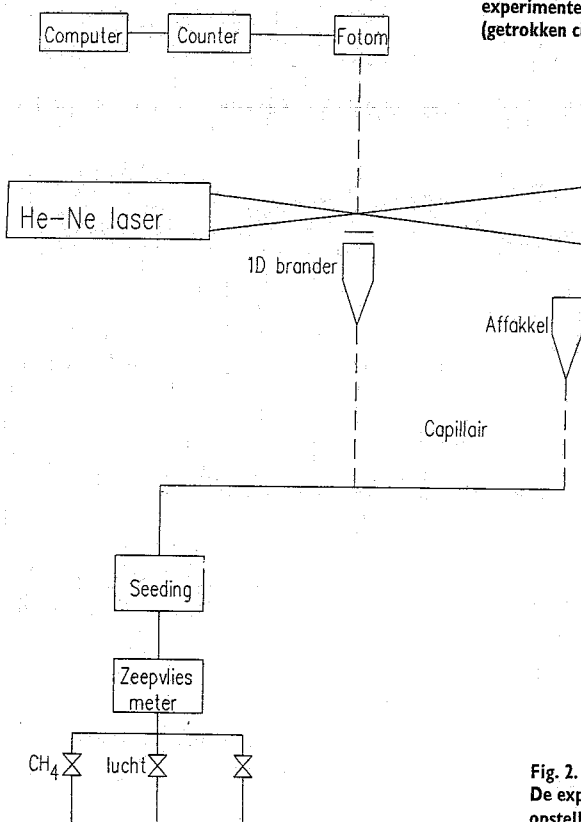


Fig. 2. De experimentele opstelling

doende constant is over het brander-oppervlak. Omdat er nog niet voldoende betrouwbare resultaten zijn, wordt er voorlopig gebruik gemaakt van (experimentele) resultaten uit de literatuur (Fig. 1) om de hierboven voorgestelde methode voor het bepalen van de parameters te testen voor CH_4 /lucht verbranding.

Met de experimentele resultaten van Kaskan (figuur 1) en de theorie, zoals hierboven geschetst, vinden we zo een activeringsenergie van $E_a = 33$ kcal/mol, in overeenstemming met gedetailleerde chemische berekeningen. Een vroegere analyse van Kaskan zelf leverde een veel hogere waarde van $E_a = 60$ kcal/mol op. Bovendien wordt met waarden van $\alpha = 2.8$ en $\beta = 1.2$ (voor CH_4 /lucht) een optimale beschrijving van het verbrandingsgedrag gevonden. Voor H_2 /lucht vlammen was de discrepantie in activeringsenergie, zoals in de literatuur gevonden, tot nu toe nog veel groter: Kaskan vindt $E_a = 60$ kcal/mol, terwijl uit chemische

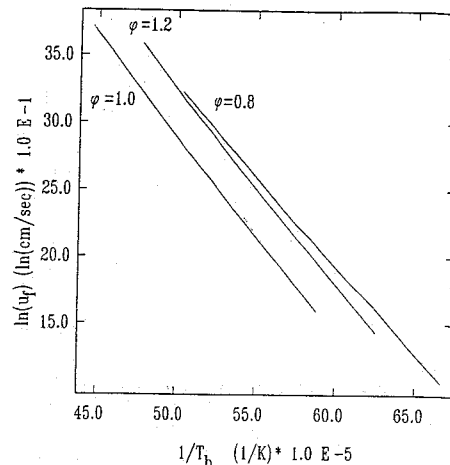
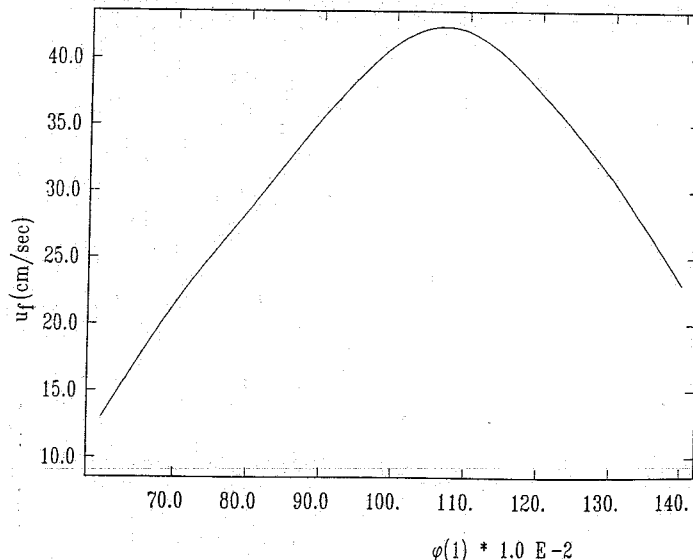


Fig. 3. De $\ln(u_f)$ als functie van $1/T_b$ voor enkele ϕ -waarden. De getrokken lijnen worden gevonden met $E_a = 33$ kcal/mol, $\alpha = 2.8$ en $\beta = 1.2$, waarbij gebruik is gemaakt van de theorie zoals hier geschetst. De gestippelde lijnen geven het experimentele gedrag [2] berekeningen volgt dat $E_a = 7$ kcal/mol. Deze grote discrepantie lijkt zeker voor een deel



opgelost te kunnen worden met de nieuwe theorie, zoals hierboven geschetst [1].

In figuur 3 (u_f als functie van T_b) en Fig. 4 (u_f als functie ϕ , de brandstof massafractie, vergeleken met die voor stoichiometrische verbranding) wordt nog aangetoond dat het met de parameters voor CH_4 /lucht vlammen, zoals hierboven gegeven, mogelijk is de voornaamste eigenschappen van CH_4 verbranding goed te reproduceren. Het is de bedoeling om deze experimenten in de toekomst uit te voeren voor allerlei aardgas mengsels om zo de zeer belangrijke parameters te bepalen.

Literatuur

1. L.P.H. de Goeij and H.C. de Lange, Quasi-dimensional flames, intern rapport TUE.
2. W.E. Kaskan, Sixth Symposium on Combustion, 1967, p. 134.
3. G.E. Andrews en D. Bradley, Combustion and Flame 19:275 (1972).