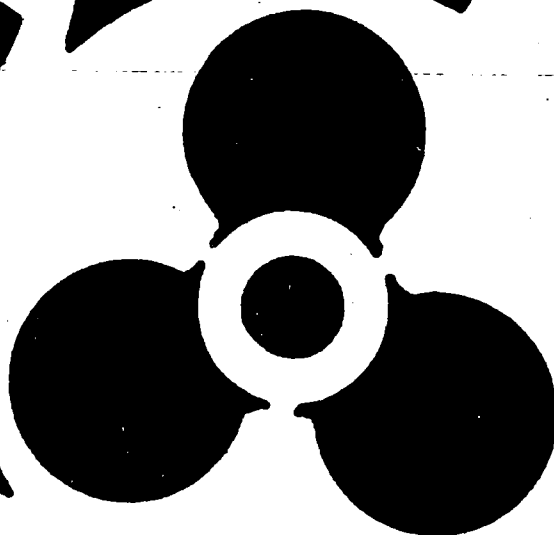
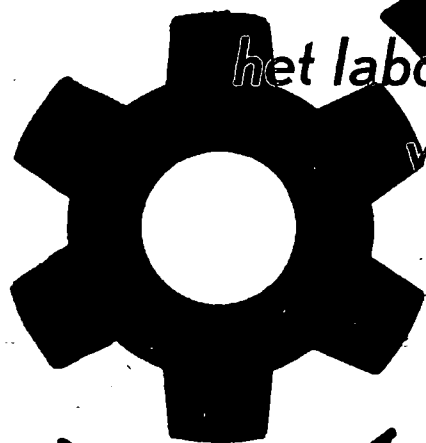


SSL 213

technische hogeschool delft
afdeling der scheepsbouw- en scheepvaartkunde

*het vakgebied
sterkte en trillingen*

*het laboratorium
voor scheepsconstructies*



open dagen '78
13-14 januari

technische hogeschool delft
afdeling der scheepsbouw- en scheepvaartkunde

het vakgebied
sterkte en trillingen

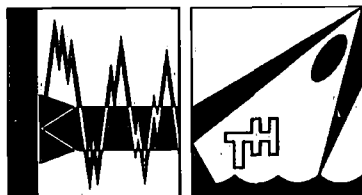
het laboratorium
voor scheepsconstructies

open dagen '78
13-14 januari

VOORWOORD

Dit boekje wordt uitgegeven ten behoeve van de bezoekers aan de OPEN DAGEN '78.

Het wordt opgedragen aan Prof.Ir. H.E. Jaeger ter gelegenheid van zijn 75e verjaardag en ter herinnering aan het feit dat hij 25 jaar geleden het Laboratorium voor Scheepsconstructies heeft opgericht.



Het eerste gedeelte van het boekje heeft ten doel in eenvoudige bewoordingen informatie te geven:

- omtrent het vakgebied van de Vakgroep Sterkte en Trillingen;
- over de aspecten, waaromtrent nog veel kennis ontbreekt;
- omtrent de lopende onderzoekprojecten;
- over het laboratorium, dat ter beschikking van de vakgroep staat, het Laboratorium voor Scheepsconstructies.

In het tweede gedeelte volgt meer technisch-specialistische informatie.

In de Bijlagen worden toelichtingen gegeven speciaal met betrekking tot opstellingen in het laboratorium.

Verwijzingen naar stands van de tentoonstelling zijn cursief gedrukt.

Deel I, alsook delen van Deel II en van de Bijlagen zijn van de hand van Ir. Rd.Ms. F.X.P. Soejadi, die ook de redactie voerde.

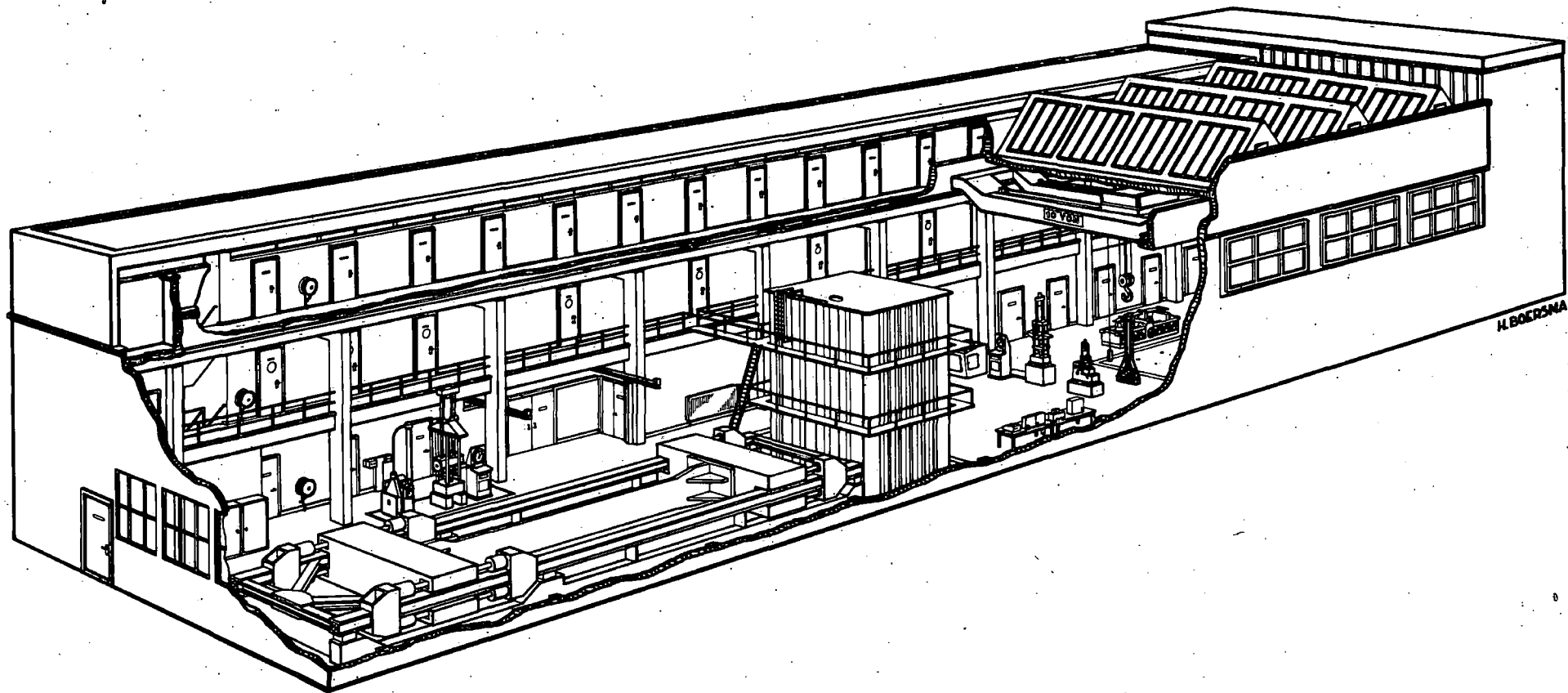
De andere gedeelten van Deel II en van de Bijlagen zijn geschreven door de desbetreffende overige leden van de Vakgroep.

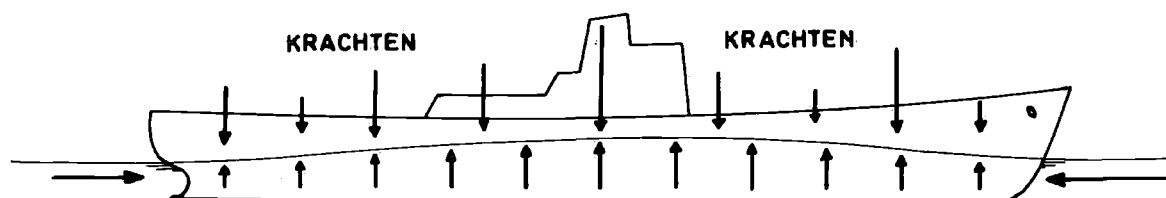
Voor wat betreft het inrichten van de tentoonstelling is dank verschuldigd aan alle medewerkers van het laboratorium. Aparte vermelding verdienen Ing. H. Boersma in verband met planning en organisatie, mej. I.Y. Bolle voor het typen van het manuscript, de heer P. Schotborgh c.s. die de offset verzorgden en Ir. J.H. Makkink c.s. van het Technisch Tentoonstellingscentrum.

Gehoopt wordt dat de tentoonstelling en het boekje in de smaak vallen van de bezoekers, die hierbij hartelijk welkom worden geheten.

De voorzitter van de
Vakgroep Sterkte en Trillingen:

Prof.Ir. J.J.W. Nibbering,
Lector T.H. Delft.





is het schip
 — te zwak?
 — sterk genoeg?
 — te sterk?

Hoofdproblemen van het vakgebied

- I. Welke zijn de krachten op een schip?
- II. Wat is de uitwerking van die krachten op de constructie? (spanningen, vervormingen)
- III. Kan de constructie die responsie verwerken?

BELASTINGEN

RESPONSIE

DRAAGKRACHT

Deze problemen vragen om een oplossing

Plaats van onderzoek

- Laboratorium voor Scheepsconstructies
- Metingen aan het schip
- Metingen elders.

Hoofddoel van het vakgebied

Het ontwikkelen van een volledig verantwoorde methode voor het ontwerpen van de constructie!

N.B.

Tegenwoordig bestrijkt het vakgebied niet alleen meer het probleemgebied van de constructie van een schip, maar ook dat van de z.g. offshore constructies, zoals productieplatforms (booreilanden).

Schepen en offshore constructies kunnen aangeduid worden met de benaming maritieme constructies.

Veel van wat voor de constructie van een schip geldt, is ook geheel of gedeeltelijk toepasselijk op een offshore constructie.

INLEIDING

Hetgeen "in vogelvlucht is opgemerkt" zal bij nadere overdenking wellicht vragen oproepen.

Zo kan bij de lezer ten aanzien van het hoofddoel van het vakgebied de vraag rijzen: Bestaat er dan nog geen volledig verantwoorde methode voor het ontwerpen van de constructie van een schip? Er varen toch al zoveel schepen! Zijn die dan zo maar "met een natte duim" ontworpen?

Verder zou men zich af kunnen vragen: Waarom zijn belastingen, responsie en draagkracht nog steeds probleemgebieden?

Waarom de onderscheiding in "te zwak", "sterk genoeg" en "te sterk"? Als een schip "heel" is gebleven, waar maakt men zich verder dan druk om?

Laten we dit "heel blijven" aangrijpen om nog iets verder in te gaan op de problemen van het vakgebied.

Wanneer men een schip ziet varen, ontlokt dit vaak zulke opmerkingen als "wat een mooi schip" of "wat vaart het snel", maar nooit zoiets als "wat een sterk schip" in de zin van "geen storm zal het kapot krijgen".

Toch zijn er verschillende schepen door breuk verloren gegaan en in de veertiger jaren sprak men zelfs van een "epidemie"; dit laatste vond zijn hoofdoorzaak in het feit, dat het lassen toen, plotseling, op grote schaal werd toegepast, terwijl men zich er niet van bewust was, dat het lassen veel méér is dan alleen maar een prachtig middel om verbindingen te maken, ter vervanging van het klinken. Lassen veroorzaakt veranderingen in de inwendige structuur van het constructiemateriaal (staal) met de gevolgen van dien.

Onderstaande foto - een reproductie uit een in het tijdschrift "Natuur en Techniek" gepubliceerd artikel - toont een compleet gebroken schip. Dit schip was nota bene nog niet eens afgebouwd.



Breuk in een schip (scheurtjes) hoeft echter helemaal niet een complete breuk van het schip tengevolge te hebben.

Waarom kunnen in een schip scheurtjes ontstaan?

Zijn scheurtjes toelaatbaar? Wanneer niet, en onder welke omstandigheden wèl?

Hoe moet de constructie van een schip dan worden ontworpen? Zodanig, dat er nooit een scheurtje kan ontstaan (dit is het z.g. safe life principe)?

Of calculeren we het ontstaan van toelaatbare scheurtjes zodanig in de berekeningen in, dat het schip, ondanks die scheurtjes, veilig blijft (het z.g. fail-safe principe)?

Dit zijn 2 ontwerpfilosofieën, die essentieel verschillen, en derhalve heeft elk zijn eigen specifieke consequenties. Welke ontwerpfilosofie is voor een maritieme constructie aan te bevelen? Of is dit niet zo algemeen te stellen; hangt het misschien af van de vraag welk onderdeel het betreft?

Dergelijke vragen, zoals hierboven gesteld, geven de probleemgebieden van het vakgebied aan.

HET CONSTRUCTIE-ONTWERP

Definitie

Wat wordt eigenlijk onder sterkte-ontwerp of constructie-ontwerp verstaan?

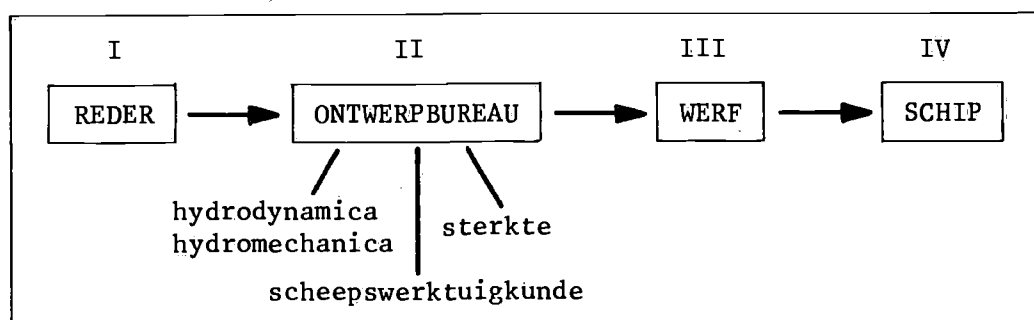
Dit is het uitdenken, berekenen en beschrijven van de constructie (als geheel en in detail):

- op basis van de gekozen ontwerpfilosofie;
- zodanig dat de constructie zo waarschijnlijk mogelijk tijdens de gestelde levensduur zal voldoen aan de eisen m.b.t. de responsie en draagkracht onder praktijkbelastingen, in praktijkomstandigheden;
- het geheel met inachtnaam van het kostenaspect.

Deze definitie klinkt indrukwekkend, maar er is nog veel onderzoek nodig vóórdat alle genoemde aspecten tot hun recht komen.

Fasen

Van de wording van een maritieme constructie zijn verschillende fasen te onderscheiden. In welke fase komt het constructie-ontwerp eigenlijk tevoorschijn? Met betrekking tot schepen hebben we allereerst de reder, die de opdracht tot het bouwen van een schip geeft. Hij geeft hierbij zijn eisen op, waaraan het schip moet voldoen. Het betreffende ontwerpbureau maakt bij het ontwerpen gebruik van de moderne inzichten ten aanzien van aspecten van hydrodynamica, hydromechanica, van scheepswerktuigkunde en van sterkte van scheepsconstructies. Hierna wordt het schip op de werf gebouwd en komt het in de vaart.



In het schema vinden we de vakgroepen van de Afdeling der Scheepsbouw- en Scheepvaartkunde van de T.H. Delft terug, namelijk:

- onder II: vakgroep Ontwerpen,
vakgroep Scheepshydronechanica,
vakgroep Maritieme Werktuigkunde,
vakgroep Sterkte en Trillingen;
- onder III: vakgroep Werfinrichting en Werfbedrijf;
- onder I: vakgroep Scheepvaartkunde, sectie Rederijkunde;
- onder IV: vakgroep Scheepvaartkunde, sectie Navigatiekunde.

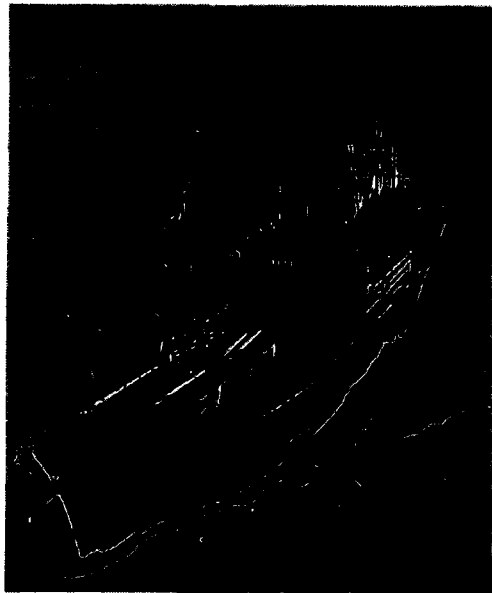
Historie

Tot in de vijftiger jaren werd door de z.g. klassebureaus (ook wel classificatiemaatschappijen genoemd) eenvoudigweg voorgeschreven hoe dik de huid van een schip moest zijn, welke afmetingen verstijvingsprofielen moesten hebben en zo meer. Van een eigen inbreng van de constructeur met betrekking tot de sterkte die de constructie volgens de voorschriften (tabellen) dan zou hebben, was vrijwel geen sprake.

De tabellen golden voor schepen van een bepaald type (passagiersschepen, sleepboten etc.), en zolang er door scheepseigenaars - slechts - nieuwe schepen verlangd werden van een type, waarvan tabellen voorhanden waren, kon men bij het ontwerpen met goed vertrouwen gebruik maken van die tabellen. Het bouwen volgens de tabellen gaf een goede garantie, dat de nieuwe schepen uit sterkteoogpunt veilig zouden zijn en dit was voor de verzekeringsmaatschappijen dan weer de basis om bereid te zijn schip en lading te verzekeren.

Onderstaande linkerfoto geeft een beeld van een conventioneel schip.

De rechterfoto betreft een (destijds) nieuw type schip, n.l. één met zeer vele, grote, luikopeningen.



Anders werd het toen men geheel nieuwe typen schepen ging uitdenken; toen kon men niet meer van de tabellen gebruik maken. De constructieafmetingen, die betrekking hadden op de sterkte, moesten in zulke gevallen bepaald worden door middel van speciale berekeningen.

Tegenwoordig mag men eigen berekeningen aan het betreffende klassebureau voorleggen, maar vanzelfsprekend moet men die ook kunnen verdedigen.

NADERE TOELICHTINGEN

In de vorige paragraaf is een opsomming gegeven van de voornaamste facetten van het constructie-ontwerp.

Over elk facet zou zeer veel te schrijven zijn, echter is dit boekje hier niet voor bedoeld. Niettemin kan het een wens van de lezer(es) zijn, dat nadere toelichtingen worden gegeven over, en met betrekking tot bedoelde facetten.

Verder is nog niet vermeld, dat het constructie-ontwerp van een gelaste stalen constructie in belangrijke mate bepaald wordt door een factor, die voor ongewijden niet zo voor de hand ligt; deze factor laat zich niet in de ontwerp-procedure vangen. Het zijn de produktietechnieken:

- lassen;
- snijbranden: het op maat snijden van platen en profielen (hoekstalen etc.) door middel van brandsnijders;
- het vlakmaken van platen en profielen, die tengevolge van het lassen zijn kromgetrokken (het z.g. strekken).

Het essentiële van de invloed van deze productieprocessen is, dat vanwege de grote warmtetoevoer, de eigenschappen van staal zeer sterk kunnen veranderen.

Uit al het voorgaande zal duidelijk zijn geworden, dat vele facetten van het vakgebied zo nauw met elkaar verweven zijn, dat het niet mogelijk is toelichtingen in strak gescheiden gedeelten te geven. Omdat anderzijds een lang verhaal, zonder rustpunten, niet wenselijk lijkt, is toch geprobeerd het navolgende in gedeelten te presenteren.

Keuze van de ontwerpfilosofie

Zoals gesteld, berust het constructie-ontwerp op de ontwerpfilosofie, die men aanhangt. Is vrije keuze tussen de safe-life, resp. de fail-safe filosofie eigenlijk mogelijk?

Het antwoord zal moeten luiden: neen, eigenlijk niet!

Vier redenen zijn hiervoor aan te wijzen:

1. We moeten rekening houden met bovengesignaleerde mogelijke veranderingen van de eigenschappen van het staal; dit hangt weer af van genoemde produktietechnieken, die niet zó voor te schrijven zijn, dat veroorzaakte veranderingen kwantitatieve gegevens voor de ontwerpprocedure worden.
2. Iets wat ons ook wordt "opgelegd" zijn de praktijk-belastingen en de praktijk-omstandigheden. De voornaamste belastingen op een zeegaande constructie zijn nu eenmaal onregelmatig van grootte veranderende belastingen (onregelmatige wisselbelastingen). Dit zijn dynamische belastingen en een dynamisch belaste constructie moet heel anders ontworpen worden dan een statisch belaste. Daarbij komt nog de invloed van de zilte omgeving.
3. Wat wordt er ontworpen? Bijvoorbeeld scheurtjes zijn in een schot, dat waterdicht of oliedicht moet zijn, niet toelaatbaar vanwege de eis van waterdichtheid, resp. oliedichtheid. Een ander probleem is echter de vraag of dergelijke scheurtjes ook de veiligheid in gevaar brengen.
4. Het kostenaspect: wat is, rekening houdend met de eisen ten aanzien van veiligheid, duurder resp. goedkoper, een constructie ontworpen volgens het safe-life principe of, volgens het fail-safe principe?

Krachten op zeegaande constructies

In een vorige paragraaf hadden we het over het berekenen van de constructie. Dit is gemakkelijker gezegd dan gedaan.

Als we ons voor ogen houden wat een gecompliceerde constructie een schip is, dan is het al duidelijk dat het berekenen niet zo eenvoudig kan zijn.

Tegenwoordig kan men met de z.g. methode der eindige elementen en de hulp van een computer zeer veel doen. De toepassing van deze methode vormt een onderdeel van het onderzoekprogramma van de vakgroep.

Een belemmering voor berekeningen vormt echter dat de grondige kennis omtrent een begingegeven: de krachten op de constructie, nog ontbreekt.

Willen we de uitwerking van krachten op een constructie bepalen, hetzij door berekeningen, hetzij door proeven, dan moeten we weten welke krachten er op werken en hoe groot zij zijn.

Hèt tegenwoordige hulpmiddel bij het meten van krachten is het "rekstrookje".

Stand 9 *geeft elementaire informatie over rekstrookjes en krachtmeting door middel van rekstrookjes.*

Op een zeegaande constructie werken zeer vele krachten, verschillend in soort en onder verschillende omstandigheden.

De voornaamste krachten op een drijvende, zeegaande constructie zoals een schip zijn die, welke veroorzaakt worden door de waterdruk enerzijds en, anderzijds, de krachten door de lading, door het gewicht van de constructie zelf, door de voortstuwing (bij schepen) of door de produktiewerkzaamheden (bij offshore constructies).

Andere krachten zijn die, uitgeoefend door de wind, door sterke zonneschijn of koude (temperatuurskrachten). In stormen lopen we de kans op z.g. schokbelastingen door het "slaan" van het voorschip op de golven (paaltjes pikken of slamming genoemd). IJsbrekers moeten bestand zijn tegen de krachten, die tijdens hun dienst optreden.

Verder hebben we in het materiaal ingebouwde krachten (overgebleven of residuele krachten) doordat tengevolge van het lassen het materiaal eerst sterk verhit wordt (dus uitzet) en daarna weer krimpt.

Een zeer voorname omstandigheid is, zoals eerder gezegd, de zilte omgeving waaronder de krachten op de constructie werken. De zilte omgeving veroorzaakt corrosie (populair gezegd "wegroesten"), waardoor het constructiemateriaal dunner wordt en hierdoor weer minder weerstand kan bieden tegen de krachten; daarbij komt nog dat corrosie de krachtswerking ook rechtstreeks beïnvloedt. Deze dubbele invloed van corrosie wordt verderop nog ter sprake gebracht.

Schip in vlak water

In een televisierubriek is door de echtgenote van (nota bene) een zeeman de vraag gesteld: "Waarom drijft een schip eigenlijk?" Anders geformuleerd:

Waarom zinkt zo'n massa aan staal niet onmiddellijk?

Men zou kunnen zeggen, dat op het antwoord op deze vraag de hele scheepsbouwkunde berust.

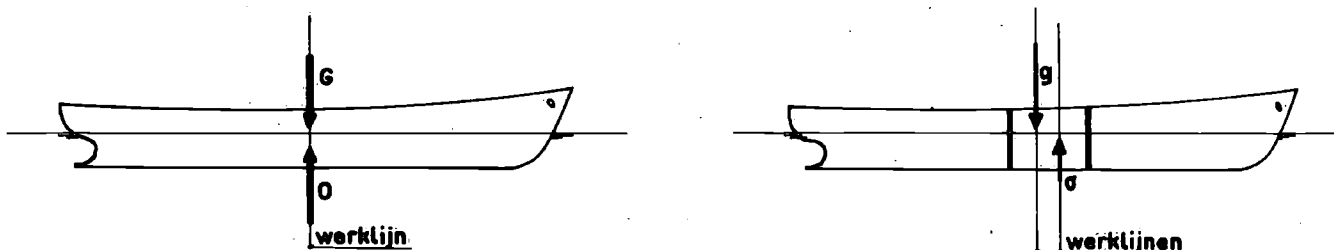
Kort en eenvoudig uitgedrukt luidt het antwoord: omdat het water een tegendruk (de opdrijvende kracht) levert, die even groot is als het gewicht van schip plus alles wat erin zit. Dit is de z.g. wet van Archimedes.

Misschien zou de volgende vraag van de zeemannsvrouw luiden: "Als er meer lading in het schip wordt gebracht, wat dan?"

Dan gaat het schip dieper inzinken, wat met zich meebrengt, dat de opdrijvende kracht groter wordt, en wel zoveel groter als het gewicht van de bijgevoegde lading bedraagt.

Werken er op een schip, dat stil ligt in vlak water wel krachten? Inderdaad werken er in dat geval krachten op de constructie, de z.g. vlakwaterbelasting. Om dit in te zien moeten we onderscheid maken tussen het schip als geheel en

gedeelten van het schip, bijv. tussen twee waterdichte schotten.



Het schip als geheel is in evenwicht, omdat gewicht en oprijvende kracht even groot zijn, tegengesteld gericht, en volgens dezelfde (werk)lijn werken (linker figuur).

Denken we ons een sectie uit het schip gesneden, zoals in de rechter figuur, dan zal voor dat gedeelte in het algemeen alleen aan de tweede eis zijn voldaan, d.w.z. het gewicht van dat gedeelte is naar beneden, en de oprijvende kracht van dat gedeelte is naar boven gericht.

In het algemeen zullen deze krachten echter niet even groot zijn; in het geval dat het gewicht groter is dan de oprijvende kracht zal het bewuste gedeelte van het schip dieper willen inzinken. Ook zal het gewicht en de oprijvende kracht van de sectie in het algemeen niet volgens dezelfde werklijn werken, waardoor de sectie wil kantelen (verdraaien). "Technisch gesproken" (als in de Bereboot): er werkt een "moment" op die sectie.

De sectie kan echter niet inzinken, noch verdraaien, want dit wordt verhinderd door de aangrenzende scheepsgedeelten, met andere woorden de aangrenzende delen oefenen zowel een tegenhoudende kracht als een tegenhoudend moment uit, allebei behorend tot eerdergenoemde "vlakwaterbelasting".

Stand 25 geeft een idee van de krachten in een doorsnede van een schip (scheepsmodel).

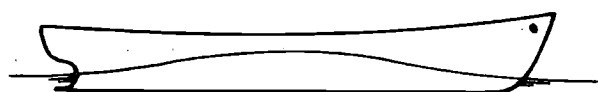
Schip in golven

We kunnen ons voorstellen, dat voor een schip in een golf de oprijvende kracht per sectie anders over de lengte van het schip verdeeld is dan voor een schip in vlak water, zodat een onderscheid is te maken tussen vlakwaterbelasting en golfbelasting.

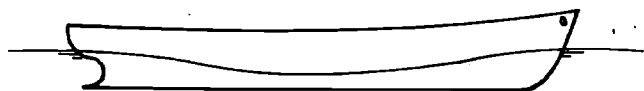
Een golf wordt gekarakteriseerd door de golftoppen en de golfdalen. Wanneer een golftop zich, zoals in onderstaande figuur, op de halve scheepslengte bevindt, dan is daar ter plaatse de oprijvende kracht groot in vergelijking met die aan de scheepseinden. Het schip wordt dan opgebogen (hogging).

Het schip in een golfdal wordt neergebogen (sagging).

Dit op- en neerbuigen wordt in stand 25 geïllustreerd.



Schip op golftop



Schip in golfdal

Dit op- en neerbuigen geschiedt in een ritme, dat overeenkomt met het ritme, waarmee de golftoppen en golfdalen het schip passeren.

Wringing

Het op- en neerbuigen van een schip is een betrekkelijk eenvoudige belastingsvorm. Gecompliceerder is de belastingsvorm die een schip tracht te verwringen. Een conventioneel schip heeft een constructie, die veel weerstand kan bieden tegen wringing, een schip met grote luikopeningen echter kan veel minder weerstand bieden tegen wringbelasting.

Aangezien schepen met grote luikopeningen nog niet zo lang bestaan, is de kennis over responsie en draagkracht onder wringbelasting nog onvoldoende.

Voor de studenten is ter illustratie van het aspect "wringing" een proefopstelling vervaardigd (stand 18), waar de studenten metingen aan kunnen verrichten.

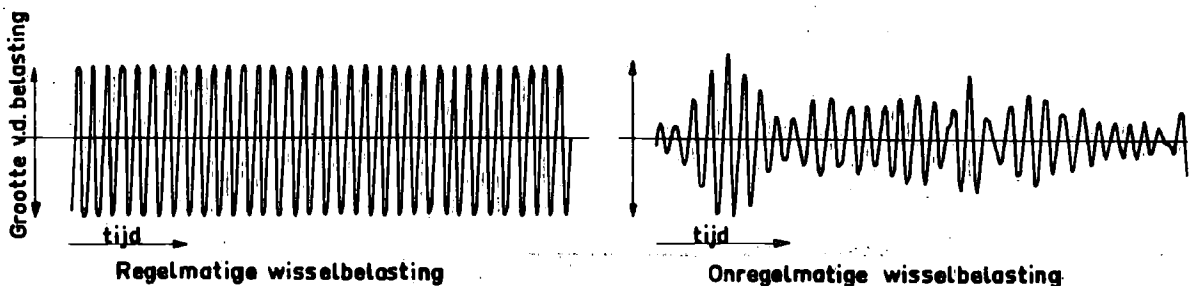
Vermoeiing en Bros Breken

Voor het gemak laten we wringing voor wat het is en beschouwen we het "op- en neerbuigen" van een schip.

Wanneer we een ijzerdraadje willen breken, dan buigen we het ook op en neer. Hierdoor oefenen we een kracht uit, die we eerst in de ene richting tot een bepaalde grootte laten toenemen en daarna in de andere richting weer laten afnemen en herhalen dit steeds. We oefenen op deze manier een wisselbelasting op het ijzerdraadje uit.

Het op- en neerbuigen van een schip tengevolge van het varen in golven betekent ook een wisselbelasting op de constructie. Reeds eerder is gezegd, dat dit een wisselbelasting is, die onregelmatig van grootte wisselt.

In de navolgende figuur geeft het rechter gedeelte een schets van een onregelmatige wisselbelasting.



Door het op- en neerbuigen van het ijzerdraadje verzwakt het materiaal, met andere woorden het vermogen om weerstand te bieden tegen de wisselbelasting vermindert steeds. Men zegt ook: het materiaal raakt vermoeid en uiteindelijk zal het ijzerdraadje breken.

Een wisselbelasting op een stalen constructie zal eveneens vermoeiingsverschijnselen teweeg brengen en uiteindelijk zullen vermoeiingsscheurtjes ontstaan. Dit laatste lijkt voor de hand te liggen, maar omstreeks 1963 was het nog een strijdvraag of vermoeiingsscheurtjes in een scheepsconstructie wel voorkomen. Onderzoek in het Laboratorium voor Scheepsconstructies wees uit, dat dergelijke scheurtjes wel degelijk moesten voorkomen; de scheurtjes worden echter niet snel groter (de z.g. voortplantingssnelheid is klein). Echter kunnen bepaalde omstandigheden ertoe bijdragen, dat een vermoeiingsscheurtje wel zeer snel groter

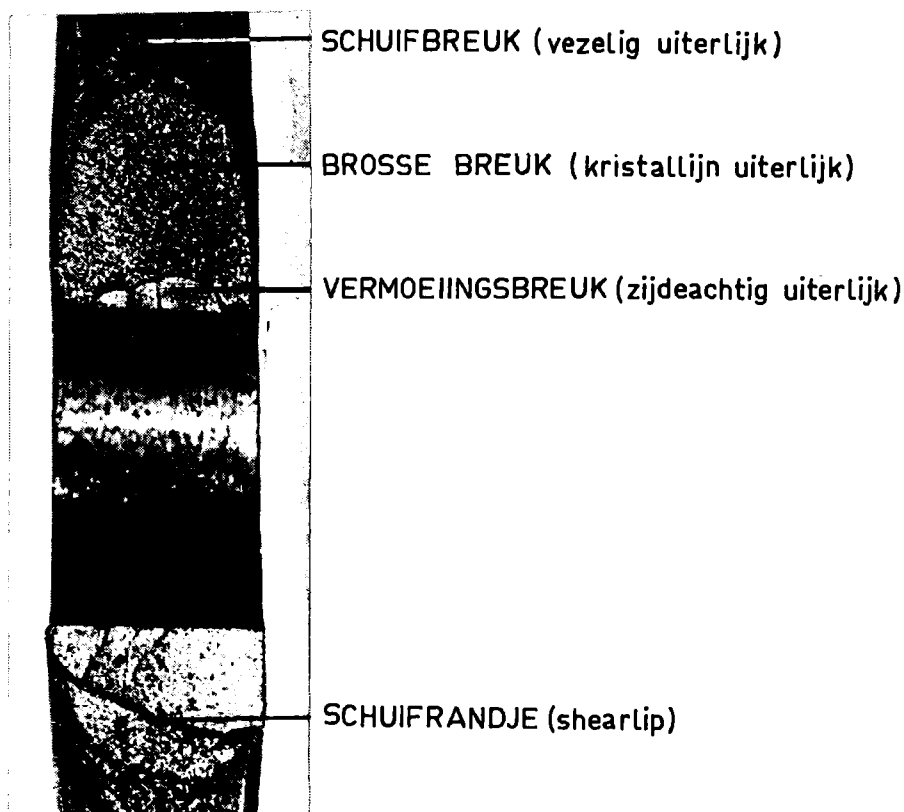
wordt, en dan hangt het er maar vanaf wáár dit gebeurt of de veiligheid van het schip dan in gevaar komt.

Het onderzoek wees uit, dat een schokbelasting (bijv. de klap op de constructie tengevolge van slamming), vooral in combinatie met een lage omgevingstemperatuur (winter!) een vermoeiingsscheurtje zeer snel kan doen groeien. De lage temperatuur is een omstandigheid die bepalend is, vandaar het motto op de foto van het gebroken schip: "Men kan het ijzer breken als het koud is".

De factoren vermoeiingsscheurtje, schokbelasting en lage temperatuur komen in de tentoonstellingsstands 6, 15 en 16 aan bod.

De zeer snelle groei van het scheurtje, waarbij het materiaal geen tijd krijgt om weerstand te bieden (wat zich zou uiten in vervorming) wordt brosse breuk genoemd.

Wanneer we een breukvlak bekijken van een breuk, die vanaf een vermoeiingsbreuk overging in een brosse breuk, dan is er een duidelijk verschil te onderkennen.



Tijdens de tweede wereldoorlog wilde men het tekort aan scheepsruimte opvangen door schepen in een recordtijd te bouwen door volledig van klinken over te gaan op lassen. Zoals in de inleiding is vermeld, kreeg men te kampen met vele breuken, waarvan de meeste als brosse breuken konden worden herkend.

Zoals bij veel wetenschappelijk onderzoek het geval is, had het zoeken naar de oorzaken en naar de oplossingen een soort sneeuwbaaleffect. Men denkt dan "de" oorzaak gevonden te hebben, vindt dan geen of gedeeltelijke bevestiging, neemt een ander aspect erbij, enz.

In het begin dacht men de oorzaak te moeten zoeken in de kwaliteit van het gebruikte staal. Verder nam men ook die constructiedelen, waarin veel scheuren gevonden werden (bijv. luikhoofdhoeken) onder de loupe.

Pas later ging men aan het lassen als mogelijke (mede)veroorzaker van moeilijkheden denken.

We zullen eerst het lassen onder de loupe nemen.

Het lassen

Al gauw werd duidelijk dat "het lassen" een probleemgebied omvatte, waar men niet zo gemakkelijk en snel doorheen kon stappen. De wetenschap over het lasproces op zich en in relatie tot het gedrag van de betreffende constructie onder belasting bleek een wetenschap apart te zijn. Dit vindt zijn bevestiging in het feit, dat er een actief internationaal gezelschap ter bestudering van aspecten van het lassen (I.I.W. = International Institute of Welding) bestaat.

Overigens zij ook vermeld, dat een soortgelijk, internationaal gezelschap ter bestudering van belastingen, responsie en draagkracht van constructies ten behoeve van rationele ontwerpmethoden, ook bestaat. (I.S.S.C. = International Ship Structures Congress).

Het Laboratorium voor Scheepsconstructies heeft, in nationaal en internationaal verband, belangrijk bijgedragen tot de opheldering van vele problemen met betrekking tot gelaste staalconstructies.

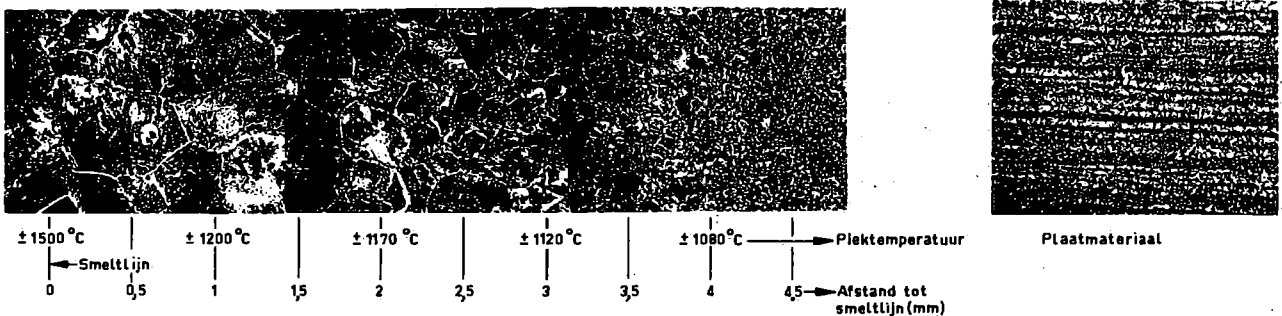
Publikaties ter zake zijn verzameld in stand 26.

Stand 24 geeft informatie over het probleemgebied: "Lassen in de Scheepsbouw".

Hierboven werd gesuggereerd, dat het lassen diep ingrijpt in het gedrag (de responsie, maar vooral de draagkracht) van een gelaste staalconstructie.

Waarom is dit eigenlijk zo? Met het lassen "smelten we toch aparte delen tot één geheel"? Het antwoord ligt besloten in het woord "smelten".

Voor het "samensmelten" van bijv. twee platen (met toevoeging van lasmateriaal) is zó veel hitte nodig, met andere woorden moet het plaatmateriaal ter weerszijden van de las zó veel hitte opnemen, dat de inwendige structuur van het materiaal daar ter plaatse een verandering ondergaat, wat een verandering in eigenschappen (vergeleken bij de eigenlijke eigenschappen van het plaatmateriaal) betekent.



Op bovenstaande foto is te zien, dat daar waar het het heetst is, namelijk bij de smeltlijn, de grootste structuurverandering (korrelvergroting) plaats heeft. Verder van de las af krijgen we dan de overgang naar de structuur van het onbeïnvloede materiaal. Door het lassen krijgen we dus de onderscheiding tussen las, overgangsgebied (heat affected zone) en onbeïnvloed materiaal (moedermateriaal). Bovenbedoelde structuurverandering zou geen probleem betekenen als de verandering een verbetering betekende, maar het betekent helaas een verslechtering, een verkleining van de weerstand tegen praktijkbelastingen. Daarbij komt nog, dat de structuur van las en overgangszone voor verschillende lasmethoden ook zeer verschilt. Bijvoorbeeld is de hitteontwikkeling bij het lassen "met de hand" veel kleiner dan bij het lassen "met de automaat".

Bij het handlassen heeft men betrekkelijk korte lasstaven en wordt het lasproces (dus ook het proces van toe- en afvoer van warmte) steeds onderbroken om een nieuwe lasstaaf in de lastang te plaatsen; bij het automatisch lassen heeft men zeer weinig onderbrekingen.

Bij het handlassen van dikkere platen moet men meerdere lagen over elkaar leggen, daarentegen zijn de automatische lasprocessen "electrogas- en electroslaklassen" speciaal bedoeld voor het lassen van dikke plaat, in één laag, wat weer

een zeer hoge warmtetoevoer vereist.

Zoals boven vermeld, heeft een grote hittetoevoer een sterke structuurverandering van het plaatmateriaal tot gevolg. Bovendien krijgen we tengevolge van de grote hittetoevoer (sterke uitzetting) en de daaropvolgende afkoeling (krimp) een verdeling van residuele spanningen, die ongunstiger is dan die bij minder grote hittetoevoer. Uit proeven in het laboratorium is namelijk gebleken, dat in het eerste geval de voortplanting van een scheurtje, ontstaan in de overgangszone, in deze zone van slechte kwaliteit blijft plaatshebben, zodat de scheur fatale afmetingen kan aannemen. In het andere geval is er een goede kans, dat zo'n scheurtje zich in de richting van het onbeïnvloede materiaal voortplant en in het onbeïnvloede materiaal tot stilstand komt.

Behalve de aspecten, die samenhangen met de factor "warmte" bevat het lassen nog meer factoren, die het gedrag van een gelaste constructie mede bepalen. Genoemd worden:

- de geometrie van de betreffende las;
- de gemaakte lasfouten.

Lasfouten zijn onvolkomenheden in de lassen. Wanneer bijv. niet goed wordt doorgelast, blijft er in het inwendige een "holte" over. Deze is te beschouwen als een scheurtje, dat onder wisselbelasting kan groeien en onder eerdergenoemde bepalende omstandigheden (schokbelasting, lage temperatuur) verder kan overgaan in een brosse breuk.

Kortsluitend kan gesteld worden, dat (zoals eerder gezegd is) *het lassen (en de andere productieprocessen waarbij veel warmte wordt toegevoerd) als een hoofdaspect van het vakgebied moet worden gekenmerkt.*

Als tweede onderzoekaspect met betrekking tot vermoeiing en bros breken was genoemd: de vorm (geometrie) van een constructiedeel.

De constructievorm

Een vernauwing in een stromende rivier veroorzaakt een opstuwning en kolking van het water, waardoor de oevers aan sterkere afbrokkeling onderhevig zijn dan elders. Zit er in een plaat een gat, dan is voor de "krachtenstroom" in de plaat tengevolge van een belasting ook niet meer de hele breedte van de plaat beschikbaar. Dit is het geval in een dek ter plaatse van luikopeningen. We krijgen daar een concentratie van spanningen, meestal spanningsconcentratie genoemd.

Maken we de hoeken van zo'n (rechthoekige) luikopening scherp (d.w.z. we maken "de hoeken niet rond"), dan wordt hiermee een extra omstandigheid geschapen, die ertoe meewerkt dat daar tengevolge van de wisselbelastingen scheurtjes ontstaan.

Zo zijn er meerdere constructiedelen in een schip waar, door ondoordachte vormgeving spoedig scheurtjes zouden ontstaan. Een knieverbinding is ook zo'n constructiedeel.

Over vorm (geometrie) en nut van knieverbindingen heeft onderzoek in het laboratorium veel opgehelderd (*zie desbetreffend rapport, stand 26*).

Nog een onderzoek, waarbij de geometrie van een scheepsconstructie-onderdeel een bepalende factor (parameter) was, betrof het brosse breuk gedrag en het vermoeiingsgedrag van bodemconstructiedelen. Dit onderzoek heeft nu een vervolg, *hierover wordt bericht in de Bijlage betreffende stand 3: "Vergelijkend Sterkte-onderzoek"*.

Als derde was, met betrekking tot de problemen vermoeiing en bros breken, als bepalend aspect genoemd: de kwaliteit van het staal.

Staal

Voor een leek is een stalen plaat "van ijzer", en "ijzer is ijzer". Toch bestaan verschillende soorten staal.

De chemische samenstelling van een staal bepaalt zijn eigenschappen, maar dikwijls is het zo, dat wanneer men bij de staalbereiding meer van een bepaald bestanddeel toevoegt om een zekere eigenschap te verbeteren, men een andere eigenschap achteruit dringt.

Bepaalde staalsoorten garanderen bijv. beter laswerk dan andere.

Het z.g. Staal 52 heeft betere sterkte-eigenschappen dan Staal 42.

Afhankelijk van de vraag wáár (voor welk deel van de constructie) men het staal gaat toepassen, moet men weten welke soort staal, in het licht van het te verwachten gedrag van de constructie, de geschiktste is.

Een goede constructie-ontwerper moet weet hebben van de bepalende aspecten ten aanzien van de keuze van het soort materiaal. De materiaalkeuze in de scheepsbouw is derhalve een van de onderwerpen van het onderwijs. Hierbij moet worden aangetekend, dat met "materiaalkeuze" dus niet zozeer het kiezen tussen staal of een ander materiaal wordt bedoeld.

Ander materiaal

De bouw van kleine schepen (loodsvaartuigen, mijnenvegers) wordt ook wel in z.g. gewapende kunststof uitgevoerd.

Met gewapende kunststof wordt dan bedoeld: polyesterhars, waarin voor versteviging een wapening van glasvezels is ingebed; dit wordt dan aangeduid als G.V.P. (glasvezelversterkt polyester).

Voor mijnenvegers heeft G.V.P. het voordeel dat het, in tegenstelling tot staal, niet magnetisch is (het kan de mijnen niet "aanrekken").

Het moeilijke van G.V.P. is, dat de eigenschappen die de responsie en de draagkracht bepalen, niet zoals bij staal in éénduidige getallen zijn vast te leggen.

Dit bemoeilijkt het maken van berekeningen met betrekking tot het (te verwachten) gedrag van G.V.P.-constructies.

Een andere moeilijkheid is gelegen in de omstandigheid, dat men nog geen methode heeft gevonden voor het maken van goede hoekverbindingen, zoals huid-schot-verbindingen.

Stand 22 exposeert onderzoek aan G.V.P.-hoekverbindingen.

In stand 25 is een scheepsmodel van G.V.P. te zien.

Laatstgenoemde is gebruikt geweest voor metingen van buigende momenten.

Onlangs is een symposium gehouden over het toepassen van beton in de scheepsbouw. Voor dit materiaal geldt, evenals voor G.V.P., dat het er vooralsnog niet naar uitziet het staal te zullen verdringen.

Trillingen

Trillingen vormen een verschijnsel, dat de draagkracht van zowel de constructie als van de op die constructie verblijvende mens op de proef kan stellen.

Het is bekend dat "iets" kan trillen, nadat het is "aangeslagen" (stemvork), of dat iets meetrilt omdat wat anders aan het trillen is (resonantie).

Zo kan een schip gaan trillen na een slam-klap; zo'n trilling dempt uit, maar een schip kan door bepaalde omstandigheden ook zo in trilling raken dat, wanneer men niet ingrijpt, de trillingen zouden aanhouden of zelfs zouden verergeren.

Voor de constructie betekent een trilling een wisselbelasting; evenals door een normale golfbelasting kan dus vermoeiing optreden, waardoor weer scheurtjes zouden kunnen ontstaan.

Trillingen kunnen voor het menselijk lichaam hinderlijk tot gevaarlijk zijn, zodat ook uit dit oogpunt het bestrijden van trillingen noodzakelijk is.

Behalve dat het hele schip in trilling kan geraken, kunnen ook in delen van de constructie trillingsverschijnselen optreden. Bijvoorbeeld de schroef kan hinderlijke tot gevaarlijke trilling van het achterschip veroorzaken.

Schroef en schroefas tezamen kunnen eveneens trillingshinder geven.

Stand 17 betreft onderzoek van door schroef en schroefas veroorzaakte trillingsverschijnselen.

Ter vergroting van het inzicht omtrent trillingsverschijnselen kunnen studenten proeven doen aan speciaal daarvoor bedoelde opstellingen, stand 19 en 20.

Locale sterkte

Onder het hoofd "De constructievorm" is melding gemaakt van het onderzoek met betrekking tot de draagkracht van knie- en bodemconstructies. Het betrof dus het gedrag op een bepaalde plaats (locaal) van de scheepsconstructie.

Het schottenonderzoek (stand 12) betreft het gedrag van 4 soorten schotten onder waterbelasting.

Hoewel in dit onderzoek dus gekeken is naar plaatselijk gedrag is het onderzoek ook te zien als een bestudering van het gedrag van "verstijfde plaatvelden" in het algemeen. Behalve de schotten behoren de huid en de dekken ook tot bedoelde verstijfde plaatvelden.

Voor meer informatie betreffende het schottenonderzoek wordt verwezen naar de desbetreffende Bijlage.

Corrosie en corrosie-vermoeiing

In het voorgaande is meermalen gewezen op de omstandigheid, dat de krachtswerking op zeegaande constructies in een zilte omgeving geschiedt.

In de eerste plaats tast het zout vooral die platen aan, die in direct contact zijn met het zeewater (de huid van een schip). Op den duur worden deze platen dunner dan hetgeen bij het ontwerp volgens de voorschriften was vastgelegd.

Het zal duidelijk zijn, dat onder gelijke belasting de spanningen in de dunner geworden platen groter zijn dan toen de platen nog de voorgeschreven dikte hadden. Dit aspect wordt in een modern constructieontwerp in rekening gebracht door middel van corrosietoeslagen.

Echter bestaat er ook een wisselwerking tussen spanning en corrosie. Het samengaan van een spanning in het materiaal en corrosieve aantasting vergroot de kans op scheurvorming. Dit noemt men "spanningscorrosie".

Gaat corrosie samen met een wisselende spanning tengevolge van een wisselbelasting, dan kan zulks tot "corrosie-vermoeiing" leiden.

Het aspect corrosie-vermoeiing heeft eigenlijk pas door de opkomst van de offshore constructies aan belangstelling gewonnen. Corrosie-vermoeiing is voor schepen geen echt probleem, omdat de "kwetsbare" plekken van de scheepsconstructie zich binnen de scheepshuid bevinden. Bij offshore constructies zijn de "kwetsbare" plekken in direct contact met het zeewater, zodat de corrosiewerking dus veel sterker is dan die op de beschermde scheepsconstructiedelen.

~~Met de vrij-recente snelle opkomst van de offshore industrie is het gebrek aan kennis omtrent corrosie-vermoeiing pas goed aan de dag getreden. Het laboratorium geeft zijn aandeel in het onderzoek.~~

Een en ander wordt geïllustreerd in stands 7, 11 en 14.

HET LABORATORIUM VOOR SCHEEPSCONSTRUCTIES

Circa 25 jaar geleden was de Onderafdeling der Scheepsbouwkunde gehuisvest in het oude gebouw aan de Nieuwelaan, waar men niet beschikte over faciliteiten voor sterkteonderzoek.

Men kon dus geen bijdrage leveren aan het speurwerk, o.a. omtrent het in de tweede wereldoorlog gerezen probleem van brosse breuk in schepen.

Daarom diende Prof.Ir. H.E. Jaeger, de grondlegger van het huidige Laboratorium voor Scheepsconstructies, plannen in om in het nieuwe gebouw voor Werktuig- en Scheepsbouwkunde aan de Mekelweg een speciaal laboratorium voor onderzoek van de sterkteaspecten van scheepsconstructies in te richten.

Omstreeks 1955 werd het nieuwe gebouw betrokken en werden de beproevingsmachines afgeleverd. Dit waren een 6 tons Losenhausen, een 100 tons Amsler en een grote horizontale Amsler beproevingsmachine, die destijds een capaciteit kreeg van

500 ton.

Door deze faciliteiten en een enthousiaste inzet verwierf het laboratorium zich nationale en vooral internationale faam, zodanig dat Delft in 1964, na Glasgow (1961), verkozen werd als organisator van het tweede internationale congres van sterktedeskundigen op maritiem gebied (International Ship Structures Congress).

Allengs werd de behuizing te eng bevonden. Besprekingen voerden tot vergroting van de laboratoriumruimte tot hetgeen nu ter beschikking staat. Met enige feestelijkheden vond in 1968 de ingebruikname van het vergrote laboratorium plaats. Over de verhoging van de capaciteit van de 500 tons machine tot 600 tons en uiteindelijk tot 1000 tons wordt in de Bijlage bij stand 2 melding gemaakt:

Door het vrij intensieve gebruik zowel voor eigen onderzoek als voor derden is de 100 tons machine aan vervanging toe. Een nieuwe machine is inmiddels aangeschaft.

ONDERWIJS

Het onderwijs aan de studenten is in al het voorgaande slechts aangestipt naar aanleiding van de practicum-opstellingen. Het moge hier worden benadrukt, dat uit het oogpunt van het afleveren van bij-de-tijdse ingenieurs, het het streven is van de Vakgroep om nieuwe ontwikkelingen in het vakgebied en direct-relevante resultaten van eigen onderzoekingen of van onderzoekingen elders, in het onderwijs te presenteren.

Anderzijds maakt de gestadige uitbreiding van het wetenschapsgebied in het algemeen, en van het vakgebied Sterkte en Trillingen van Maritieme Constructies in het bijzonder, het tot een moeilijke taak om de studenten "niet te veel, maar ook niet te weinig" bij te brengen.

TER AFSLUITING VAN DEEL I

Naar gehoopt wordt, heeft de lezer(es) een idee gekregen van de betekenis van het vakgebied. Misschien zal "het hem (haar) wel duizelen". Inderdaad zijn de meeste aspecten van het vakgebied zó met elkaar verweven, dat een eerste lezing voor sommigen niet voldoende zal zijn om door de bomen het bos nog te zien. Voor een groot deel is de gecompliceerdheid te wijten aan "het lassen" en in zeker opzicht, tot op zekere hoogte, zou men de verzuchting kunnen slaken: waren we maar bij het klinken gebleven!

Deel II. NADERE BESCHOUWING VAN DE ACHTERGRONDEN VAN HET WERK
IN HET LABORATORIUM VOOR SCHEEPSCONSTRUCTIES

ONTWERP EN PRODUKTIE VAN ZEEGAANDE CONSTRUCTIES

Elke zeegaande constructie, zij het een of ander type vaartuig dan wel een offshore installatie, is in wezen een holle plaatconfiguratie die op gecompliceerde wijze gesteund (verstijfd) wordt door een net van, meestal orthogonaal geplaatste, lichte en zware profielen. Laatstgenoemde zullen veelal weer opgebouwd zijn uit, in één of twee richtingen verstijfde, platen.

Bovengenoemde constructies bevatten zeer veel knooppunten van allerlei typen verstijvingen. Bovendien worden de (verstijfde) plaatvelden vaak nog "geschonden" door grote en kleine openingen; als gevolg hiervan moet het verstijvingssysteem worden aangepast. Zowel knooppunten als openingen vormen discontinuïteiten in de constructie en zij oefenen een storende invloed uit op de gelijkmatigheid van de spannings- en vervormingsverdeling, die tot uiting komt in spannings- en vervormingsconcentraties zodra de constructie belast wordt. Deze gestoorde verdelingen dienen dan nog gesuperponeerd te worden op de reeds aanwezige spanningen en/of vervormingen tengevolge van het productieproces.

In het productieproces eist de aard van de constructie, in verband met de knooppunten en dergelijke, een intensieve vormgevingsactiviteit en een grote hoeveelheid laswerk. De noodzaak om economisch te produceren dwingt echter tot een korte produktietijd, een minimum aan manuren en aan materiaalverbruik, waardoor een vèrgeaande mechanisering onvermijdelijk is. In het algemeen heeft dit tot gevolg dat processen van vormgeven en verbinden, dus van brandsnijden en lassen, snel en zo mogelijk massaal moeten plaatshebben. Dit leidt er op zijn beurt weer toe dat gedurende het bouwproces grote en geconcentreerde hoeveelheden warmte in het constructiemateriaal worden gebracht, te beginnen bij de voorbereiding en eerste samenvoeging van individuele elementen waaruit de sub-secties voortkomen en vervolgens bij de vorming daaruit van secties die, aanééngevoegd, de gehele constructie vormen. De consequentie van dit productieproces is dat plaatselijk de materiaaleigenschappen vaak sterk achteruitgaan. Anderzijds kan een dergelijke wijze van bouwen dikwijls problemen oproepen met betrekking tot maatvoering en passing. Laatstgenoemde eisen doorlopend de aandacht van de produktiedeskundigen, waartegenover staat dat van de constructeur verlangd moet worden dat hij in zijn ontwerp stelmogelijkheden open laat; deze liggen vrijwel altijd in de knooppunten die het karakter hebben van constructiedetails en discontinuïteiten.

Het achteruitgaan van de materiaaleigenschappen behoort in de eerste plaats tot het aandachtsgebied van de constructeur. Van de bouwer mag verlangd worden, dat hij inzicht heeft in de consequenties van dat achteruitgaan, immers deze consequenties betreffen de draagkracht van de constructies onder praktijkbelastingen en in praktijkomstandigheden.

Als conclusie van al het voorgaande kan derhalve gesteld worden:

van de goede constructeur wordt verlangd dat zijn ontwerp een synthese vormt van de volgende (hulp)wetenschappen:

- 1) toegepaste materiaalkunde;
- 2) produktietechnieken, met name brandsnijden en lassen;
- 3) belastingen in zeegang;
- 4) mechanica, waaronder: a. sterkteleer,
b. dynamische responsie van constructies (trillingen),
- 5) draagkrachtleer, o.a. vermoeiing en breukmechanica;

Bedoelde synthese moet "produktie-vriendelijk" zijn, d.w.z. het bouwen moet, binnen de kostenramingen, goed mogelijk zijn.

Kennis en inzicht om tot bedoelde synthese te komen zijn nog steeds niet volledig en het werk in het laboratorium is erop gericht om door desbetreffend onderzoek een bijdrage hiertoe te leveren.

In de volgende paragraaf wordt op het vorenstaande ingegaan, speciaal met betrekking tot het desbetreffende onderwijs in de Afdeling der Scheepsbouw- en Scheepvaartkunde.

HET ONDERWIJS IN HET ONTWERPEN VAN SCHEEPSCONSTRUCTIES

In de vorige paragraaf zijn de grondslagen aangegeven van de opleiding tot een goede constructeur.

In de huidige situatie hebben de meeste constructeurs echter weinig weet van de wisselwerking tussen materiaal, constructievorm en las- en snijtechnieken.

De oorzaak ligt voor een deel in de grote invloed van de klassebureaus op de keuze en kwaliteit van het scheepsstaal, de lasmetalen, de lasmethoden en de constructievorm. Die invloed manifesteert zich vóór, tijdens en na het construeren in de vorm van klassevoorschriften, beoordelen van tekeningen, supervisie tijdens de bouw en controle door middel van afnameproeven en niet-destructief onderzoek.

Tot voor kort was het construeren in de scheepsbouw meer een ambachtelijk routinewerk dan een creatieve activiteit, dit laatste als synthese van wetenschappelijke kennis op de in de vorige paragraaf genoemde terreinen. Met enerzijds de vraag naar geheel nieuwe constructietypen en de eisen van economisch en snel bouwen om concurrentie goed het hoofd te kunnen bieden en anderzijds de eisen ten aanzien van en met betrekking tot de veiligheid van de constructie vindt er een verschuiving plaats van het genoemde routinewerk naar creatief werk.

Historisch gezien is de situatie gegroeid uit het zware accent dat op de toegepaste mechanica en met name de elasticiteitsleer bij de ingenieursopleiding werd gelegd. De student leerde daardoor maar één ding: "een constructie is goed als de spanningen niet te hoog zijn".

Het materiaal van de constructie werd dan homogeen en isotroop verondersteld en werd slechts gekenmerkt door een vloeigrens. Of dat cijfer iets zegde in gevallen dat bijv. vermoeiing een rol speelde, werd veronachtzaamd.

In werkelijkheid is het materiaal heterogeen en bevat defecten. Het gevaar (ook in aantal en aard) van defecten wordt sterk bepaald door de vorm van de constructie, de gebruikte lasprocédé's en elektroden en zelfs de lasvolgorde.

Er werd bij de opleiding te weinig gelet op de essentie van het construeren: *met een minimum aan materiaal, tijd en middelen iets maken dat in de praktijk aan de eisen voldoet, dat wil zeggen intact blijft, zolang als dat nodig is.*

Dat is heel wat anders dan op grond van een spanningsberekening aan een gestyleerd model de afmetingen van verbanddelen te bepalen. (Het intact blijven van een constructie is trouwens meer een zaak van beheersen van plastische vervormingen dan elastische spanningen).

Als voorbeeld is te denken aan een containerschip dat altijd onderhevig is aan een groot hogging vlakwaterbuigend moment.

Bij het construeren van dek en bodem wordt er momenteel geen rekening mee gehouden dat het dek overwegend aan trekbelastingen wordt blootgesteld en de bodem aan drukbelastingen. Toch is voor de laatste het construeren op druksterkte van primair belang en hoeft naar vermoeiing of brosse breuk niet of pas in tweede instantie te worden gekeken. Lamellar tearing vormt ook geen probleem.

Voor het dek geldt juist het omgekeerde. Dit houdt onmiddellijk in dat aan de kwaliteit van het laswerk veel meer aandacht moet worden besteed. Plastische vervormingen dienen drastisch te worden beperkt door constructieve voorzieningen, vooral daar waar triaxiale spanningstoestanden heersen. Dikke platen zijn in principe in het dek "gevaarlijk", terwijl zij in de bodem juist welkom kunnen zijn. Andere tegenstrijdige punten liggen ten aanzien van het gebruik van St. 42 en St. 52 en het toepassen van snelle high-heat-input lasmethoden. Bodemplaten van het beschouwde schip kunnen zonder bezwaar in weinig lagen gelast worden, eventueel zelfs met rutil lasmetaal; het dek vereist de grootste zorg: basisch lasmetaal; veel lagen; eventueel voorwarmen; grondig niet-destructief onderzoek.

Voorts zal de constructie van een luikhoofdhoek op het dek van een schip dat overwegend op trek wordt belast heel anders zijn dan die van een schip met een overwegend saggingsmoment.

Goede eigenschappen van het materiaal op zich garanderen derhalve niet zonder meer een goede constructie, zelfs niet als de technische mechanica van het ontwerp onberispelijk is.

Materiaal en constructie kunnen gezien worden als de uitersten van een productieproces, waartussen zich behalve het theoretisch ontwerp alle processen en bewerkingen afspelen die de vormgeving en het aanéénbouwen ten doel hebben.

Lassen en branden zijn hiervan verreweg de belangrijkste. Zonder overdrijving kan men zeggen, dat juist deze twee verantwoordelijk zijn voor 90% van de materiaalproblemen. Daarnaast veroorzaken zij ook wat constructieproblemen; de vorm van een constructie hangt mede af van de lastoestellen die ter beschikking staan, gewenste lasstanden en lasvoorbewerking, vereiste maatnauwkeurigheid etc. In vele gevallen moeten gewichtsbesparingen die te verkrijgen zijn door verfijnd construeren en "moeilijk" of met de hand lassen afgewogen worden tegen de kostenbesparingen die te bereiken zijn door gemakkelijk monteren en eenvoudig of automatisch lassen.

Materiaal dat verwerkt is in een constructie gedraagt zich verschillend van dat in eenvoudige proefstaven. Dit is vooral zo ter plaatse van constructiedetails. Enkele oorzaken zijn:

- a) De gecompliceerdheid van de belastingtoestand (axiale, buig-, afschuif- en wringbelastingen).
- b) De verschillen in materiaaleigenschappen van plaats tot plaats, zowel als gevolg van de eerder genoemde bewerkingen, als van de invloed van de constructieve vorm (triaxiale spanningstoestanden).
- c) De aanwezigheid van residuele spanningen.

Welke sterktecijfers gehanteerd moeten worden, wordt mede bepaald door de belastingtoestand waarin de constructie komt te verkeren (statisch, wisselend met veel of weinig wisselingen, schok). Verder zijn van belang de temperatuur en het milieu.

Van groot belang is tenslotte dat men zich bezint op wat men van een constructie verwachten kan. Men moet weten of er na enige tijd scheuren zullen ontstaan (of dat deze misschien al van de aanvang af aanwezig waren) en zo ja, of dit gevaarlijk is. Is het gevaar te bestrijden door gebruik van ander materiaal of een andere vorm? Tot welke lengte zijn scheuren toelaatbaar? Wat hebben we hierbij aan de breukmechanica?

Voor hoofdvakstudenten met bijzondere interesse voor constructief vormgeven is goed begrip van bovengenoemde aspecten onontbeerlijk teneinde zinvolle dialogen met klassebureaus en andere instanties, die met de sterkte van constructies te maken hebben, te kunnen houden.

Echter geldt zulks, in iets geringer mate, ook voor de andere studenten der Afdeling Scheepsbouw- en Scheepvaartkunde. De "brede" opleiding, die men tegenwoordig nastreeft, moet wel de juiste elementen bevatten.

ANALYSE VAN PRAKTIJKBELASTINGEN

Als één van de noodzakelijke elementen voor een optimaal ontwerp van een constructie is genoemd: de praktijkbelastingen.

Onder praktijkbelastingen worden verstaan de inwendige materiaalbelastingen als gevolg van de primaire, van buitenaf op de constructie werkende, krachten.

Voor schepen vallen onder de primaire belastingen de krachten t.g.v. de waterdruk en t.g.v. de lading. De inwendige materiaalbelastingen zijn dus de responsies op de primaire uitwendige belastingen; onder de responsie vallen de (inwendige) buigende en wringende momenten, dwarskrachten zich uitend in spanningen en vervormingen. De laatste zijn gemakkelijk te meten. Daarentegen is kwantificering van de primaire belastingen veel moeilijker.

Zoals bekend zal zijn, behoren spanningen en vervormingen tot de parameters, die de draagkrachtaspecten, brosse breuk en vermoeiing beheersen.

Met betrekking tot vermoeiing zijn er andere parameters: het aantal spanningswisselingen en het milieu (corrosie door zilte omgeving en/of lading).

Parameters met betrekking tot brosse breuk zijn schokbelastingen en temperatuur.

Bepalende factoren, die meer een verborgen karakter hebben, zijn die tengevolge van de bewerkingshistorie van het materiaal, met name tengevolge van het lassen.

Reeds in Deel I van voorliggend boekje is het belang van genoemde parameters belicht en is naar voren gebracht dat hierin de achtergronden gezocht moeten worden van een groot gedeelte van het onderzoekprogramma van de Vakgroep.

Uiteindelijk is de draagkracht van de constructie, van de 3 hoofdaspecten:

Belastingen, Responsie en Draagkracht, de toetssteen, die aangeeft of de constructie voldoet.

Belastingen en Responsie zijn de zuilen waarop de Draagkracht steunt.

Zoals nu duidelijk zal zijn, is grondige kennis van de praktijkbelastingen (dus de spanningen en vervormingen die in de praktijk voorkomen) een onontbeerlijk invoergegeven.

Betrof het een constructie, die uitsluitend aan een wisselbelasting met constante amplitude onderworpen is, dan was de zaak minder gecompliceerd. Drijvende zeegaande constructies (zoals in het bijzonder schepen, die meestal een grote actieradius hebben) zijn echter onderhevig aan een complex van belastingen, waarvan de hoofdbelasting, de zeegangsbelasting, wat de individuele belastingswisselingen betreft, een random (willekeurig) karakter heeft. De vraag is, hoe deze zeegangsbelasting te analyseren en modelleren, zodanig dat, ten behoeve van het draagkrachtonderzoek in het laboratorium, de kenmerkende grootheden van die belasting zo in de onderzoekbelastingen tot uiting komen, dat het materiaal zich gedraagt als in de praktijk. Een en ander zónder, met gedeeltelijke, of met algehele meebeschouwing van de andere, bovengenoemde parameters (parameter-onderzoek).

Gegevens omtrent praktijkbelastingen kunnen alleen verkregen worden door metingen aan de betreffende constructies op zee. Aan schepen worden door diverse landen (in het bijzonder Japan en de Verenigde Staten) metingen verricht. Nederland verricht op kleinere schaal metingen aan boord van schepen. Wat de Vakgroep betreft, kunnen genoemd worden de spanningsmetingen aan de "Ossendrecht", "Zwijndrecht" en "Attis".

In 1976 is, als discussiebijdrage aan een voordracht voor de RINA (Royal Institution of Naval Architects), gehouden door 2 vakgroepleden, gesuggereerd om dergelijke metingen aan boord uit te breiden met vermoeiingsproeven aan proefstukken, die ingebouwd worden in de constructie. Deze proefstukken worden dan immers, vanzelf, onderworpen aan echte praktijkbelastingen.

(De Vakgroep maakt hier, met enige trots, gewag van het feit, dat deze voordracht onderscheiden is met een bronzen medaille).

Voeling tussen degenen die bovenbedoelde belastingsanalyse verrichten en zij, die de draagkrachtverschijnselen onderzoeken, is een vereiste. Laatstgenoemden beoordelen of bedoelde verschijnselen als gevolg van belastingen, die opgebouwd zijn uit elementen van aan schepen gemeten belastingen, representatief zijn voor

de in werkelijkheid optredende verschijnselen. Eerstgenoemde worden geacht beoelste elementen aan te dragen.

In bovengenoemde voordracht is bijv. op het belang gewezen van de middelwaarde van de onregelmatig variërende zeegangbelastingswisselingen. Voor laboratoriumonderzoek werd door de draagkrachtonderzoekers een constante middelwaarde per zeereis tussen 2 havens voorgesteld. Uit belastingsanalyse is echter gebleken dat, per zeereis tussen 2 havens, de middelwaarde niet constant hoeft te zijn. Teruggekoppeld is het aan de draagkrachtonderzoekers om te beoordelen of de variatie van de middelwaarde van essentiële invloed is of niet.

Volgens deze lijnen vindt in de vakgroep de analyse van praktijkbelastingen plaats.

Ten aanzien van de praktijkbelastingen op schepen of op verankerde offshore-constructies is nog op te merken, dat op schepen de gezagvoerder het in zijn hand heeft om stormbelastingen door snelheidsvermindering en/of koerswijziging te verkleinen. Dit is voor een verankerde constructie niet mogelijk.

MODERNE RESPONSIE-ANALYSE

Schaalvergroting in de scheepsbouw en scheepvaart en toepassing van bijzondere constructies (booreilanden) op zee vormen de aanleiding om de responsie-analyse van de constructie te baseren op rationele analysemethoden. Dit in tegenstelling tot de voor enige jaren gehanteerde procedure, namelijk door extrapolatie vanuit in het verleden opgedane ervaring. De classificatiemaatschappijen, vanouds de instituten die goedkeuring verlenen voor het in bedrijf nemen van op zee werkende installaties, baseren hun beslissingen meer en meer op overleg met de constructeurs, waarbij de gevolgde rekenprocedures en uitkomsten worden getoetst op hun betrouwbaarheid. Vanzelfsprekend zullen de constructeurs de middelen ter beschikking moeten hebben om een rationele materiaalspanningsanalyse mogelijk te maken.

Teneinde het bedrijfsleven en de toekomstige generatie ingenieurs te voorzien van de nodige gereedschappen dient het onderwijs en onderzoek hierop te zijn afgestemd. Daarom worden voor hoofdvakstudenten in het vakgebied Sterkte en Trillingen van Schepen hierop gerichte colleges gegeven. Ook het onderzoek heeft een aanvang gemaakt in deze richting.

De gedachtengang die aan de beoogde analyse ten grondslag ligt, stoeit op de gegeneraliseerde vergelijkingen van La Grange met de trilvormen als gegeneraliseerde coördinaten (in Engelstalige literatuur aangegeven als de "Normal-Mode-Method").

Voor een volledig beeld zijn 3 belastingsrichtingen voor de scheepsromp van belang, te weten verticale buiging, horizontale buiging en torsie. Voor andere zeegaande constructies zijn gelijksoortige belastingsrichtingen te onderscheiden.

Ten behoeve van het desbetreffende experimentele onderzoek is een "gedeeld" model van een schip vervaardigd. Dit model is uitgerust met speciale voorzieningen.

De experimenten en het model zijn zodanig ontworpen dat direct de gegeneraliseerde krachten worden gemeten als functie van de tijd. Dit zijn de krachten die de constructie belasten en het storingslid van het stelsel vergelijkingen vertegenwoordigen.

De resultaten van eerste experimenten, gedaan in de sleeptank van het Laboratorium voor Scheepshydraulica, zijn in een publikatie bekendgemaakt.

Hoewel het model ingericht is voor het meten van de gegeneraliseerde krachten in de 3 genoemde richtingen, is slechts in één richting gemeten (namelijk in de richting van de verticale buiging).

Dit vindt zijn oorzaak in de beperkingen van de Delftse sleeptank waar slechts "golven loodrecht op de kop" kunnen worden opgewekt, die uitsluitend verticale buigende momenten opwekken. Lange tijd is deze ene belastingsvorm ook maatgevend

geweest als uitgangspunt voor de sterkteberekening.

Met de moderne ontwikkelingen van open containerschepen en andere zeegaande constructies zijn ook de andere belastingsrichtingen van belang geworden.

Teneinde het onderzoek voort te zetten in de andere belastingsrichtingen dient het model in schuine golven te worden onderzocht. In Nederland is dit slechts mogelijk in het Zeegangslaboratorium van het Nederlands Scheepsbouwkundig Proefstation te Wageningen, waarbij een meetprocedure kan worden gebruikt gelijk aan die van vóórkomende golven.

Aangezien het model voor bedoelde metingen in Wageningen is, kon het niet in het laboratorium worden tentoongesteld.

ONDERZOEK NAAR SCHEEPSTRILLINGEN

geïntroduceerd door de lagerreacties van transversaal trillende, langzaam lopende scheepsasleidingen.

Door de sterk toegenomen vermogens nodig voor de voortstuwning van snelvarende stukgoed vrachtschepen voor het vervoer van bulklading zijn naast de torsie-axiaaltrillingen ook de met de elastische scheepsromp gekoppelde transversaaltrillingen (shaft whirling) van essentiële betekenis geworden. Deze toeneming in belangrijkheid van het dwarstrillingsgedrag van asleiding en scheepsromp is ontstaan door de relatie van de op het schip aanwezige trillingsniveau, c.q. hinder, en de sterk toegenomen veranderlijke krachten die door de schroef via de asleiding en lagering de scheepsromp exciteren. De bepaling van de overdracht van de variabele schroefkrachten naar de lagerstoelen vraagt kennis van de asleidingsdynamica die op zijn beurt weer beheerst wordt door de massa-elastische eigenschappen van de asleiding, de scheepsconstructie inclusief het omringende water, de dynamische eigenschappen van de scheepsschroef en de elastische eigenschappen van de lagers inclusief de smeerfilm.

Deze factoren maken experimenteel onderzoek onontbeerlijk om te komen tot een praktisch bruikbare oplossing van het geschetste probleem. Met deze oplossing wordt bedoeld op een prognosemethode met behulp waarvan in een vroeg stadium van het ontwerp het trillingsgedrag kan worden vastgesteld.

Door experimenteel onderzoek aan in schepen ingebouwde asleidingen onder bedrijfscondities zijn de onbekende relaties en factoren in het geheel niet of slechts met onvoldoende nauwkeurigheid vast te stellen.

Eén en ander als gevolg van de omstandigheid dat deze experimenten veelal moeten worden uitgevoerd onder niet te controleren bedrijfscondities zoals weersomstandigheden, belading, vaarwater e.d. en voorts de beïnvloedende parameters niet expliciet kunnen worden onderzocht. Experimenteel onderzoek onder onafhankelijk van elkaar te simuleren condities zal een bijdrage kunnen leveren aan de oplossing van het geschetste vraagstuk.

Bovendien zijn neveneffecten zoals de hydrodynamisch overgedragen excitatie tengevolge van het variabele drukveld van de schroef die aanleiding geeft tot asleidingstrillingen die door de rompbeweging worden geëxciteerd, niet te vermijden en geven aanleiding tot interpretatiemoeilijkheden.

Teneinde de invloed van het schaaffect in het bijzonder met betrekking tot de lagering uit te schakelen, is onderzoek aan een "ware grootte" opstelling de aangewezen methode. De Vakgroep is derhalve erkentelijk voor het aanbod van de Koninklijke Marine om schroefas, schroef en lagers voor dit onderzoek ter beschikking te stellen. Deze zijn in het laboratorium opgesteld. Onderzocht kunnen worden de invloed van de lageroliefilmelasticiteit in afhankelijkheid van de niet-evenwijdigheid van as- en lagerhartlijn (verkanting), de lagerlengte, lagerpositie, lageraantal, het toerental, de doorbuiging, de uitlijning met of zonder voorspanning e.d. op de dynamische responsie.

Voorts kan het gedrag onderzocht worden onder invloed van de door de schroef opgewekte excitatiekrachten en van de verplaatsingsexcitatie opgewekt voor de lagers.

Inleiding

In Deel I van dit boekje is in meer eenvoudige bewoordingen uiteengezet dat het lassen als een hoofdaspect van het vakgebied Sterkte en Trillingen moet worden gekenmerkt.

Navolgend wordt hier in meer technisch-specialistische bewoordingen nader op ingegaan.

De ontwikkeling van de lastechniek in de laatste veertig jaar is in belangrijke mate bepaald door de scheepsbouwkunde. Dit kwam mede doordat de scheepsbouwers de brosse breuk problematiek van de jaren veertig niet konden omzeilen door over te gaan op betonbouw. Anderzijds was in de Verenigde Staten tijdens de oorlogsjaren de stap terug naar klinken onmogelijk, omdat de produktie voor een groot deel verzorgd moest worden door mensen, die niet gewend waren aan zwaar werk (vrouwen en afgekeurden voor militaire dienst). De snelle serieproduktie van Liberties, Victories en T2-tankers zou trouwens zonder het lassen niet gemakkelijk te verwezenlijken zijn geweest. Bij serieproduktie is sectiebouw noodzakelijk en die werkwijze is gemakkelijker te realiseren bij lassen dan bij klinken.

Aanvankelijk was de sectiebouw overigens meer uit nood geboren dan als deugd ontstaan. Het kwam de kwaliteit van het laswerk ten goede wanneer het in een loods, onbeïnvloed door de weersomstandigheden, kon worden gedaan en de secties bovendien in de voor het lassen gunstigste positie konden worden geplaatst. Door het nijpend tekort aan scheepshellingen was men verder wel genoodzaakt zoveel mogelijk onderdelen van de schepen buiten de helling, en vaak zelfs buiten de betrokken scheepswerf tot grote eenheden samen te stellen. Dat deze bouwwijze ook in andere opzichten grote economische voordelen biedt, wordt in de volgende paragraaf nader toegelicht.

Verder mag worden gezegd dat zonder de lastechniek de spectaculaire schaalvergroting van schepen van de afgelopen twintig jaar zich niet had kunnen manifesteren. Er zouden anders grote problemen in verband met de water- en oliedichtheid zijn gerezen. Nu is het zo, dat het aantal tanks in een 300.000 tons tanker aanzienlijk kleiner is dan in een 30.000-tonner van de jaren vijftig!

Tijd = geld

De meeste problemen rondom het lassen in de scheepsbouw houden verband met de noodzaak schepen in zo kort mogelijke tijd te bouwen. Omgekeerd is het zo, dat wanneer men de produktie wil bespoedigen door technische maatregelen, men op het gebied van lassen en autogeen snijden het meeste succes kan verwachten. Deze produktiemiddelen nemen op de scheepswerven een sleutelpositie in. Hiermede is niet gezegd dat de verschillen in bouwtijd tussen Europese en Japanse scheepswerven in hoofdzaak geweten moeten worden aan verschillen in de lastechnische mogelijkheden van het produktieproces.

De oorzaak ligt veel meer in de organisatie van het bouwproces in zijn ruimste zin. In Japan geven bijvoorbeeld onderaannemers en leveranciers enerzijds en de werknemers op de werf anderzijds weinig aanleiding tot storingen in de bouw-schema's. Er is wèl een wisselwerking tussen deze gunstige omstandigheid en de mogelijkheden tot verbetering van het laspotentieel. Verfijningen in de vorm van min of meer gemechaniseerd lassen komen immers vooral dan tot hun recht, wanneer een optimaal gebruik van die apparatuur, en meer nog van het bedienend personeel kan worden gemaakt. Dit betekent overigens beslist niet dat de aanschaf van nieuwe apparatuur alleen dan verantwoord is, wanneer er doorlopend werk voor is. Wanneer incidenteel gebruik de bouwtijd helpt bekorten, is de aanschaf meestal wel voordelig. De bouwtijd is immers tegenwoordig de alles overheersende economische factor.

Overigens dient het principe tijd = geld in de ruimste zin te worden toegepast.

Het "letten op de kleintjes" zal men in veel gevallen moeten verleren. Energie, materiaal en zelfs loonkosten kunnen posten van de tweede orde betekenen als er tijdswinst tegenover staat. Een klassiek voorbeeld is het eenzijdig lassen van plaatstuiken. Het nadeel van de grotere vulling van een eenzijdige V-naad ten opzichte van een tweezijdige X-naad zinkt in het niet bij het voordeel dat de panelen niet gekeerd behoeven te worden.

Karakteristieke aspecten van het lassen in de scheepsbouw

Een schip is een grote, dunwandige, verstijfde-plaatconstructie.

Dit betekent:

- a) veel plaatverbindingen (stompe lassen);
- b) veel plaat-profielverbindingen (hoeklassen);
- c) grote laslengten;
- d) tamelijk dikke plaat (10-50 mm);
- e) veel vlakke panelen (huid - dek - schotten - dubbele bodem enz.)
(Tweederde van alle gelaste secties van een 200.000 tons tanker is vlak, dit maakt een lopende-band-productiesysteem in zogenaamde panelenstraten van standardeenheden aantrekkelijk);
- f) hoge kwaliteitseisen;
- g) grote nauwkeurigheid.

Het laatste aspect is van groot belang, omdat aanzienlijke vertragingen kunnen ontstaan door pasproblemen. Dit geldt in het bijzonder voor de bouwplaats waar de secties worden samengevoegd; maar ook bij het eenzijdig lassen op de panelenstraat kunnen fouten in de vooropening van een paar mm tot heel wat extra werk in de vorm van uitgutsen en opnieuw lassen - maar dan met de hand - aanleiding geven. Dikwijls zal tevens de continue doorstroming op de panelenstraat erdoor worden verbroken.

De behoefte aan snel werken heeft geleid tot bijzonder veel ontwikkelingswerk, gericht op éénzijdig lassen van plaatstuiken, zowel op de panelenstraat als buiten.

Het éénzijdig stuiklassen is de laatste tijd ook sterk in de belangstelling van de kleinere en middelgrote werven komen te staan.

Zoals meer gezegd, is snel lassen voor de scheepsbouw een levensbehoefte.

Er zijn verschillende manieren om dit te bereiken. Klassiek is de lasdraad een zo klein mogelijke inhoud te geven door toepassen van de X-naad in plaats van de V-naad bij dikkere platen. Al eerder is echter opgemerkt dat éénzijdig V-naad lassen in geval van grotere plaatvlakken aanzienlijk sneller gaat, zelfs al moet er achteraf "boven het hoofd" plaatselijk worden uitgehakt en een tegenlas gelegd. Dit komt doordat men de panelen niet hoeft te keren.

Een andere doelmatige methode om het lasproces te versnellen, is het lassen met grote warmtetoevoer (heat-input). Hierdoor wordt het aantal lagen van een las beperkt. Zo wordt bijv. bij het electrogas- en electroslaklassen en het lassen met meesmeltend mondstuk nog maar in één laag gelast. Bij die methoden is het lasbad zo heet - heeft het zoveel warmte-inhoud - dat de plaatkanten smelten en met de laspoel samenvloeien.

Bij beide methoden wordt het basismateriaal zo intens en langdurig verhit dat in het deel van de overgangszone (Heat-Affected Zone = HAZ) onmiddellijk naast de smeltlijn sterke korrelgroei optreedt. Dit heeft een slechte kerftaaiheid tot gevolg.

Gezien het grote belang van het lassen met hoge warmtetoevoer voor de scheepsbouw, zal in de volgende paragraaf aan de eraan verbonden draagkracht-problematiek aandacht worden besteed.

Het E.G.-, E.S.- en M.M.S.-lassen zijn goede voorbeelden van methoden die in het geheel van het lassen in de scheepsbouw een bescheiden plaats innemen en toch van uitzonderlijk economisch belang zijn omdat zij de bouwtijd op de helling of in het bouwdok helpen bekorten.

Inleiding

In Deel I van dit boekje is in meer eenvoudige bewoordingen uiteengezet dat het lassen als een hoofdaspect van het vakgebied Sterkte en Trillingen moet worden gekenmerkt.

Navolgend wordt hier in meer technisch-specialistische bewoordingen nader op ingegaan.

De ontwikkeling van de lastechniek in de laatste veertig jaar is in belangrijke mate bepaald door de scheepsbouwkunde. Dit kwam mede doordat de scheepsbouwers de brosse breuk problematiek van de jaren veertig niet konden omzeilen door over te gaan op betonbouw. Anderzijds was in de Verenigde Staten tijdens de oorlogsjaren de stap terug naar klinken onmogelijk, omdat de produktie voor een groot deel verzorgd moest worden door mensen, die niet gewend waren aan zwaar werk (vrouwen en afgekeurden voor militaire dienst). De snelle serieproduktie van Liberties, Victories en T2-tankers zou trouwens zonder het lassen niet gemakkelijk te verwezenlijken zijn geweest. Bij serieproduktie is sectiebouw noodzakelijk en die werkwijze is gemakkelijker te realiseren bij lassen dan bij klinken.

Aanvankelijk was de sectiebouw overigens meer uit nood geboren dan als deugd ontstaan. Het kwam de kwaliteit van het laswerk ten goede wanneer het in een loods, onbeïnvloed door de weersomstandigheden, kon worden gedaan en de secties bovendien in de voor het lassen gunstigste positie konden worden geplaatst. Door het nijpend tekort aan scheepshellingen was men verder wel genoodzaakt zoveel mogelijk onderdelen van de schepen buiten de helling, en vaak zelfs buiten de betrokken scheepswerf tot grote eenheden samen te stellen. Dat deze bouwwijze ook in andere opzichten grote economische voordelen biedt, wordt in de volgende paragraaf nader toegelicht.

Verder mag worden gezegd dat zonder de lastechniek de spectaculaire schaalvergroting van schepen van de afgelopen twintig jaar zich niet had kunnen manifesteren. Er zouden anders grote problemen in verband met de water- en oliedichtheid zijn gerezen. Nu is het zo, dat het aantal tanks in een 300.000 tons tanker aanzienlijk kleiner is dan in een 30.000-tonner van de jaren vijftig!

Tijd = geld

De meeste problemen rondom het lassen in de scheepsbouw houden verband met de noodzaak schepen in zo kort mogelijke tijd te bouwen. Omgekeerd is het zo, dat wanneer men de produktie wil bespoedigen door technische maatregelen, men op het gebied van lassen en autogeen snijden het meeste succes kan verwachten. Deze produktiemiddelen nemen op de scheepswerven een sleutelpositie in. Hiermede is niet gezegd dat de verschillen in bouwtijd tussen Europese en Japanse scheepswerven in hoofdzaak geweten moeten worden aan verschillen in de lastechnische mogelijkheden van het produktieproces.

De oorzaak ligt veel meer in de organisatie van het bouwproces in zijn ruimste zin. In Japan geven bijvoorbeeld onderaannemers en leveranciers enerzijds en de werknemers op de werf anderzijds weinig aanleiding tot storingen in de bouw-schema's. Er is wèl een wisselwerking tussen deze gunstige omstandigheid en de mogelijkheden tot verbetering van het laspotentieel. Verfijningen in de vorm van min of meer gemechaniseerd lassen komen immers vooral dan tot hun recht, wanneer een optimaal gebruik van die apparatuur, en meer nog van het bedienend personeel kan worden gemaakt. Dit betekent overigens beslist niet dat de aanschaf van nieuwe apparatuur alleen dan verantwoord is, wanneer er doorlopend werk voor is. Wanneer incidenteel gebruik de bouwtijd helpt bekorten, is de aanschaf meestal wel voordelig. De bouwtijd is immers tegenwoordig de alles overheersende economische factor.

Overigens dient het principe tijd = geld in de ruimste zin te worden toegepast.

Het "letten op de kleintjes" zal men in veel gevallen moeten verleren. Energie, materiaal en zelfs loonkosten kunnen posten van de tweede orde betekenen als er tijdswinst tegenover staat. Een klassiek voorbeeld is het eenzijdig lassen van plaatstuiken. Het nadeel van de grotere vulling van een eenzijdige V-naad ten opzichte van een tweezijdige X-naad zinkt in het niet bij het voordeel dat de panelen niet gekeerd behoeven te worden.

Karakteristieke aspecten van het lassen in de scheepsbouw

Een schip is een grote, dunwandige, verstijfde-plaatconstructie.

Dit betekent:

- a) veel plaatverbindingen (stompe lassen);
- b) veel plaat-profielverbindingen (hoeklassen);
- c) grote laslengten;
- d) tamelijk dikke plaat (10-50 mm);
- e) veel vlakke panelen (huid - dek - schotten - dubbele bodem enz.)
(Tweederde van alle gelaste secties van een 200.000 tons tanker is vlak, dit maakt een lopende-band-produktiesysteem in zogenaamde panelenstraten van standardeenheden aantrekkelijk);
- f) hoge kwaliteitseisen;
- g) grote nauwkeurigheid.

Het laatste aspect is van groot belang, omdat aanzienlijke vertragingen kunnen ontstaan door pasproblemen. Dit geldt in het bijzonder voor de bouwplaats waar de secties worden samengevoegd; maar ook bij het eenzijdig lassen op de panelenstraat kunnen fouten in de vooropening van een paar mm tot heel wat extra werk in de vorm van uitgutsen en opnieuw lassen - maar dan met de hand - aanleiding geven. Dikwijls zal tevens de continue doorstroming op de panelenstraat erdoor worden verbroken.

De behoefte aan snel werken heeft geleid tot bijzonder veel ontwikkelingswerk, gericht op éénzijdig lassen van plaatstuiken, zowel op de panelenstraat als buiten.

Het éénzijdig stuiklassen is de laatste tijd ook sterk in de belangstelling van de kleinere en middelgrote werven komen te staan.

Zoals meer gezegd, is snel lassen voor de scheepsbouw een levensbehoefte.

Er zijn verschillende manieren om dit te bereiken. Klassiek is de lasdraad een zo klein mogelijke inhoud te geven door toepassen van de X-naad in plaats van de V-naad bij dikkere platen. Al eerder is echter opgemerkt dat éénzijdig V-naad lassen in geval van grotere plaatvlakken aanzienlijk sneller gaat, zelfs al moet er achteraf "boven het hoofd" plaatselijk worden uitgehakt en een tegenlas gelegd. Dit komt doordat men de panelen niet hoeft te keren.

Een andere doelmatige methode om het lasproces te versnellen, is het lassen met grote warmtetoevoer (heat-input). Hierdoor wordt het aantal lagen van een las beperkt. Zo wordt bijv. bij het electrogas- en electroslaklassen en het lassen met meesmeltend mondstuk nog maar in één laag gelast. Bij die methoden is het lasbad zo heet - heeft het zoveel warmte-inhoud - dat de plaatkanten smelten en met de laspoel samenvloeien.

Bij beide methoden wordt het basismateriaal zo intens en langdurig verhit dat in het deel van de overgangszone (Heat-Affected Zone = HAZ) onmiddellijk naast de smeltlijn sterke korrelgroei optreedt. Dit heeft een slechte kerftaaiheid tot gevolg.

Gezien het grote belang van het lassen met hoge warmtetoevoer voor de scheepsbouw, zal in de volgende paragraaf aan de eraan verbonden draagkracht-problematiek aandacht worden besteed.

Het E.G.-, E.S.- en M.M.S.-lassen zijn goede voorbeelden van methoden die in het geheel van het lassen in de scheepsbouw een bescheiden plaats innemen en toch van uitzonderlijk economisch belang zijn omdat zij de bouwtijd op de helling of in het bouwdok helpen bekorten.

Problemen in de overgangszone bij het lassen met grote warmtetoevoer

Alle staalsoorten voor de scheepsbouw zijn gevoelig voor lassen met grote warmtetoevoer - ook de klassieke C-Mn-staalsoorten. Maar het meest gevoelig zijn toch de fijnkorrelige, met Niobium of Vanadium microgelegeerde staalsoorten in normaalgegloeide toestand. Deze bevatten fijnverdeelde carbiden en nitriden die bij circa 1050°C in oplossing gaan. Vanaf die temperatuur is de belangrijkste rem op de korrelgroei verdwenen. Naarmate de temperatuur meer boven 1050°C ligt en de verblijftijd langer is, worden de korrels grover en wordt de betrokken zone breder en slechter.

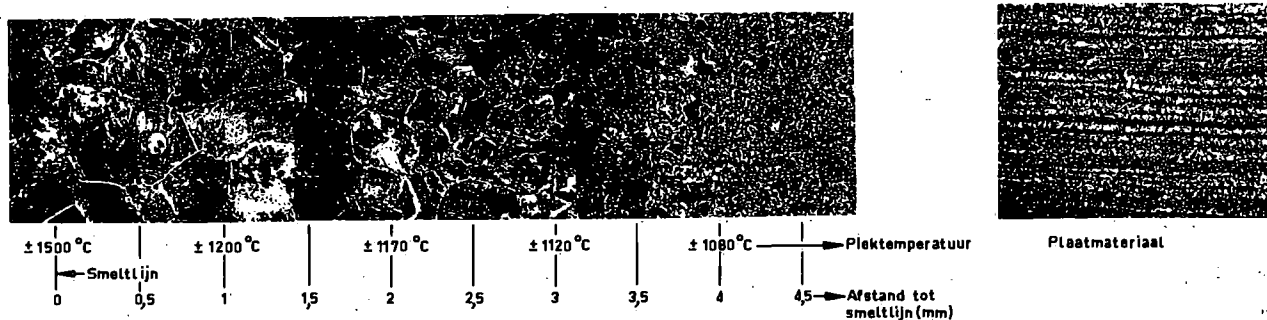
De kwaliteit van die zones is zeer goed te verbeteren door gloeien op 950°C, en zelfs al op 750°C, maar die werkwijze is voor de scheepsbouw niet geschikt.

Lokaal gloeien is wel mogelijk, maar betekent wel een hoeveelheid meerwerk.

Het is waarschijnlijk dat de temperatuur slechts enkele millimeters diep (in de richting van de plaatdikte) boven de 750°C hoeft te komen. Voor een plaat van 30 mm dikte is 5 mm aan weerskanten voldoende. De kans op brose breuk is dan uiterst klein.

De onderstaande figuur toont wat er aan de hand kan zijn bij een 34 mm plaat St. 52 met Nb, E.G.-gelast.

Korrelgroei in de oververhitte zone naast de elektrogaslas.



In het gebied tussen 1100°C en 1500°C waren de korrels met het blote oog te zien. Van de oorspronkelijk voortreffelijke kwaliteit van het plaatmateriaal is weinig overgebleven.

Een belangrijke vraag is nu of een 2 mm smal zonetje in een gelaste constructie bezwaarlijk is uit een oogpunt van breukgevaar. Het antwoord luidt, dat uitgerekend bij lassen met hoge warmtetoevoer een eenmaal ontstane breuk zich in het slechtste gebied van de laszone voortplant. Dit is gebleken uit proeven in het Laboratorium voor Scheepsconstructies van de TH Delft, gedaan met financiële steun van het Nederlands Instituut voor Lastechniek (NIL), de Hoogovens en de Koninklijke Marine. Het leek alsof de brose breuken vanzelf hun weg zochten in het slechtste deel van de betrokken zone. Het materiaal, enkele millimeters verder verwijderd van de smeltlijn, was van voortreffelijke kwaliteit en moest zeker in staat geacht worden een niet te grote (lange) brose breuk tot stoppen te brengen; op 6 mm van de smeltlijn was al een Charpy-kerfslagenergie van 6 kgm/cm² bij -80°C gemeten. Op 2 mm werd die waarde pas bij +40°C bereikt.

Het feit dat de breuken zich evenwijdig aan de smeltlijn voortplanten is beslist niet normaal voor gelaste, niet-spanningsvrij gemaakte constructies. De rapporten van de IIW-werkgroep "Brittle fractures in service" vermelden dat vrijwel elke aan hen gerapporteerde breuk, ontstaan in de laszone, die zone verliet onder invloed van de residuele lasspanningen.

Hoe komt het dat de breuken zich in de laszone uitbreiden?

In het geval van platen, gelast met hoge warmtetoevoer zijn de lasspanningen wel van voldoende niveau, maar de gradiënt van die spanningen in een richting loodrecht op de las is veel kleiner dan in het geval van handlassen. Dit komt zowel

door de grote breedte van de warmtebeïnvloede zone als door de afwezigheid van "stops en starts".

De bovengenoemde proeven-op-grote-schaal in Delft hadden als hoofddoel na te gaan of lage Charpy-kerfslagenergiewaarden in de overgangszone wel maatgevend zijn voor het gevaar van brosse breuk. Wanneer de gebruikelijke eis: een minimum van $3,5 \text{ kgm/cm}^2$, gehanteerd zou worden, zijn de betrokken lasverbindingen pas boven $25 \text{ à } 30^\circ\text{C}$ acceptabel. De zeer realistische proeven in de 1000 tons trek-drukbank van het Laboratorium voor Scheepsconstructies hebben echter als resultaat opgeleverd dat temperaturen boven -15°C als veilig te beschouwen zijn. Hiermede is niet gezegd, dat de eerdergenoemde Charpy-eis altijd aan de veilige kant is. Voor andere materialen en grotere plaatdikten kan de marge veel kleiner zijn. Wel is duidelijk dat men in de gevallen dat lage Charpy-waarden worden gevonden, niet behoeft te wanhopen. Het is mogelijk dat dan met proeven, waarbij de praktijkomstandigheden goed worden nagebootst, kan worden aangetoond dat de beoogde toepassingen toch haalbaar zijn.

OVERWEGINGEN BETREFFENDE HET GEBRUIK VAN REKENMODELLEN IN HET LABORATORIUM

Inleidende opmerkingen

In de ontwerpfasen van grote, samengestelde constructies zal het gedrag onder invloed van belastingen vrijwel altijd door berekeningen moeten worden bepaald of zo goed mogelijk benaderd. Deze responsie-analyse wordt uitgevoerd aan een mathematisch model met behulp van een rekenmethode.

In het algemeen kan het volgende gesteld worden.

Uit de doelstellingen van de responsie-analyse volgt de analysemethode die gebruikt kan of moet worden. Samen beïnvloeden zij de modelvorming in die zin, dat de methode een kader van beperkingen vormt waarbinnen het model gerealiseerd moet worden zoveel mogelijk overeenkomstig de eisen voortvloeiend uit de doelstellingen.

De eisen betreffen in het algemeen de volgende aspecten:

- 1) De geometrie van het model;
- 2) De geometrische eigenschappen;
- 3) De fysische eigenschappen;
- 4) Verdeling in secties en zonodig sub-secties, rekening houdend met het volgende;
- 5) Het onderkennen van locaties waar detailberekeningen nodig zijn;
- 6) Belasting- en randvoorwaardemodellering.

De beperkingen hangen af van de methode van responsie-analyse. Ze zijn het grootst bij toepassing van de "exacte" methoden uit de sterkteleer, gecombineerd met handberekeningen al of niet gekoppeld aan grafische methoden. Zijn de "exacte" methoden geprogrammeerd, dan worden de beperkingen wel verzacht, maar ze zijn nog steeds groot. Hierover is o.a. gerapporteerd in het kader van het schottenonderzoek.

De eindige elementen methode stelt de minste beperkingen en die dan vooral in de vorm van manuren, capaciteit van de rekenmachine en de rekenkosten zelf. De berekeningsresultaten van deze methode zijn niet exact, maar geven een benadering waarvan de nauwkeurigheid in principe zeer groot kan zijn. Overigens hoeft deze nauwkeurigheid niet groter te zijn dan die waarmee de belastingen gegeven zijn of de draagkrachtcriteria bekend zijn.

De eindige elementen methode is de enige waarmee, zo nodig, alle facetten van het gedrag van de belaste constructie in één logisch geschakelde serie berekeningen beschouwd kunnen worden. Dus vanaf het gedrag van de constructie als geheel (macro-responsie-analyse) tot en met het gedrag van details (micro-respon-

sie-analyse) met alle mogelijke gradaties daartussenin. Een consequentie is dan wel dat elk (deel)model z6 opgezet moet worden dat er, zonder veel extra werk, de logische grenzen voor het eerstvolgende deelmodel in te vinden zijn, met voldoende randvoorwaarden daarvoor. Vooraf grondig d6ordenken van het hele proces binnen het kader van de doelstellingen van de responsie-analyse is dan ook een eerste vereiste. Uiteraard zal toch niet te voorkomen zijn dat het soms nodig is een model te wijzigen omdat er zich onvoorziene verschijnselen voordoen bij de resultaten van een deelanalyse.

Toepassing van ASKA in het laboratorium

Elders in dit boekje is al vermeld dat de problematiek van de draagkracht in grote mate beheerst wordt door vermoeiingsverschijnselen, die zich voordoen in de constructiedetails en met name in de knooppunten van (elkaar kruisende) verstijvingen. Het ligt daarom voor de hand dat de sectie ASKA van de vakgroep Sterkte en Trillingen zich is gaan bezighouden met de modellering van details, met als doel een goed inzicht te krijgen omtrent de responsie op standaardbelastingen van deze constructiedelen. Immers een statische spannings- of vervormingsverdeling kan een duidelijke indicatie geven over mogelijk optreden van vermoeiingsverschijnselen. Zo'n indicatie is van belang bij het beoordelen van een nieuw ontwerp, maar ook bij het kiezen van de gunstigste plaatsen voor rekopnemers bij experimenteel werk.

Een van de eerste berekeningen betrof een deel van een dubbele bodemconstructie die in een van de opstellingen te zien is als "diepe drager", waar ook een aantal resultaten is gepresenteerd.

Het doel van de analyse was om de hartplaatspanningen in het lijf van de drager te bepalen, gegeven de belastingen op het proefstuk.

Geometrisch werd het model vereenvoudigd tot een 2-dimensionaal model opgebouwd uit QUAM8, TRIM6 en FLA3 elementen, de relevante geometrische eigenschappen werden hierdoor niet of niet noemenswaardig veranderd. De fysische eigenschappen leverden geen problemen op en een onderverdeling van het model was niet nodig omdat het gekozen, eenvoudige, netwerk voldoende mogelijkheden bood om een detailanalyse van 66n van de spoelgaten uit te voeren met een of meer verfijnde netwerken. De kleine excentriciteit van de aangrijpende geconcentreerde belastingen werd verwaarloosd omdat die geen invloed uitoefende op de gezochte hartplaatspanningen.

De ondersteuning van het model werd volledig geidealiseerd tot een (rol)oplegging terwijl het proefstuk een (glij)oplegging had (om praktische redenen).

Een project dat thans onderhanden is, is gegrond op de volgende overwegingen:

- 1) het gebruik van asymmetrische profielen als plaatverstijvingen komt nog steeds veelvuldig voor, met als gevolg excentrische ligging van de neutrale lijn;
- 2) bij knooppunten vindt een herverdeling van materiaal plaats, waardoor de positie van de neutrale lijnen verandert.

Consequenties zijn een asymmetrisch gedrag van de verstijver-plaat-combinatie en buigingsverschijnselen die bij het knooppunt plaatselijk zeer groot kunnen zijn, zelfs onder eenvoudige belastingen zoals trek of druk.

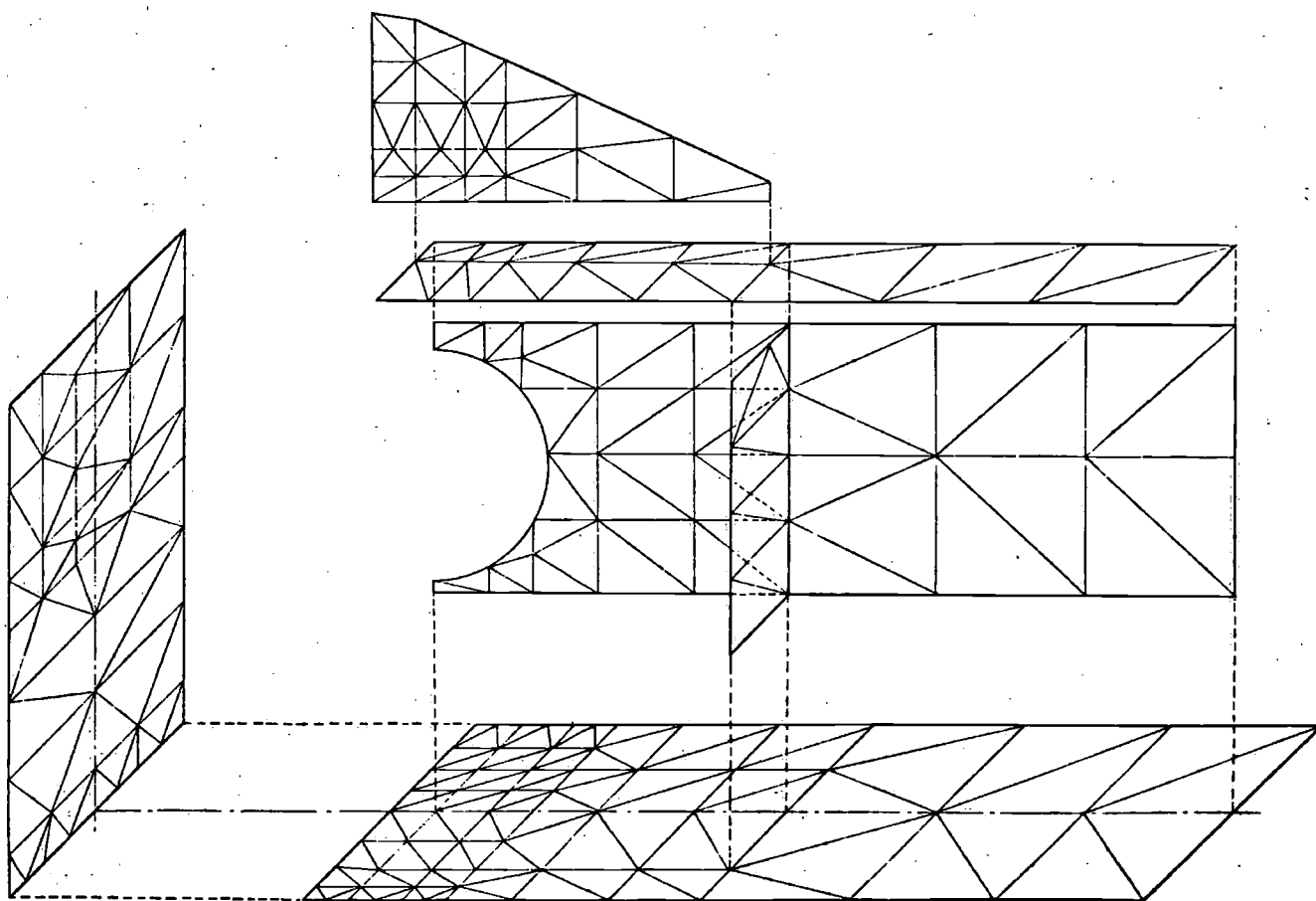
Vooraf het belang van de plaatselijke buiging wordt nog algemeen onderschat en om hier toch nog eens de aandacht op te vestigen is een langsspant van het type A-2 gemodelleerd met TRIB3 elementen.

Dit element heeft zijn bezwaren, maar het is het enige vlakke plaalement in het ASKA-pakket dat belastingen in en loodrecht op zijn vlak verdraagt.

Een model van het langsspant met de elementenverdeling is te zien in een van de opstellingen in het laboratorium.

Voor de berekeningen zijn dezelfde randvoorwaarden gebruikt als bij de experimenten op ware grootte, waarover omstandig gerapporteerd is.

De eerste berekeningsresultaten wijzen op zeer hoge, zeer locale buigspanningen op het punt waar knie en einde flens samenkomen en daar waar het lijf van het spant eindigt op de bodembeplating.



Langspantmodel met TRIB3
(vergelijk met model in opstelling)

ONDERWIJS EN ONDERZOEK

In de paragraaf "Het onderwijs in het ontwerpen van scheepsconstructies" zijn de voornaamste aspecten belicht, die in het betreffende onderwijsprogramma onontbeerlijk geacht worden.

Misschien ten overvloede wordt hierbij vermeld, dat het het streven van de Vakgroep is om de resultaten van eigen onderzoek (en onderzoek van anderen) in het onderwijs te betrekken, zodra dit nodig wordt geoordeeld.

TER AFSLUITING VAN DEEL II

De Vakgroep acht het niet juist om een zo breed mogelijk spectrum van onderzoekprojecten te omvatten. De noodzaak van onderzoek van bepaalde aspecten spruit voort uit naar voren tredend gebrek aan kennis omtrent die aspecten. Internationaal wordt dit onderzoek gecoördineerd door het I.S.S.C. (International Ship Structures Congress), dat om de drie jaar in een voltallige zitting de ontwikkelingen ter tafel brengt.

bijlagen

Stand 17. KORTE BESCHRIJVING VAN DE SCHROEFASOPSTELLING IN HET
LABORATORIUM VOOR SCHEEPSCONSTRUCTIES

De scheepsromp veroorzaakt een verstoring van de aanstroming van de schroefschroef, waardoor de schroef in dwarscheepse richting veranderlijke krachten op het aseinde uitoefent, die de as en het schip doen trillen.

Door resonantie kunnen de krachten die de as via de lagers op de romp uitoefent aanzienlijk versterkt worden, hetgeen in de eerste plaats kan leiden tot beschadigingen van as en lageronderdelen en in de tweede plaats het trillingsverschijnsel tot een onaanvaardbaar niveau kan verhogen.

Het is noodzakelijk voor een goed scheepsontwerp om het trillingsgedrag van de schroefas-installatie te kennen. Grootheden die van belang zijn om een berekening te maken van dit trillingsgedrag zijn naast de mechanische grootheden zoals schroefmassa en massastraagheidsmoment, astijfheid en lagerstijfheden ook de hydrodynamische grootheden toegevoegde massa, demping en stijfheid van de schroef in 4 richtingen, de 42 zogenaamde schroefcoëfficiënten. (Deze coëfficiënten zijn niet betrokken bij dit onderzoek).

De statische belasting van de schroefaslagers is van invloed op de elasticiteit van de smeerfilm, dit wil zeggen dat de uitlijnconditie van de statisch overbepaald ondersteunde as via de lagerbelastingen van invloed is op het te onderzoeken trillingsgedrag. Ook de elasticiteit van de scheepsrompconstructie speelt hierbij een rol, die nog vergroot wordt doordat de scheepsromp aan vervormingen onderhevig is wanneer het schip in golvend water vaart.

Het controleren en het verbeteren van berekeningsmethoden door middel van een meting aan ware grootte schepen wordt door de genoemde complicaties ernstig bemoeilijkt. Dit is de aanleiding om het experimentele onderzoek te doen plaatsvinden aan een schroefasopstelling in het laboratorium, waarbij al of niet de genoemde veranderlijke uitlijnconditie onder controle kan worden aangebracht.

In het Laboratorium voor Scheepsconstructies bevindt zich een deel van de voortstuwingsinstallatie van ex. Hr. Ms. onderzeebootjager "Noord Brabant", beschikbaar gesteld door de Koninklijke Marine, en wel de 3-blādige schroef, de schroefas en de lagers. De ondersteuning van de lagers en de elektrische aandrijving is door het laboratorium verzorgd. Het in trilling brengen van de schroefas vindt plaats door in dwarsrichting stoten op de as uit te oefenen of door middel van electromagnetische excitatie.

De verplaatsingen tengevolge van de excitatie, die ook als deeltuitkomst uit de berekening volgen, worden gemeten met behulp van versnellings- of snelheidsopnemers. Vergelijking van meting en berekening geeft een indruk over de juistheid van de berekeningsmethode. In een toekomstig onderzoek zal ook de veranderlijke uitlijnconditie van de schroefas betrokken worden, terwijl de elasticiteit van de scheepsromp dan ook kan worden nagebootst.

Nadere informatie: Prof. Dr. Ir. R. Wereldsma, tel. (015-78)4538,
Ing. H. Boersma, tel. (015-78)6869.

Stand 3.

VERGELIJKEND STERKTE ONDERZOEK

Lange tijd werd voor schepen het normale scheepsbouwstaal St.42 (thans Fe 410) gebruikt. De code St. 42 geeft de grens aan, waarboven het staal scheurt of breekt wanneer het statisch wordt belast. Op ongeveer tweederde van deze breukbelasting ontstaat een plastische of blijvende vervorming; de daarbij behorende spanning noemt men de vloeigrens.

Door het varen in de golven wordt een schip evenwel niet statisch belast maar wisselend of dynamisch, waarbij dek en bodem beurtelings aan trek en druk worden onderworpen.

Afhankelijk van de beladingstoestand blijkt daarnaast ook de middelwaarde van de wisselende belasting nog te variëren van reis tot reis.

Hierdoor gaan scheepsconstructies bij aanmerkelijk lagere belasting kapot dan bij de statische belasting, of zelfs de vloeigrens. Men noemt dit verschijnsel vermoeiing.

Daarnaast blijkt een gelaste constructie sneller of bij lagere belastingen kapot te gaan dan aan de hand van eenvoudige materiaalproefjes zou worden verwacht. Vermoeiingsonderzoek is dan ook al geruime tijd een belangrijk aspect van het onderzoekprogramma van het laboratorium, waarbij zonodig constructies op ware grootte worden beproefd.

Toen schepen groter werden en ook de krachten er op toenamen, ontstond een vraag naar staalsoorten met grotere treksterkte. Immers, hogere treksterkte betekent minder materiaal, minder arbeidstijd, lager gewicht en tenslotte een goedkoper schip. In de scheepsbouw leidde dit tot een snel toenemend gebruik van St. 52 (thans Fe 510), waarvan de vloeigrens ca. 40% hoger ligt dan van St. 42. Dit laatste houdt niet in, dat ook de vermoeiingssterkte zoveel hoger ligt. Dit geldt met name voor gelaste verbindingen. Onderzoek hiernaar is daarom noodzakelijk.

Hoofdaspecten van het onderzoek

Mede door haar ervaring met onderzoek aan grote gelaste constructies werd ter verkrijging van de nodige duidelijkheid het Laboratorium voor Scheepsconstructies door een vijftal Europese scheepsstudiecentra de coördinatie en leiding toevertrouwd van een omvangrijk onderzoek, waaraan werd deelgenomen door research-instituten uit België, Duitsland, Frankrijk en Italië.

De vraagstelling was in feite drievoudig:

1. Hoeveel is St. 52 sterker dan St. 42 in geval van vermoeiing?
2. Kan het gedrag van grote gelaste staalconstructies ook worden voorspeld met behulp van goedkopere proeven met kleine eenvoudige proefstukken?
3. Is beproeving onder de veelal gebruikte wisselbelasting met constante belastingsamplitude voldoende maatgevend voor het gedrag onder de werkelijke en steeds veranderende praktijkbelasting?

De achtergrond van de eerste vraag is in het voorgaande beschreven.

Uitgaande van eerder onderzoek aan doorvoeringen van bodemlangsspanen door dwars-schotten op ware grootte van St. 42 werden thans gelijkvormige proefstukken van St. 52 vervaardigd.

Deze grote proefstukken zijn zowel in aanmaak als in hun beproeving bijzonder kostbaar. Daarom werd besloten om met enkele series vereenvoudigde en goedkopere

proefstukken van kleinere afmetingen de belangrijkste knelpunten in de grote constructies op schaal af te zonderen en voor beide staalsoorten apart te bekijken. Daarnaast werden nog enkele series ongelaste proefstaven onderzocht, waarin machinaal kerfjes waren aangebracht.

In overeenstemming met voorgaande onderzoeken zijn de proeven grotendeels uitgevoerd onder belastingen met een constante belastingsamplitude. Deze pakketten verschilden onderling in de grootte van hun constante belastingsamplitude, de middelwaarde van de belasting en het (overigens beperkte) aantal belastingswisselingen in het pakket.

Resultaten en conclusies

Een vergelijking van beide staalsoorten bleek afhankelijk te zijn van de proefstukvorm. Zo bleek het St. 52 geen voordeel te bieden bij de kleine gelaste proefstukken, een klein voordeel bij de grote gelaste constructies en een groter voordeel bij de eenvoudige ongelaste proefstaven.

Gedeeltelijk kunnen de verschillen wel worden verklaard, b.v. uit de aanwezigheid van lasspanningen. Een aanvullend onderzoek kan hierover meer informatie geven doch is niet urgent.

In het algemeen kan worden gesteld, dat St. 52 een betere vermoeiingssterkte heeft dan St. 42, zij het lang niet in dezelfde mate als onder statische belasting. De voordelen van St. 52 worden groter naarmate het niveau of de middelwaarde-spanning hoger ligt, alsook naarmate de belastingsamplitude toeneemt.

Bij de vergelijking van de grote gelaste constructies met eenvoudigere proefstukken is onderscheid gemaakt tussen het ontstaan van vermoeiingsscheuren en de snelheid waarmee de scheuren groeien. De groeisnelheid in mm per belastingswisseling is afhankelijk van de ter plaatse van de scheur aanwezige spanning en spanningsconcentratie. Door een zorgvuldige analyse van de proefresultaten en een juiste toepassing van bestaande berekeningsmethoden op complexe constructies was het mogelijk om een goede overeenkomst in de resultaten te vinden.

Verder modelonderzoek gecombineerd met eindige elementen berekeningen in het vlak van de breukmechanica worden wenselijk geacht.

Uit de proeven met programmabelasting kwam naar voren, dat vooral veranderingen van spanningsniveau en amplitude gedurende de proef grote invloed hebben op het vermoeiingsgedrag van materiaal en constructie. Op dit punt gaf overigens St. 52 beduidend betere resultaten dan St. 42.

Oorspronkelijk door beperkingen in de beschikbare apparatuur en later door de noodzaak om te kunnen vergelijken met voorgaand onderzoek zijn de meeste resultaten helaas gebaseerd op vermoeiingsonderzoek met belastingen van constant niveau en amplitude. Dit verschilt sterk van de toestand in de praktijk, waar zowel amplitude als niveau continu aan verandering onderhevig zijn.

De spectaculaire resultaten van het onderzoek met de tot nu toe gebruikte eenvoudige belastingsprogramma's hebben geleid tot de aanschaf van een moderne machine, waarmee de invloed van de veranderlijke praktijkbelasting op het gedrag van constructies nader kan worden bestudeerd.

Voor nadere informatie: Prof. Ir. J.J.W. Nibbering (015-78)5056

Ir. H.G. Scholte (015-78)1529

Stands 6, 15 en 16. ONDERZOEK MET BETREKKING TOT HET GEVAAR VAN
BROSSE BREUK IN SCHEPEN EN OFFSHORE CONSTRUCTIES

Problematiek

Het geringe aantal brosse breuken in schepen sedert een 15-tal jaren heeft bij velen de mening doen postvatten dat het probleem overwonnen was of in elk geval onder controle. Wat minder beseft wordt, is dat deze gunstige situatie ten koste van grote economische offers is bereikt. Het is de moeite waard om te bekijken of bepaalde offers gerechtvaardigd waren of niet, met andere woorden of zij wel het beoogde effect hadden.

Enkele voorbeelden mogen dit verduidelijken.

a. De waarde van niet-destructief onderzoek

Voor het ontstaan van een brosse breuk zijn uit fabricagetechnisch oogpunt twee omstandigheden noodzakelijk:

1e. er moet een defect zijn;

2e. het materiaal in de directe omgeving van het defect moet van slechte kwaliteit zijn. Dit kan door lassen of branden worden veroorzaakt.

In normale omstandigheden blijft van de oorspronkelijke plaatkwaliteit ook na het lassen voldoende over om gevaar voor ontstaan van een brosse breuk uit te sluiten.

In principe zou men dan uit een oogpunt van brosse breuk het niet-destructief onderzoek (Röntgen, ultra-son) kunnen beperken en aldus op kosten kunnen besparen. In de praktijk betekent dit dat het N.D.-onderzoek meer de functie zou krijgen van handhaven van een redelijk niveau van het werk, dan van waarborgen van een bepaalde veiligheid. Verder zou het vanzelfsprekend het ontstaan van vermoeiingsscheuren helpen voorkomen.

b. De betrouwbaarheid van Charpy-kerfslagproeven

Het plaatmateriaal moet afhankelijk van de plaats waar het zich in het schip bevindt aan bepaalde kerfslageisen voldoen. De klassebureaus mikken hier kennelijk nog steeds op twee doelen. Immers men hoopt o.a. te bereiken dat een eventueel brosse breukje, ontstaan in een laszone, buiten die zone zal stoppen. Daarnaast hoopt men een dusdanig hoge plaatkwaliteit te krijgen, dat hiervan na lassen of branden voldoende overblijft om gevrijwaard te zijn tegen het eventueel ontstaan van een brosse breuk.

In beide gevallen kan men bekocht uitkomen. Experimenten in de 1000-tons bank van het Laboratorium voor Scheepsconstructies met grote proefstukken hebben uitgewezen dat waarden van bijv. 50 Nm/cm² Charpy-energie geen garantie geven dat een brosse breuk bij de betrokken temperatuur stopt. In 34 mm dik plaatmateriaal - met 80 Nm/cm² Charpy-energie bij -80°C - kon een brosse breuk pas bij -20°C tot stoppen komen!

Wat het tweede aspect betreft, uit dezelfde onderzoekingen is gebleken dat een hoge uitgangskwaliteit door lassen met hoge warmtetoever (electrogas, electroslak) volledig kan worden tenietgedaan. Er ontstaat een slechts enkele mm's brede, grofkorrelige overgangszone, waarin een brosse breuk vanuit een defect of een vermoeiingsscheur kan ontstaan. Een extra ongunstige omstandigheid is dat dergelijke breuken geen neiging vertonen om die smalle zone te verlaten om eventueel in het gezonde naastliggende plaatmetaal te stoppen. Dit verschijnsel is nieuw. Normaal verlaten in schepen brosse breuken de laszone onder invloed van de lasspanningen.

Voor de scheepsbouwers betekenen deze brosse breuk aspecten van lassen met hoge warmtetoevoer een ernstige handicap bij hun streven naar snel en goedkoop bouwen van maritieme constructies. Het gaat hierbij niet alleen om de verticale processen in gebruik op de helling of in het bouwdok als electrogas- en electroslak-lassen en lassen met meesmeltend mondstuk (M.M.S.). Ook bij het onder poeder lassen (O.P.) op de lasstraat zou een beperking van het aantal lagen bijzonder welkom zijn. In de volgende paragraaf wordt aangegeven welke onderzoeken worden gedaan om:

- 1e. de grote economische voordelen van lassen met hoge warmtetoevoer te behouden zonder de veiligheid van schepen en offshore constructies te bedreigen;
- 2e. op welke wijze men een betere indruk van het gevaar van brosse breuk kan krijgen dan met behulp van de klassieke Charpy-kerfslagproef. Dit geldt zowel voor het ontstaán van breuken in grofkorrelige zones als het voortplanten buiten die zones.

Bij het tweede aspect (stoppen van breuken) moet ook gedacht worden aan gas-tankers.

c. Spanningsvrij gloeien en lokaal gloeien

Bovengenoemde zaken zijn voor scheepsbouw en offshore industrie van even groot belang. Een probleem dat vooral in de offshore-wereld speelt, is de wenselijkheid of noodzaak van spanningsvrij gloeien van knooppuntconstructies ter verkleining van het gevaar van brosse breuk. Dit wordt vereist in geval van plaatdikten groter dan 38 mm.

Spanningsvrij gloeien verkleint in het algemeen de kans op het ontstaan van een brosse breuk, niet in het minst doordat naast het reduceren van de lasspanningen tevens de metaalstructuur kan worden verbeterd. Anderzijds houdt het elimineren van lasspanningen in dat als toch ooit een brosse breuk ontstaat, deze niet gemakkelijk kan stoppen omdat hij zich waarschijnlijk in de laszone zal voortplanten. Er zijn immers geen residuele spanningen die dit beletten.

Het spanningsvrij gloeien is een dure aangelegenheid. Men tracht het zoveel mogelijk te vermijden door zó te construeren dat platen dikker dan 38 mm niet in de constructie voorkomen. Dit kan men bereiken door staal van hogere sterkte toe te passen. In hoeverre men daarmee werkelijk de veiligheid dient, is moeilijk aan te geven. Anderzijds is het niet onwaarschijnlijk dat het spanningsvrij gloeien bij wat grotere dikten dan 38 mm best achterwege gelaten kan worden.

Spanningsvrij gloeien heeft in het algemeen weinig effect op de kerftaaiheid van grofkorrelige zones in geval van lassen met hoge warmtetoevoer. Hiervoor is normaal gloeien (950°C) vereist of eventueel gloeien op 750°C . Beide komen voor offshore constructies niet in aanmerking vanwege de hoge kosten.

Een veelbelovend alternatief is lokaal gloeien met behulp van autogene branders.

Vorbereidende proeven in het Laboratorium voor Scheepsconstructies te Delft hebben uitgewezen dat met autogeen gloeien de gewenste temperaturen voldoende diep (in een richting loodrecht op het plaatoppervlak) zijn te verwezenlijken.

d. Moderne afname-proeven

In fig. 1 zijn de voor- en nadelen van de Charpy-proef samengevat.

De nadelen zijn grotendeels afwezig bij z.g. statische C.O.D.*-proeven en bij Niblink valgewichtproeven (fig. 2).

Het belangrijkste verschil tussen de statische C.O.D.-proef en de Niblink-proef zit in de belasting. Stootbelastingen komen in de praktijk vooral voor

* C.O.D. = crack opening displacement.

in de vorm van onregelmatigheden en ongelukken (botsingen, vallen van lasten door breuk van hijsogen e.d., explosies, ruw sluiten van grote openingen).

Daarnaast kunnen in een constructie schokken optreden door interne oorzaken.

Ze zijn meestal nauwelijks merkbaar. Toch is een lichte schok in de onmiddellijke nabijheid van een scheur dikwijls gevaarlijker dan een zware schok op ruime afstand.

De C.O.D.-proeven zijn meestal voldoende betrouwbaar. De Niblink-proef is mede bedoeld voor de gevallen dat aan de Charpy-eisen niet kan worden voldaan en men via een meer realistische proef het brosse breuk gevaar wil beoordelen. Een uitstekend compromis tussen C.O.D. en Niblink wordt gevormd door de in het Laboratorium voor Scheepsconstructies ontwikkelde methode van vermoeien bij lage temperatuur (fig. 3).

In stands 6 en 15 wordt momenteel een bepaald aspect van bovenstaande problematiek behandeld en wel de relatieve invloed van scheurscherpte en vermoeiingsschade aan de scheurtip op het brosse breuk gedrag.

Een groot bezwaar van zowel C.O.D.- als Niblink-proeven is dat in feite niet meer dan enkele mm^3 's materiaal beproefd worden van een proefstuk dat vele cm^3 's metaal bevat. Wil men een nauwkeurige, d.w.z. statistisch verantwoorde, interpretatie van de proefresultaten geven, dan is een groot aantal proefstukken vereist. Dit geldt in het bijzonder voor met de hand gelaste proefstukken, waar van plaats tot plaats grote verschillen in breuktaaiheid kunnen voorkomen. Aan dit bezwaar wordt tegemoetgekomen door vermoeien bij lage temperatuur. Deze methode, die ontwikkeld is in het Laboratorium voor Scheepsconstructies van de T.H. Delft, heeft nog meer voordelen, die in fig. 3 zijn samengebracht. Het afgebeelde breukvlak vereist enige toelichting. Het gebruikte proefstuk was van het onder fig. 3-4 getekende type; 34 mm plaat van St. 52 met Nb, electrogas gelast. De beginkerf lag in de overgangszone op 1 mm van de smeltlijn. Tijdens het vermoeien bij -20°C ontwikkelde zich eerst een vermoeiingsscheurtje van enkele mm's lengte. Daarna ontstond een bros breukje dat onmiddellijk stopte, waarna het materiaal weer verder scheurde door vermoeiing tot een tweede bros breukje ontstond enz. Aanvankelijk werd gedacht dat de brosse stapjes optraden als gevolg van grote verschillen in breuktaaiheid van het materiaal op verschillende plaatsen langs de smeltlijn. Dezelfde proef is daarna gedaan met een ongelaste plaat van St. 52 Nb die 2 uur lang op 1300°C gegloeid was. Weer ontstonden tijdens vermoeien brosse stapjes. De lengte ervan kwam goed overeen met de berekende diepte van de plastische zones aan de tip van de scheur. Kennelijk ging de kwaliteit van het materiaal in die plastische zones door het afwisselend rekken en krimpen tijdens vermoeien zo sterk achteruit, dat bij de proeftemperatuur een bros breukje kon ontstaan. Het materiaal buiten die zones bleek dan nog voldoende kerftaai te zijn om die kleine breukjes tot stoppen te dwingen. Anders gezegd, de proeftemperatuur lag (net) boven de Nil Ductility Temperature van het materiaal in de overgangszone bij de smeltlijn. Men moet de brosse stapjes dus niet zien als aanwijzingen voor het feit dat de verbinding bij de proeftemperatuur niet voldoende veilig is. Voor constructies die hoogbelast worden en waarvoor breuk een catastrofe betekent, zal men natuurlijk een extra veiligheidsmarge verlangen. Het criterium is dan dat het oppervlak tot op ca. 15 mm van de kerftip uitsluitend uit een vermoeiingsscheur mag bestaan. (Bij de in het Lab. voor Scheepsconstructies gebruikte proefstukmaten en belastingen wordt bij die scheurlengte de restdoorsnede volledig plastisch).

Overigens is voor dat soort constructies het gebruik van scheurstoppend staal een eerste vereiste.


Nadere informatie: Prof.Ir. J.J.W. Nibbering, tel. (015-78)5056.

FIG.1 CHARPY-V

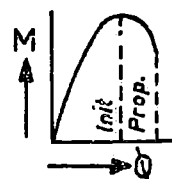
VOORDELEN

- GOEDKOOP -
- GOED INGEVOERD -
- VEEL ERVARING -
- EENVOUDIG -
- AFTASTEN MOGELIJK -
(SCREENING)

NADELEN

- NIET VOLLE PLAATDIKTE - } (spanningstoestand)
- ONSCHERPE KERF - } ("shearLip" grootte)
- PLAATS-INVLOED - 
- ENERGIE = SOM VOOR ONTSTAAN EN VOORTPLANTEN -
- PROEFRESULTAAT IS ENERGIE I.P.V. VERVORMING -
- SCHEUR PLANT ZICH VOORT IN ZWAAR VERVORMD MATERIAAL -
(DEELS GEREKT, DEELS SAMENGEPERST)

VOORTPLANTEN
ONTSTAAN



HOGE BELASTINGSSNELHEID

FIG.2 PROEVEN TER BEOORDELING VAN DE WEERSTAND TEGEN HET ONTSTAAN VAN SCHEUREN.

NADELEN V.D. CHARPY-PROEF OPGEHEVEN IN:

1. STATISCHE C.O.D.-PROEVEN

BEZWAAR: LAGE BELASTINGS-
(OF NIET?) SNELHEID.

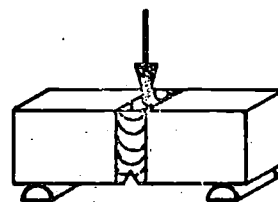
In de praktijk komen externe en interne schokachtige verschijnselen voor.

MAAR: HOE WAARSCHIJNLIJK?

2. DYNAMISCHE NIBLINK-PROEVEN

(valgewicht-belasting; hoogte wordt stapsgewijs vergroot)

(goedkope proefopstelling en C.O.D meting, die na iedere klap wordt gedaan).



3. DYNAMISCHE C.O.D.

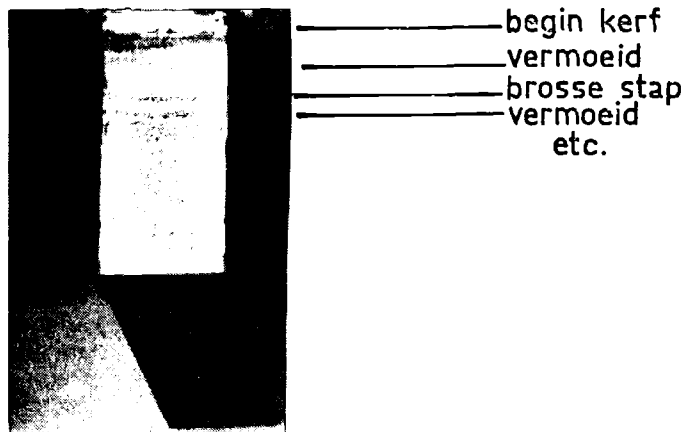
(dure uitrusting en C.O.D. registratie)

BASIS GEDACHTTE: 100% VOORKOMEN VAN ONTSTAAN VAN SCHEUREN IS BEREIKBAAR.

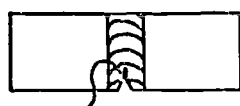
FIG.3 VERMOEIEEN BIJ LAGE TEMPERATUUR.

VOORDELEN:

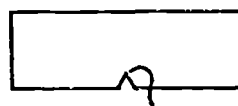
1. REALISTISCHE BELASTING, KERF(SCHEUR) EN VERBROSTE ZÔNE.
2. MOGELIJKHEID VAN DYNAMISCHE "POP-INS" (BRITTLE STEPS)



3. PROEF LEVERT DIRECT EEN CRITISCHE SCHEURLENGTE VOOR EEN BEPAALDE NOMINALE SPANNING WAARUIT $K_{cr} = \sigma_{nom} \cdot \sqrt{\pi \cdot a_{cr}}$ IS TE BEREKENEN.
4. TIJDENS SCHEURGROEI WORDT GROOT DEEL VAN PROEFSECTIE "AFGETAST".



duizenden initiatie punten.



C.O.D. NIBLINK

één initiatie punt

(scheur "vindt" zwakste plaats).

5. DE BROSSSE BREUKJES DIE ONTSTAAN IN DE VERBROSTE PLASTISCHE ZONE EN BIJ HET VERLATEN VAN DIE ZÔNE STOPPEN; GEVEN EEN GOEDE INDICATIE VAN DE N.D.T. (NIL-DUCTILITY-TEMPERATURE).
6. GEEN C.O.D. METINGEN NODIG NOCH CORRECTIES I.V.M. ONZEKERHEID T.A.V. DE PLAATS VAN HET DRAAIPUNT.

Stand 13.

CENTRALE STAND

VERMOEING - CORROSIEVERMOEING

Waarom vermoeiingsonderzoek in de scheepsbouw?

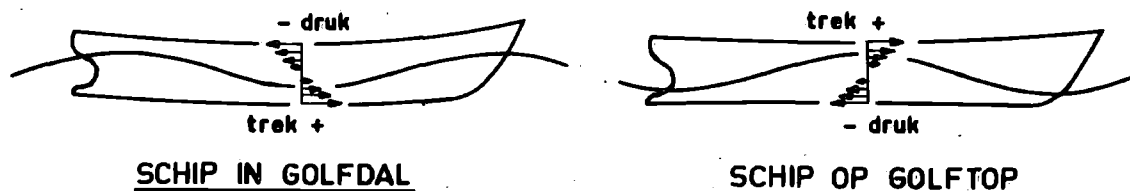
Door op een proefstaafje langzaam een steeds grotere kracht uit te oefenen en daarbij de belasting en de vervorming te meten, kan men op eenvoudige wijze bepalen bij welke belasting of spanning het materiaal blijvend zal vervormen en bij welke spanning het materiaal zal scheuren of breken. Daarmee heeft men dan de vloeigrens en de trek- of breuksterkte vastgesteld.

Wanneer echter het materiaal over langere tijd aan een wisselende belasting wordt onderworpen, dan blijkt hetzelfde materiaal al bij een veel lagere spanning kapot te gaan. Dit verschijnsel nu noemt men vermoeiing; het materiaal lijkt zijn sterkte te verliezen.

Door vermoeiing ontstaat een kleine scheur die steeds sneller gaat groeien en uiteindelijk een soms plotselinge breuk veroorzaakt. Het verraderlijke is, dat zoiets zelden tijdig van buitenaf zichtbaar is.

Het belang van de nodige kennis in deze voor de scheepsbouw wordt duidelijk als men bedenkt dat het schip bij het varen in de golven beurtelings in een golfdal omlaag en op een golftop omhoog wordt gebogen. Dit gebeurt enkele malen per minuut en ongeveer een honderdmiljoen keer tijdens de gemiddelde levensduur van een schip.

Hieruit volgt ook dat vermoeiingsonderzoek zelf de nodige tijd vraagt.



Vermoeiingsonderzoek in het Laboratorium voor Scheepsconstructies

Het vermoeiingsonderzoek dat in het laboratorium wordt uitgevoerd, heeft voornamelijk betrekking op de staalsoorten St. 42 en St. 52, welke veel in de scheepsbouw en in de "offshore" worden gebruikt. Het doel is tweeledig en wel het verkrijgen van betrouwbare informatie over het gedrag van materiaal en constructies onder vermoeiing, alsmede het verbeteren en ontwikkelen van berekeningsmethoden om het gedrag in de praktijk van nieuwe en ingewikkelde constructies voldoende betrouwbaar te kunnen voorspellen.

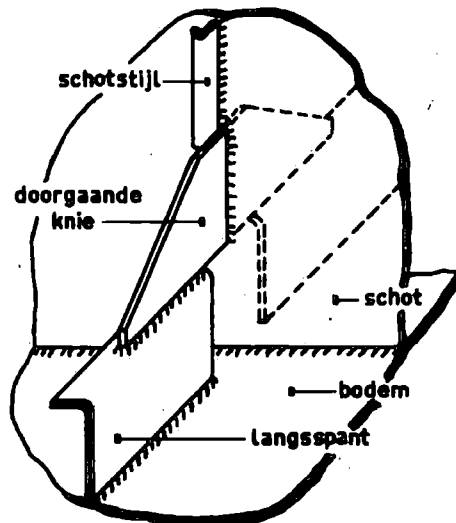
Het laboratorium heeft niet alleen veel onderzoek verricht, doch ook internationaal een vooraanstaande plaats ingenomen op de gebieden van vermoeiing en brosse breuk, in het bijzonder van gelaste constructies. Op de belangrijkste onderzoeken zal hierna in het kort worden ingegaan.

A. Langsscheepse sterkte onder wisselende belasting

De belasting in golven wordt vooral opgenomen door dek en bodem van het schip. Mede daarom wordt de bodem dan ook voorzien van versterkingsprofielen of spanten. Waar ook hier vermoeiing op kan treden, is het laboratorium ge-

ruime tijd geleden begonnen met een onderzoek naar de doorvoering van een langspant door een waterdicht dwarsschot. De proefstukken waren op ware grootte en gemaakt van het meest gebruikte St. 42. Ook het gevaar van een plotselinge brosse breuk, al of niet onder invloed van een schokbelasting, werd daarbij onderzocht tot temperaturen van ca. -40°C .

In een later stadium is ook de sterkte van constructies uit St. 52 onderzocht, terwijl tenslotte middels een modelfamilie is beproefd om met behulp van de resultaten van kleine en vereenvoudigde proefstukken het gedrag van grote en ingewikkelde proefstukken te kunnen voorspellen. (Zie voor verdere informatie stand 3).



B. Invloed van produktiemethode op vermoeiing

Het schip is samengesteld uit een groot aantal kleinere constructiedelen die in de juiste afmetingen uit een grote staalplaat worden gebrand en vervolgens gelast.

Bij het uitbranden ontstaat een nogal ruwe en scherpe kant.

Voor een groot deel worden deze onderdelen met hun snijkant weer aan andere constructiedelen gelast. Er zijn echter ook gevallen dat de snijkant vrij blijft en wel krachten moet opnemen. De vraag is dan of veel tijd en geld moeten worden uitgegeven om deze snijkanten te bewerken en glad te schaven. Uit onderzoek samen met het Stevinlaboratorium en het laboratorium van de Nederlandse Spoorwegen is gebleken dat een ruwe snijkant weinig zwakker is dan een nabewerkte kant, mits tijdens het autogeen snijden snijfouten worden vermeden. Wat de invloed van het lassen op het materiaal betreft, wordt verwezen naar stand 24.

C. Corrosie-vermoeiing

Een van de meest recente ontwikkelingen is wel de zeer grote belangstelling voor vermoeiingsonderzoek in corrosief milieu (zeewater). Ook het laboratorium neemt hieraan deel in een samenwerkingsverband met andere laboratoria onder gedeeltelijke subsidie van de Europese Gemeenschap voor Kolen en Staal (E.G.K.S.). Via internationaal overleg wordt ernaar gestreefd om de diverse onderzoeken in binnen- en buitenland zo goed mogelijk op elkaar af te stemmen en dubbel werk te voorkomen.

De achtergrond van dit alles is de winning van olie en gas in de Noordzeebodern. De hiervoor benodigde platforms of "offshore-structures" hebben nog een aantal vraagpunten in het constructieve vlak, die bij schepen niet of

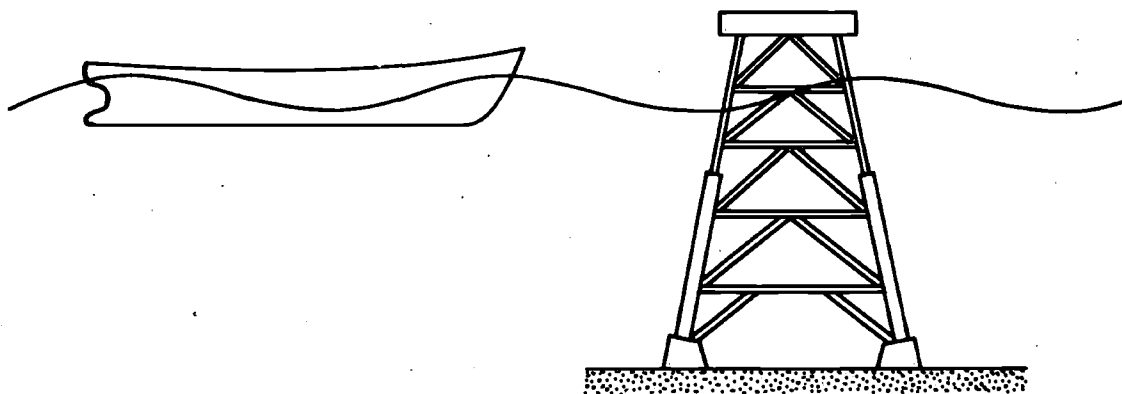
nauwelijks een rol spelen, zoals de directe blootstelling aan zeewater en het gebruik van extra dikke materialen.

Blootstelling aan zeewater heeft een negatieve invloed op de vermoeiingssterkte. Hieraan is in de scheepsbouw in het verleden niet al te veel aandacht besteed. Weliswaar is de gladde buitenkant van een schip wel constant in contact met zeewater, maar de constructiedetails met abrupte of discontinue overgangen, waar de grootste spanningen optreden, zitten allemaal aan de binnenkant van het schip en komen niet of in verhouding maar in geringe mate in aanraking met het zeewater. Bij de boorplatforms zitten deze constructiedetails veelal aan de buitenkant, waarbij wordt gedacht aan de veelheid van buisverbindingen.

Om verschillende redenen worden voor booreilanden materialen gebruikt van grotere dikte dan gebruikelijk in staalconstructies.

Er zijn echter aanwijzingen dat lasverbindingen van dikker materiaal zich anders gedragen in de praktijk dan constructies met meer gebruikelijke plaatdikten.

Aanvullend onderzoek in deze is dan ook noodzakelijk, waarbij het gewenst is om ook hier het onderzoek te verrichten aan proefstukken op ware grootte. (Zie voor verdere informatie stand 3).



Verdere informatie te verkrijgen bij:

Prof.Ir. J.J.W. Nibbering	- (015-78)5056;
Ir. H.G. Scholte	- (015-78)1529;
Ing. R. Vonk	- (015-78)5705;
B. van Triest	- (015-78)5705.

Stand 22.

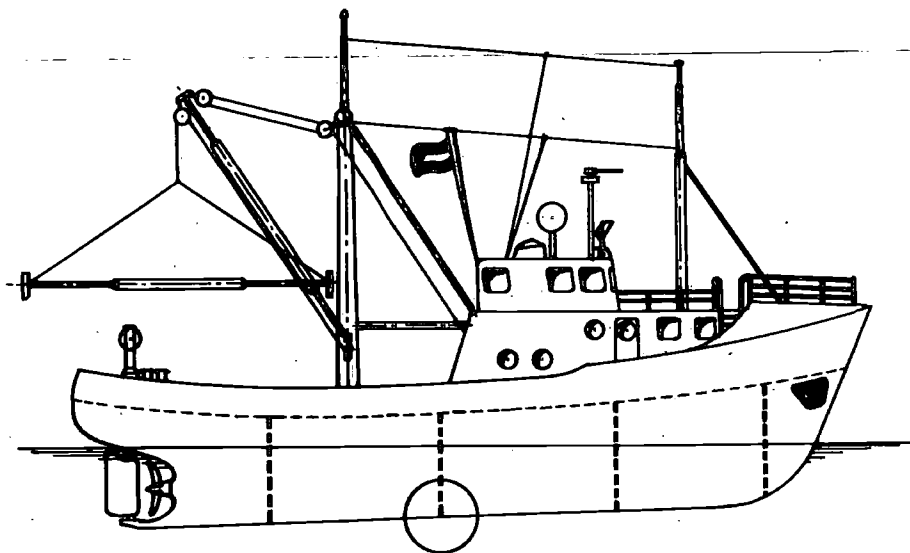
GEWAPENDE KUNSTSTOFFEN

Vanaf de tweede wereldoorlog is in snel tempo een toenemend gebruik te zien van allerlei plastics of kunststoffen. Dit is niet beperkt tot toepassing voor een veelheid van kleinere huishoudelijke artikelen, doch ook voor grotere constructies die dikwijls aan forse belastingen onderworpen worden.

Goed bekend is het gebruik van polyesterhars voor de bouw van kleinere vaartuigen zoals roeiboten en jachten. Om de nodige sterkte te verkrijgen wordt het polyesterhars versterkt met een wapening van dunne glasvezels. Men spreekt dan van glasvezelgewapend polyester of in het Engels van "glass reinforced polyester" (GRP).

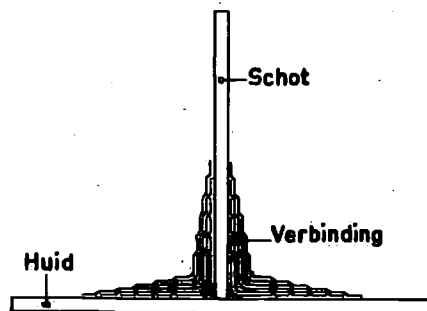
Bij de vervaardiging van een dergelijke constructie worden beurtelings een laag vloeibare hars en een wapeningslaag aangebracht. De wapening bestaat veelal uit strengen of een weefsel van zeer dunne glasvezels. Door uitharding van de hars wordt de wapening stevig ingebed net als bij een constructie van gewapend beton. De glasvezels zorgen daarbij vooral voor het krijgen van de vereiste treksterkte en buigsterkte, terwijl de hars voldoende druk op kan nemen en vooral de wapening op zijn plaats houdt.

Toen in de 60-er jaren het zich liet aanzien dat GRP wellicht gebruikt zou kunnen gaan worden voor de bouw van grotere schepen heeft ook het Laboratorium voor Scheepsconstructies dit materiaal in zijn onderzoekprogramma opgenomen. Waar de materiaalproduktanten hun onderzoek voornamelijk afstemmen op de materiaaleigenschappen en de verbetering daarvan, heeft het laboratorium vooral de aandacht gericht op de eigenschappen van het materiaal in platen van grotere afmetingen en diktes, zoals ze in werkelijkheid in grotere en zwaarbelaste constructies voorkomen. Daarbij is bijzondere aandacht geschonken aan de constructieve toepassingen en wel met name de verbinding van constructiedelen aan elkaar, zoals van schotten aan de huid.



VISKOTTER

In tegenstelling tot het werken met staal kunnen onderdelen niet door lassen met elkaar versmolten worden, maar worden ze eigenlijk aan elkaar gelijmd. Dit vraagt dan ook veelal een anders construeren dan in staal of hout, waarbij vooral ook de sterkte van de verbinding van groot belang is.



SCHOT-HUID VERBINDING

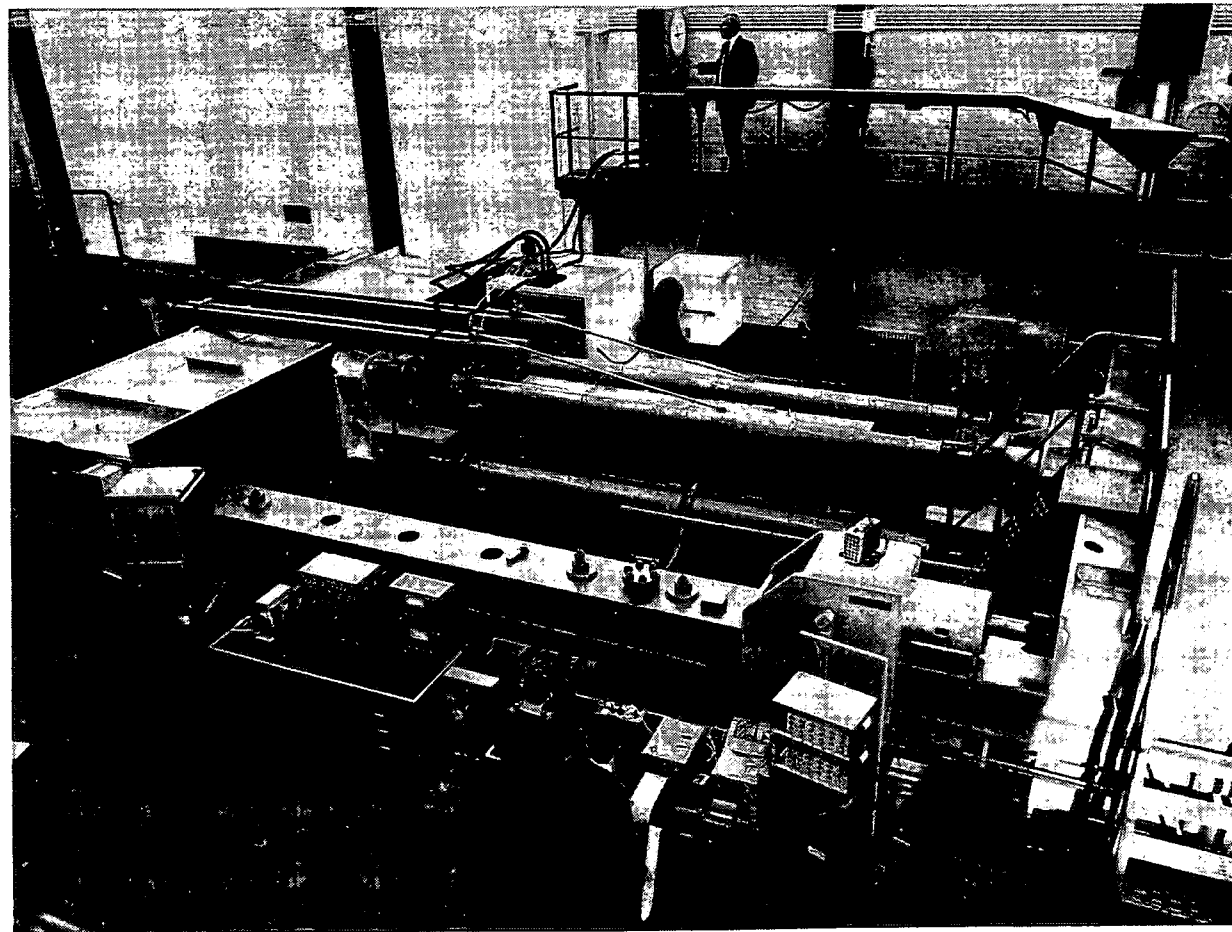
Bij de bouw van een schip is de verbinding van de loodrecht op elkaar staande plaatvelden mogelijk met vele verschillen in de details van voorbereiding en verbindingsmethode. Op dit punt is door het laboratorium een tamelijk omvangrijk onderzoek gestart om in eerste instantie de meest optimale verbinding vast te stellen. In enkele honderden proefstukken zijn ruim 10 verschillende parameters verwerkt met een veelvoud aan combinaties. Naast de sterkte van de proefstukken onder statische belasting worden de verschillende combinaties vooral onderzocht op hun vermoeiingssterkte ofwel hun weerstand tegen wisselende belasting over langere perioden. Gekeken wordt naar trek, druk, buiging onder sprongbelasting en onder wisselbelasting.

Toen in het begin van de 70-er jaren de belangstelling vanuit de praktijk voor de toepassing van GRP in de grotere schepen leek te verminderen heeft het laboratorium door de grotere urgentie met betrekking tot onderzoek op het gebied van de staalconstructies en mede onder de geleidelijk groeiende druk op de personele middelen, het onderzoek aan GRP vertraagd en zelfs tijdelijk stilgezet.

Door de beslissing van de Nederlandse, Belgische en Franse regeringen om een aantal mijnevegers van ca. 50 meter lengte in GRP te gaan bouwen is ook vanuit de praktijk de behoefte ontstaan om op korte termijn over meer informatie te kunnen beschikken inzake het gedrag van een kunststofconstructie onder vermoeiing. Op verzoek van de Nederlandse Marine is in het afgelopen jaar onderzoek verricht om althans op een deel van de vragen meer duidelijkheid te verkrijgen.

Of de gewapende kunststoffen werkelijk een rol van betekenis zullen kunnen spelen in de bouw van grotere zeegaande constructies is nog een niet te beantwoorden vraag. Een en ander zal in sterke mate afhangen van de ontwikkelingen op langere termijn inzake de winning van grondstoffen naast de ontwikkeling in de kostprijs van een produkt in relatie tot de gebruikte materialen.

Informatie: Ir. H.G. Scholte, tel. (015-78) 1529.



DE 1000 TONS / 1.10^7 N VERMOEILINGSMACHINE