

Prof. Ir. H. E. JAEGER

Over schepen en hun materialen

Een materialistische beschouwing

Over schepen en hun materialen

Een materialistische beschouwing

Afscheidscollege gehouden op 20 juni 1969
door

Prof. Ir. H. E. JAEGER

Hoogleraar in de Scheepsbouwkunde.
aan de Technische Hogeschool, Delft



UITGEVERIJ WALTMAN - HIPPOLYTUSBUURT 4 - DELFT

Rede 056

*Mijne Heren Curatoren,
Mijnheer de Rector Magnificus,
Dames en Heren,*

Velen van hen, die mij voorgingen op het nederwaarts gerichte pad van het „afcheid nemen” van het hoogleraarsambt, hebben, waarschijnlijk verleid door de gewaande hoogte waarop zij zich nog bevonden en die door deze nederwaartse gerichtheid geaccentueerd wordt, hun blik laten gaan over de tijdspanne verlopen tussen de intreedende en het afscheidscollege. Dit is een periode, die zich van zo'n hoogte gemakkelijk laat overzien. Sommigen hunner schetsen dan bij die gelegenheid hun eigen bevindingen gedurende dit tijdvak; anderen verwijlen meer bij de ontwikkeling van de hen opgedragen taak of dwalen verder af en spreken enkel over deze periode als zodanig en de invloed die de omgeving en de buitenwereld op hun werken en denken hebben gehad.

Het is te verklaren, dat dergelijke onderwerpen bij een plechtigheid als deze, tot thema gekozen worden. Zelf zou ik mij echter liever willen scharen bij diegenen, die bij die gelegenheid een zeker optimisme – of zo U wilt, gebrek aan inzicht – ten toon spreiden en net doen of ze geen mensen zijn met een, naar ik hoop, gunstig beoordeeld, verleden, doch oude lieden met een duidelijk bewustzijn voor de toekomst. Met andere woorden, ik zou het recente verleden laten voor wat het is en een duik willen nemen in het zeer verre verleden en dit vergelijken met de naaste toekomst, alles betrekking hebbende op het gebied van de materialen waarvan wij schepen bouwen. Ik wil dan ook spreken „Over schepen en hun materialen” en ik verontschuldig mij tegenover U deze „materialistische beschouwing” hedenmiddag te presenteren.

Het is de laatste jaren duidelijk geworden, dat de „explosieve schaalvergroting” van de afmetingen van schepen, speciaal van tankschepen, ook andere schaalvergrotingen met zich mee moest brengen, onder andere op het gebied der te bezigen materialen. Het is dan ook niet bevreemdend, dat ik, vanaf het ogenblik dat ik mijn leerstoel aan de T.H. in 1946 aanvaardde, een deel van mijn belangstelling gericht heb op het materiaalonderzoek.

En niet alleen op dit materiaalonderzoek, maar ook op het onderzoek van de verbindingsmogelijkheden dezer materialen en de constructies uit en met deze materialen geschapen.

De directe invloed van het materiaal op de constructie van het schip is al zeer, zeer oud. Toen men schepen van twijgen, riet en ossehuiden bouwde, waren de afmetingen der rondethans nog op de Tigris varende „Goffa's” zo ongeveer het maximum wat men daarmee kon bereiken. Deze rondboten worden wel als de oudste schepen beschouwd, na de boomstam en de uitgeholde boomstam, gebezigd als de mens drijfvermogen verschaffende objecten. Het merkwaardige is, dat bij de Goffa, in tegenstelling tot de boomstam, die altijd dreef omdat het soortelijk gewicht van het gebruikte materiaal kleiner was dan dat van water, we al te maken krijgen met gedeeltelijk op zichzelf niet drijvend materiaal, dat door het omsluiten van een hoeveelheid ruimte met waterdicht materiaal een zekere waterverplaatsing garandeerde. Deze schepen leefden door vormdeplacement.

Ik gebruik hier expres het woord „leefden”. Want schepen „leven” voor de mensheid, ook al vanaf de alleroudste tijden. De Duitsters, altijd enigszins sentimenteel, beweren dat schepen een „altijd durende droom van de mensheid” zijn. Vele oude volkeren verweefden godsdienst met schepen en spreken ons over godschepen, dodenschepen en geestenschepen als b.v. de „Vliegende Hollander”. We vinden deze dan ook telkens in allerlei verhalen en legenden terug. Uit het Oude Testament blijkt, dat wij allen, zoals wij hier zitten het leven danken aan een schip, de Arke Noachs, zij het dan dat scheepsbouwer NOACH en zijn zonen niet alleen dáárvor verantwoordelijk zijn en een zekere hoeveelheid geestrijk vocht, iets waar scheepvaarders heden ten dage gewoonlijk nog een zwak voor hebben, daarbij niet afwezig schijnt te zijn geweest. NOACH bouwde zijn ark, wel met zelfdrijvend materiaal, doch maakte onbewust, het schip zo groot, dat het wel degelijk zijn drijfvermogen voor het overgrote deel aan vormdeplacement moest ontlenen. Ik zeg hier „onbewust”, want het duurde tot circa 250 jaar voor Christus, eer de theoreticus ARCHIMEDES in zijn bad te Syracuse, buiten de golfses die hij met de hand maakte, ook de „brain wave” produceerde, die hem tot heden toe beroemd maakte als de opsteller van een wet, die zijn naam draagt en die geen uitzonderingen kent.

Inderdaad is hout vele eeuwen lang het bij uitstek gebruikte

materiaal geweest. In deze lange periode valt – dan zo tegen het einde – onze gouden eeuw, waarover ik nu een paar woorden wil zeggen; maar ik zal toch nog op de arke NOACHS terug komen.

U weet, dat we in die gouden eeuw niet zuinig oorlog gevoerd hebben en vooral de Engelse oorlogen gaven gelegenheid tot vechten ter zee, wat natuurlijk met schepen gebeurde. U kent waarschijnlijk allen het verhaal van MAARTEN HARPERTZON TROMP, die na de slag bij Dungeness (of Dover, zoals de Engelsen zeggen), een bezem in zijn mast voerde om te tonen hoe hij de zeeën van het Engelse gespuis gezuiverd had. Hij meende daarmee aan te duiden, dat hij zijn plicht gedaan had en dat hij zijn „straatje” netjes had schoongeveegd. Hij vergat echter daarna nog eens om te kijken. Als hij dat zou hebben gedaan, zou hij gezien hebben, dat niet alle Engelsen bij de pakken waren gaan neerzitten, maar de uitdaging beantwoordden door een zweep aan de toppen van hun scheepsmasten te binden om aan te tonen hoe zij ons weer uit het Kanaal zouden ranselen. De uitdrukking: „A whip for the Dutch” werd langzamerhand bij de Engelsen synoniem met „oorlogsschip” en zij maakten het ons in dit „straatje” van MAARTEN TROMP nog vele malen geducht lastig. Dit is overigens voor mij geen reden geweest om niet in de MAARTEN TROMPstraat te gaan wonen, zoals mijn vrienden en kennissen wel weten.

De zegswijze „A whip for the Dutch” bleek zelfs 20 jaar na TROMP's dood nog te bestaan en is onder andere de titel van het bekende schilderij van SEYMOUR LUCAS uit 1673, waarop te zien is hoe LORD SANDWICH, chef van de „Admiralty”, een model van het grootste oorlogsschip uit dien tijd bezichtigt en keurt. Deze schepen uit de tijd van de derde Engelse oorlog waren soms wel, soms niet tegen de Nederlandse schepen opgewassen, maar interessant is het te zien dat beide naties zich niet waagden aan nog grotere schepen.

„The whip for the Dutch” had een lengte van 78 m. Op een vraag (misschien gesteld door LORD SANDWICH), waarom niet een groter en dus zwaarder bewapend schip ontworpen was, was het antwoord dat men, wat het bouw materiaal betrof, aan de grens was waarbij men deze schepen zonder gevaar voor breuken kon bouwen. In die tijd moeten de grootste Nederlandse schepen een lengte gehad hebben van 77,50 m. Het verschil van 50 cm in lengte is waarschijnlijk toe te schrijven aan het feit, dat toen

het Nederlands Scheepsstudiecentrum T.N.O. nog niet bestond. Maar ik zie in de overeenstemming in lengte der toenmalige oorlogsschepen een bewijs, dat men met het houtmateriaal van die tijd en de zeer ver bestudeerde en onderzochte bouwwijze aan het eind van de zeventiende eeuw, aan een maximum lengte toe was gekomen.

Dit brengt mij even terug op NOACH's ark.

Als jong ingenieur heb ik het genoegen gehad enige maanden samen te mogen werken met DR. G. S. BAKER, directeur van de vroegere sleep-tank in Teddington. Hoewel hij veel ouder was dan ik, is er toch een zekere vertrouwelijkheid tussen ons ontstaan en zo vertelde BAKER mij eens dat hij uitgerekend had, lettende op de afmetingen der hem bekende en in de ark verstuwde dieren, hoe groot dit schip geweest moest zijn. Na moeizaam rekenen en na enige andere bronnen onderzocht te hebben, kwam hij tot de slotsom dat de lengte van de ark circa 160 à 170 m moet zijn geweest. Dit is in overeenstemming met het wat summiere scheepsbestek vermeld in Genesis 6 : 15, indien men er tenminste van uitgaat dat de Israëlitische ellen gebaseerd waren op het Engelse maatstelsel, iets waaraan trouwens geen Engelsman twijfelt.

Mijn eerbied voor de Bijbel en BAKER, die ik toen als mijn leermeester voelde, maakte dat ik hem blindelings geloofde. Uit wat ik net over de grootste oorlogsschepen der 17e eeuw betoogde, meen ik nu te moeten concluderen, uit sterkte- en materiaal-overwegingen, dat het niet zo zeker is, dat de Bijbel als basis het Engelse maatstelsel gebruikt en dat ellen en yards niet noodwendig verband met elkaar behoeven te houden.

In ieder geval blijkt wel, dat de aard van het gebezigde scheeps-materiaal bepaalde beperkingen oplegt aan de grootte van het schip. Dit heb ik althans getracht plausibel voor U te maken, vandaar de reeds genoemde titel: „Over schepen en hun materialen”, waarbij ik hoop, dat U ook de ondertitel „Een materialistische beschouwing” kunt accepteren, ondanks de afkeer die een deel der mensheid zegt te hebben van het materialisme.

Doordat ik zo ver in de historie terug ben gegaan, zoudt U mij misschien nog kunnen betichten van „historisch materialisme”. Gezien mijn voorganger in deze, MARX, moge ik dan ook hopen voor niet al te ouderwets uitgekreten te worden. Want Marxisme is weer modern, is weer „in”, zoals men dat tegenwoordig noemt.

Daarom mijn „materialistische beschouwingen” voortzettend, nader ik dan de eerste grote revolutie in de scheepsbouw, die echter niets te maken heeft met MARX.

Het betreft hier de overgang van windvoortstuwing op mechanische voortstuwing, praktisch samenvallend met de overgang van hout als voornaamste scheepsbouw-materiaal naar wat wij, scheepsbouwers, noemen: staal.

Deze naam „staal” is in ons vak ontstaan als tegenstelling tot zuiver ijzer of puddelijzer. Dit toch was het materiaal, dat in eerste instantie de ijzeren scheepsbouw inluidde. Wij, scheepsbouwers van heden, zijn echter wel doordrongen van de wetenschap, dat wat de Siemens-Martin-ovens en het Thomas-proces, zelfs het oxy-staal-proces als staal produceren, helemaal geen staal in de eigenlijke zin des woords is en dat scheepsbouwstaal tot de, zeer ordinaire, laaggelegerde koolstofijzers behoort. Hoewel wij dus misschien beter van „scheepsijzer” zouden kunnen spreken, is de naam „staal” dermate algemeen ingeburgerd, dat wij met een stalen gezicht spreken van de „stalen” scheepsbouw.

Het zal U misschien wat vreemd in de oren klinken, als ik U zeg, dat over dit staal en over het gebruik hiervan in de scheepsbouw nog altijd controversen bestaan. Hierbij denk ik niet aan verouderde beweringen, dat ijzeren schepen beslist zwaarder moesten zijn dan houten (wat niet waar is) en dat het als onverantwoordelijk moest worden geacht in verband met de veiligheid een materiaal te gebruiken dat niet zelf-drijvend was, gelijk hout. Ook ga ik niet in op de veel gedegener opmerking, dat staal met zijn grote affiniteit tot roestvorming wel het meest ongeschikte materiaal moest worden geacht om te gebruiken bij de bouw van schepen. Waar ik op doel is, dat de menigvuldigheid in staalkwaliteiten dermate groot is geworden, dat wij op allerlei eigenschappen van dit materiaal zijn gaan letten. Deze menigvuldigheid geeft ons zoveel problemen, dat o.a. een „Stichting Staalcentrum Nederland” te Amsterdam is gecreëerd, die b.v. reclame maakt voor het gebruik van staal in de scheepsbouw en scheepvaart onder het devies: „Met staal vaart U wel”, daarbij in het midden latend of zij bij het „Schip van Staat” onze welvaart voor een goed deel van staal afhankelijk acht, of dat dit „Schip van Staat” en deszelfs bestuurders met een houding van „laat-ie-welzijn” er de „vaart” wat uit laten lopen.

Kortom, ondanks het feit dat schepen tot 367.000 ton draagvermogen thans gebouwd worden in staal, zijn er nog zoveel problemen betreffende dit materiaal op te lossen, dat diverse laboratoria voor scheepsconstructies het licht hebben gezien gedurende de meer dan 23 jaar dat ik aan de T.H. hoogleraar in de scheepsbouwkunde ben geweest. Gelukkig zijn, dank zij het inzicht van Curatoren, de nodige geldmiddelen verschaft om hier in Delft één van de grootste en best ingerichte scheepsconstructielaboratoria ter wereld te doen verrijzen. Als logisch gevolg van deze ontwikkeling is met zeer belangrijke hulp van Nederland het „International Ship Structure Congress” – I.S.S.C. opgericht, dat in 1961 in Glasgow, in 1964 in Delft bij dit grote laboratorium en in 1967 in Oslo bij het op materiaalgebied verst gevorderde klassebureau: „Det Norske Veritas” zijn congressen heeft gehouden; terwijl in 1970 in Tokyo, in het hart van het grootste scheepsbouwindustrieland ter wereld, de volgende bijeenkomst van het I.S.S.C. zal plaatsvinden.

Wat hierbij naar voren komt op deze congressen zijn vooral problemen betrekking hebbende op dat, sedert meer dan honderd jaar gebruikte, scheepsbouw materiaal: „staal”.

Wat is er dan tegenwoordig met dit staal aan de hand? De vraag is aldus te algemeen en te vaag gesteld om haar zo maar te kunnen beantwoorden.

Toen gedurende de laatste oorlogsjaren van de tweede wereldoorlog en direct daarna schepen in tweeën braken, een zeer spectaculair verschijnsel, dat beslist niet gewenst was en dat tot gevolg had dat in eerste instantie verwijten gericht werden aan het adres der scheepsbouwers, heeft de Engelse admiraliteit een commissie benoemd, die ten doel had na te gaan of het lassen van scheepsstaal voor de constructie van schepen een geoorloofde verbindingmethode mocht worden geacht. De schepen, die braken, waren nl. alle gelaste schepen en het lag dus voor de hand na te gaan of het lassen als zodanig de oorzaak was van deze ongelukken.

Het spreekt vanzelf, dat ik U nu niet in extenso zal vertellen tot welke conclusies de commissie kwam, maar het bleek al spoedig, dat men bij dit spectaculair breken van schepen dikwijls te doen had met het op zich zelf vrij zeldzame verschijnsel van „brosse breuk”. Dit verschijnsel van het bros breken van staal was reeds aan het einde van de negentiende eeuw bekend, maar

tot aan de tijd dat men gelaste schepen ging bouwen had men er in de scheepsbouw geen last van gehad. Verder bleek ten duidelijkste, dat deze kwestie er geen was van de wijze van construeren, doch dat het een kwestie was van de gebezigde materialen en de verwerking en de verbinding van die materialen: een echt probleem „Over schepen en hun materialen”.

Het „Admiralty Ship Welding Committee”, zoals de genoemde commissie officieel heette, heeft zeer nadrukkelijk de opdracht gekregen het lassen als bouwmethode voor schepen te bestuderen, maar moest tevens het staal als lasbaar materiaal beoordelen en nagaan wat het beste scheepsstaal nu als samenstelling moest bezitten.

Nu zou ik uren, ja dagen, kunnen vertellen over alle problemen die er bij het lassen al zo te voorschijn komen. Mag ik volstaan met wat dat betreft U te verwijzen naar het, mede als gevolg van de scheepsbreuken, in 1948 opgerichte „International Institute of Welding”, afgekort als I.I.W., met 16 technische commissies, duizenden publikaties op lasgebied, dat ieder jaar in plenaire vergadering bijeenkomt en waar door 600 à 700 experts dan een week lang zeer hard wordt gewerkt. Zo o.a. in 1966 in Delft. Men discussieert en doet mededelingen over proeven alsmede over de conclusies, die daaruit getrokken kunnen worden. Deze I.I.W. bijeenkomsten zijn dus geen congressen, maar een groot forum van uitwisseling van gedachten, die zich steeds vernieuwen en verder worden uitgewerkt en ontwikkeld.

Maar lassen is enkel maar lassen, enkel maar het moderne verbinden van stalen delen aan elkaar en van stalen scheepsdelen in 't bijzonder. En nu moet U dit woord „bijzonder” vooral niet als iets bijzonders opvatten, want eerlijkheid gebiedt mij nogmaals te getuigen, dat ons scheepsstaal maar erg ordinair laaggelegeerd koolstofstaal is. De moeilijkheden van het lassen van dit staal hebben we dan ook al jaren onder de knie. Als er nog wel eens een schip breekt – en dat komt heden ten dage praktisch niet meer voor – dan ligt de oorzaak niet in het lassen of het lasmateriaal; niet in, wat men noemt het „moeder-materiaal” of in de constructie, maar in een samenloop van omstandigheden, die tot spanningstoestanden aanleiding kunnen geven, die we nog niet helemaal overzien en waarop we de laatste jaren aan het studeren zijn geslagen. We moeten er achter komen, waar we het meest op moeten letten, waar de begrenzingen zijn

van diverse toelaatbaarheidsfactoren en hoe deze elkaar onderling beïnvloeden.

Vandaar dat men in de wereld der scheepsconstructeurs de ogen steeds meer en meer gaat richten op de mogelijkheden van het scheepsbouwstaal in diverse kwaliteiten en de problemen van het lassen zelf meer en meer overlaat aan hen die echt moeilijke constructies lassen, zoals die voorkomen in de petrochemie, de olie-industrie, de „cracking”-installaties en andere constructies met hoge spanningen, die aan hoge temperaturen en drukken bloot staan.

Laat ik hieraan direct toevoegen, dat hoge spanningen in de scheepsbouw ook veelvuldig voorkomen en dat onderkend is, dat de combinatie van deze hoge spanningen, al dan niet ontstaan als gevolg van spanningsconcentraties gecombineerd met vermoeiingsverschijnselen de reden heeft gevormd voor het bestuderen van de z.g. „high-stress, low-cycle fatigue”, dat o.a. in het laboratorium voor scheepsconstructies te Delft en het Metaal instituut T.N.O. te Delft zo grondig wordt verricht.

Ondanks het feit dus, dat scheepsbouwstaal maar erg ordinair staal is, zitten er, zoals U bemerkt, allerlei problemen aan vast en de laatste jaren zijn die in aantal toegenomen door de reeds door mij genoemde explosieve schaalvergroting der tankschepen, die van circa 20.000 ton draagvermogen in 1946 naar circa 400.000 ton draagvermogen zijn gegroeid. Dat wil dus zeggen een schaalvergroting van 20 maal!

Het gevolg van deze exorbitante vergroting is geweest, dat steeds meer de blik is gevallen op „niet ordinair” staal, waarvoor de scheepsbouwindustrie de namen „hoogwaardig staal” en „staal van verhoogde treksterkte” heeft uitgevonden. Hoewel de laatste naam juist is en de eerste nogal aanvechtbaar, spreekt men liever van „hoogwaardig staal”. Wij, scheepsbouwers, willen nu ook wel eens een status-symbool bezitten voor ons materiaal!. Hoewel het status-symbool van „mammoet-tanker”, of „super-tanker” er ook mag wezen!

Persoonlijk voel ik mij, ondanks dit status-symbool, altijd nog maar kleintjes tegenover al die zeer kundige metaalkundigen van b.v. de olie-industrie. Ik heb dan ook de neiging bescheiden te spreken over „een beetje minder ordinair staal met laag koolstofgehalte en een beetje meer treksterkte”.

Zal de scheepsbouw op den duur toch nog beter, dus *echt* „hoogwaardig staal” gaan gebruiken?

Ik geloof van wel, maar dan zullen toch allereerst een aantal problemen moeten zijn opgelost. Om U hierover enig inzicht te verschaffen, moet ik U even op de hoogte stellen van de wijze, waarop scheepsstaal gesymboliseerd wordt. Wanneer de trek-grens of breuksterkte ligt bij 42 Kgf/mm² spreekt men van St(aal) 42; ligt die bij 52 Kgf/mm² dan heet dit St. 52 enz. enz.

De „echte” hoogwaardige stalen wil ik nu pas die betiteling geven als ze St. 70 en St. 90 of hoger zijn. Zo gezien is St. 52, als reeds is opgemerkt, geen hoogwaardig staal. Kenmerkend voor de bereiding van St. 70 en St. 90 is b.v. dat deze staalsoorten „afgeschrikt” en „ontlaten” of „getemperd” moeten worden. Men heeft dan „quench” en „temper”-installaties nodig om even de Engelse termen te gebruiken. Met alleen staal te normaliseren komt men er niet.

Het gebruik van St. 70 en St. 90 brengt technische bezwaren met zich mee. Zo zal b.v. de hoge lasttemperatuur invloed hebben op de kwaliteitseigenschappen van deze warmtebehandelde en gelegeerde staalsoorten. Verder zij erop gewezen, dat de elasticiteitsmodulus niet stijgt met de treksterkte en er dus, daar men hogere spanningen in de constructie gaat toelaten, relatief verhoogd knikgevaar en plooiagevaar aanwezig zal zijn, terwijl deze hoogwaardige staalsoorten door hun metallurgische materiaaleigenschappen minder goed plastisch vervormbaar zijn, wat voor een schip ook een nadeel is.

De „las”-moeilijkheden bij het gebruik van „echt hoogwaardig” staal zullen wel te overkomen zijn. Zoals ik al opmerkte heeft de olie-industrie hier voor de scheepsbouwer en andere minder „chique” staalsoortgebruikers de spits reeds afgebeten. Buitendien blijven er ook nog financiële en economische bezwaren aan het gebruik van zulk staal verbonden. Volgens mij mag er echter wel op gerekend worden, dat in de toekomst deze bezwaren, zoals altijd in het begin bij nieuwigheden bestaande, wel overwonnen zullen worden.

Voor de „mammoet”-schepen zal men moeten oppassen de waterdichte huid, door de invoering van „hoogwaardig” staal, niet te dun te maken, zodat stoten tegen drijvende puntige objecten niet direct tot het vormen van gaten aanleiding geeft. Op deze wijze zou onwaterdichtheid veroorzaakt worden. „Na-

tura Artis Magistra est" is het devies van onze oudste dierentuin. Hoewel deze niet zo oud is, dat er levende mammoets in gevonden worden, lijkt het mij gewenst thans reeds bij de bouw van supertankers, ervoor te zorgen dat ook hier de natuur onze leermeesteres in de kunst zij, zodat deze schepen de nodige pachydermiciteit van hun uitgestorven voorouders behoorlijk evenaren. Deze dikhuidigen hadden een zeer goede, plastisch vervormbare bekleding, een eis, waaraan ook onze hedendaagse mastodonten moeten voldoen en waarbij door St. 42 en St. 52 nog steeds beduidend beter voldaan wordt dan door St. 70 en St. 90.

De grootste technische belemmering zal waarschijnlijk gevormd worden door de wisselende belastingen, die elk schip in de golven varend nu eenmaal moet ondergaan. Dit maakt, dat vermoeiingsverschijnselen, vooral de „low-cycle fatigue" moeten worden aanvaard en niet te omzeilen zijn. In het gebied, waar hoge spanningen optreden, en dit zal bij de verdunning der hoogwaardige staalplaten steeds het geval zijn, is de rek maatgevend voor het aantal wisselingen tot breuk. Slechts in het gebied van lage spanningen bestaat bij een hoge kwaliteit van de structurele vormgeving en het laswerk correlatie met de treksterkte.

Dat de opvatting over de „waardering" van een constructie nog weinig algemeen ingang heeft gevonden, komt, omdat men te vaak afgaat op proefresultaten, verkregen met niet gelaste en niet gekerfde proefstukken in het laboratorium. Ook neemt men te weinig werkelijk dynamische wisselproeven, waarbij de spanning wisselt tussen trek-(+) en druk-(-)waarden. Ook het gehele eerst kortelings onderkende verschil tussen het aantal wisselingen nodig om een scheur te doen ontstaan en dat nodig om een scheur te doen voortschrijden, maakt een verder inzicht in de scheurvorming en haar consequenties noodzakelijk. En reeds thans is al wel vast komen te staan, dat uit overwegingen van vermoeiingssterkte, helaas op dit ogenblik, nog aan St. 42 en St. 52 de voorkeur gegeven moet worden boven „echt hoogwaardig staal". Maar dit wil geenszins zeggen, dat we de moeilijkheden inherent aan St. 70 en St. 90 niet te boven zouden kunnen komen. Vooral voor de „super"-schepen, is het kunnen uitvoeren der constructies in dunnere, hoogwaardige staalplaten van primair belang.

Resumerend wil ik het over het, in de scheepsbouw nog steeds

verreweg het belangrijkste, materiaal concluderen, dat het nog lange jaren van proefnemingen in laboratoria en aan boord zal vergen, voor we alle mogelijkheden van het staal helemaal „door" hebben en voor we alle aspecten betreffende lasbaarheid, betrouwbaarheid, tegen bros breken en scheurvorming, alsook het verfijnde construeren in hoogwaardige staalsoorten doorgrond zullen hebben. Gelukkig, dat de T.H. te Delft in zijn laboratorium voor scheepsconstructies het arsenaal bezit om bij deze proefnemingen, ook internationaal bezien, op één der eerste plaatsen mee te kunnen doen.

Naast het staal, waar ik thans van afstap, komen als andere materialen nog in aanmerking: lichtmetaallegeringen, kunststoffen, beton en hout, waarover ik, zij het kort, nog een paar woorden wil zeggen. Daarna zult U mij wel toestaan nog iets te berde te brengen over een paar „uitzonderlijke" materialen.

Van de in de scheepsbouw gebruikte lichtmetaallegeringen komen praktisch alleen de sterke, corrosiebestendige en lasbare aluminium-magnesium-legeringen in aanmerking. Vooral de noodzakelijke lasbaarheid impliceert het gebruik van niet veredeldbare legeringen, daar door het lassen de veredelingswarmtebehandeling te niet wordt gedaan en zij dan de door de veredeling ontstane speciale sterkte-eigenschappen door de lashitte weer verliezen.

De Al-Mg-legeringen zijn tot ongeveer -196°C weinig kerfgevoelig, zodat ze, zelfs in de overgangszone naast de las geen last van scheurvorming, noch van voortlopen van scheuren hebben. Vandaar, dat voor het vervoer van gekoelde vloeibare gassen als b.v. methaan, vaak op het gebruik van deze legeringen teruggegrepen is.

Daar het klinken van aluminium en zijn legeringen een speciale techniek vergt, wordt dit klinken bij uitstek voor veredelde legeringen toegepast en dan meestal speciaal voor zeer dunne plaatdikten. De laatste jaren, nu het lassen van Al-Mg-legeringen praktisch geen probleem meer is, wordt dan ook, net als in de staalscheepsbouw, zoveel mogelijk van laswerk gebruik gemaakt, waardoor de in de scheepsbouw gebruikelijke plaatdikten behoorlijk verbonden kunnen worden.

De voornaamste voordelen van lichtmetaal zijn: het lichte gewicht en de grote corrosiebestendigheid. Genoemd werden

reeds de goede eigenschappen bij lage temperaturen, terwijl ook uit een oogpunt van hygiëne b.v. in visruimen, aluminiumlegeringen toegepast worden. Het a-magnetisch zijn van dit materiaal kan onder bepaalde omstandigheden ook voordelen bieden.

Lichtmetaal kan bij goed constructief gebruik een betere spanningsverdeling in de combinatie scheepsromp-bovenbouw bewerkstelligen, terwijl bij het juiste gebruik van een lichtmetalen bovenbouw draagvermogen, stabiliteit en snelheid van het schip verbeterd kunnen worden. Een uitbuiting van alle eigenschappen van dit relatief sterke, lichte materiaal vereist veel studie en kennis. In het buitenland heeft men deze problemen bij de bouw van enige enorme passagiersschepen als de „United States”, de „France” en de „Oriana” onder de ogen durven zien en is men tot de conclusie gekomen, dat de uitgave van het 8 à 10 maal duurder lichtmetaal ten opzichte van staal, berekend bij de exploitatie en de bouw van deze schepen, verantwoord is geweest. In het zuinige Nederland is men nog niet zo ver. De zeer hoge prijs maakt ook, dat geheel in Al-legering uitgevoerde schepen tot de grote zeldzaamheden behoren en deze situatie zal voorlopig wel zo blijven ook.

Afstappend van het lichtmetaal kom ik dan aan het gebruik van kunststoffen voor het schip. De tijd, dat ik hoogleraar ben geweest, valt samen met het toenemende gebruik van een groot aantal nieuwe materialen voor de scheepsbouw, die op synthetische wijze worden vervaardigd en de verzamelnaam dragen van kunststoffen of „plastics”. Vooral deze laatste benaming is misleidend en vele betere namen zouden hiervoor gevonden kunnen worden, waarover de geleerden het echter nog niet eens zijn. Nu is het zo, dat voor het bezigen voor primaire scheepsconstructies als huid, dekken, schotten, dekhuizen enz. praktisch alleen gebruik gemaakt wordt van door glasvezel versterkte polyesters (afgekort G.V.P.), die goede mechanische eigenschappen paren aan handige constructiemogelijkheden. Zij behoren tot de z.g. thermoharders, die in hun macromoleculaire structuur ketens bezitten, die zodanig met elkaar verweven zijn, dat ze ook bij hogere temperaturen te star zijn om te kunnen bewegen ten opzichte van elkaar.

Zij bezitten als eigenschappen een grote variatie van mogelijk-

heden, omdat bepaalde materiaaleigenschappen er door de wijze van bereiden van deze kunststoffen van te voren ingebracht kunnen worden. Men kan dus materiaal maken, zoals men het in verband met het gebruik graag zou willen hebben. Dit in tegenstelling tot de niet-kunststoffen, waarvan we de materiaaleigenschappen „grosso modo” maar hebben te slikken. Overigens is voor de scheepsbouw nog van belang de grote weerstand tegen corrosie, weersinvloeden, het a-magnetisme en het lage soortelijk gewicht.

Dit laatste maakt, dat enorm veel kleinere schepen van deze materialen worden gebouwd. Deze grootte-beperking is het gevolg van enkele minder goede eigenschappen voor structurele doeleinden, zoals een lage, tevens variabele, elasticiteitsmodulus, geringe knikvastheid en soms hinderlijke kruipverschijnselen. Deze nadelen worden verbeterd door de reeds genoemde glasmatversterkingen der gebezigde polyesters. U moet zich deze glasmatversterkingen voorstellen gelijk de staalbewapening bij gewapend beton. Het laboratorium der glasfabriek van Saint Gobain in Frankrijk heeft trouwens ontdekt, dat hetzelfde type berekeningen voor beide soorten bewapening gebruikt kan worden.

De mechanische eigenschappen van door glasvezel gewapende kunststoffen worden bepaald door die van de hars en het glas, alsook door de wijze van weven van de glasmatten die ter versterking dienen. De laminaten of eenheden van G.V.P. worden óf wel geheel met de hand vervaardigd óf de hars wordt in vloeibare vorm op de glasvezels of de glasmatten gespoten. Vooral deze laatste methode wordt meer en meer toegepast.

Door de reeds genoemde lage waarde van de elasticiteitsmodulus is G.V.P. als constructiemateriaal tamelijk slap te noemen. De stijfheid, niet de sterkte, beperkt daarom de afmetingen van schepen uit kunststof vervaardigd. Ook voor dragende constructiedelen is de toepassing beperkt. Hoewel door z.g. sandwichconstructies (laag kunststof, glasvezels, hars, glasvezel, laag kunststof) grotere stijfheid is te bereiken, moet men een maximale scheepslengte van circa 50 m voorlopig nog wel als grens voor G.V.P.-schepen aannemen. Niettemin wordt dit materiaal, ondanks zijn relatief hoge prijs, voor scheepjes tot circa 17 m lengte, die in grote series gebouwd kunnen worden, steeds aantrekkelijker. Ook marineschepen, binnenbetimmeringen, gepre-

fabriceerde douche-cellen, reddingboten en meer dergelijke scheepsonderdelen worden meer en meer in kunststof vervaardigd. Gezien de enorme mogelijkheden, inherent aan de kunststoffen, kan men nog een grote toekomst voor dit materiaal voorspellen.

Al is hout tegenwoordig als primair constructiemateriaal voor grote schepen geheel vervangen door staal, bij de bouw van kleine schepen speelt het nog altijd een belangrijke rol. Ook de aftimmering van grote schepen geschiedt nog steeds voor een belangrijk deel in hout, hoewel op dit gebied het lichtmetaal en de kunststoffen gedeeltelijk het hout dreigen te verdringen.

Nieuw is de, in de laatste jaren ontwikkelde, gelijmde lamellenbouw, waarbij, vooral door de zeer bijzondere moderne lijmsorten hechtingen worden verkregen die sterkten bezitten, die een veelvoud zijn van de houtverbindingen uit de oude houten scheepsbouwtijd. Multiplexplaten met deze lijmsorten verlijmd geven als scheepsmateriaal gebruikt uitstekende, tegen weersinvloeden bestendige constructies te zien, die het eervol kunnen opnemen tegen andere moderne materialen.

Het gebruik van beton als scheepsbouw materiaal, hoewel reeds tijdens de eerste wereldoorlog geïntroduceerd, is nooit een succes geweest. Beton heeft, door zijn kleine weerstand tegen stootbelastingen, de neiging tot breken, waardoor gaten in de waterdichte romp ontstaan, die de scheepsbouwer nu eenmaal niet kan accepteren. Sedert enige jaren zijn echter betonnen schaalconstructies meer en meer vervolmaakt en niemand minder dan PROF. PIER LUIGI NERVI, in ons land vooral bekend door zijn ontwerp voor de moderne bebouwing in het centrum van Den Haag, het z.g. plan „Schedeldoekshaven”, heeft de laatste tijd enige zeiljachten van betonschaalconstructies gebouwd en doen bouwen. Volgens hem is alles wat van staal te maken is en een behoorlijke sterkte moet hebben ook in de lichtere betonschaalconstructies te verwezenlijken. Ik help het mijn collega wensen.

Aan het einde van mijn afscheidscollege gekomen wil ik dan nog iets zeggen over de reeds door mij aangekondigde „uitzonderlijke” materialen.

U zult wel verbaasd zijn als ik U dan in de eerste plaats het materiaal „Ivoor” noem. Weliswaar heeft het iets te maken met de reeds door mij genoemde mammoet en diens afstammeling, de olifant, doch afgezien van, soms misschien een vleugje, dikhuidigheid, wordt dit materiaal ten onrechte in verband gebracht met professoren en niet alleen van die in de scheepsbouwkunde. Vandaar dat ik tegen deze mythe der „ivoren toren” mijn stem wens te verheffen en te protesteren. Mij althans is gedurende mijn professoraat meerdere malen voor de voeten geworpen, dat ik de neiging had mij in een ivoren toren op te sluiten, waarbij men dan klaarblijkelijk over het hoofd zag, dat ik meer dan twintig jaar in het harde werfbedrijf geploeterd heb en, als ik de gevolgen daarvan mag interpreteren (b.v. mijn benoeming aan deze hogeschool), niet helemaal zonder succes.

Ik protesteer tegen deze aantijging, ten eerste uit naam van de olifanten, ten tweede, zo men wil, uit naam der andere, — soms wel, soms niet —, dikhuidigen, de professoren van de T.H. te Delft. Uit naam der olifanten, omdat het bouwen van een ivoren toren een aantal slagstanden zou vereisen, die ver boven het volume aan slagstanden van het huidige bestand van deze dieren zou uitgaan. Het is dus eenvoudig onmogelijk.

Uit naam van de Delftse professoren, omdat ik gedurende de meer dan 23 jaren, die ik aan de T.H. verbonden ben geweest als hoogleraar, nooit een collega heb ontmoet, die ook maar enigszins de blaam der „ivoren toren,” verdienden. Ik mag aan het einde van mijn loopbaan mijn collega's in het openbaar en dus voor het forum der maatschappij verzekeren, hoezeer ik altijd hun nuchter en reëel inzicht heb weten te waarderen en hoe weinig ik vind, dat wij als voorbeeld zouden kunnen dienen voor sommige der hoofdfiguren uit het boek van de beroemde PROF. HARDY CROSS uit Princeton, New Jersey, getiteld: „Engineers and Ivory Towers”. De scheepsbouwkundigen onder ons moeten zich daarbij nog realiseren, dat de „ivoren toren” tot ons is gekomen uit het dichterblijvende epos van het „Rubayat” van Omar Kayam, die zelf zeilmaker en tentenbouwer was en dus toen ter tijd (zo ongeveer het jaar 1100) nauw verbonden was met de voortstuwung van schepen. Doch niettemin ook voor ons: „geen ivoor”!

Als tweede „uitzonderlijk materiaal” wil ik iets zeggen over „de

mens als scheepsbouw materiaal" en ik richt mij daarbij het laatste, evenals op 20 maart 1946, tot de studenten. Ik wil hun verzekeren, dat ik met volle toewijding hun opleiding heb willen behartigen, maar dit, daar ben ik volkomen van overtuigd, niet altijd voldoende heb kunnen doen. Ondanks het feit dat de quantiteit mijner leerlingen, gelukkig, klein was en de qualiteit in het algemeen hoog, om niet te zeggen „verheven", weet ik, dat ik door de overstelpende hoeveelheden „bijwerk" te weinig tijd aan hen heb gegeven. Ik hoop, dat de studenten van mij willen aanvaarden, dat ik graag meer had gedaan, maar eenvoudig niet meer heb kunnen doen. Daar een scheepsbouwer, au fond, één is met het produkt, dat hij aflevert, weet ik, dat ik dit „beste materiaal" van de scheepsbouw ook het hoogste aansla bij de bouw van het schip. Ik zou hen daarom gaarne willen vergelijken met dat „echte hoogwaardige staal", dat „getemperd" en „afgeschrikt" moet zijn om de eretitels St. 70 en St. 90 te kunnen verdienen.

Mag ik daarom eindigen met de wens, dat hun houding in het algemeen „getemperd" moge zijn en dat zij „afgeschrikt" mogen worden van uitingen van onvruchtbare wreveld in tegenstelling tot hun belangrijke medewerking aan opbouwende maatregelen, die de Onderafdeling der Scheepsbouwkunde in overleg met hen wil nemen om hun opleiding te maken tot de beste, die hun kan worden gegeven.

Ik dank U allen voor Uw aandacht.