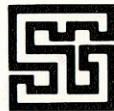


Het aandraaien van bouten

door ir L.P. Bouwman



**Staalcentrum
Nederland**



**Staalbouwkundig
Genootschap**

HET AANDRAAIEN VAN BOUTEN

ir L.P. Bouwman

Delft, mei 1981.
Tweede druk.

VOORWOORD

In verband met het ontstaan van een nieuw type verbinding voor staalconstructies, de verbinding door middel van voorspanbouten, is in het Stevin-Laboratorium van de Technische Hogeschool te Delft veel onderzoek verricht naar de wijze van aandraaien van deze bouten.

In nationale en internationale commissies is hieraan ook veel aandacht besteed.

Voor de praktische toepassing is veelvuldig contact geweest met vertegenwoordigers van Rijkswaterstaat, Gemeentelijke Diensten en het bedrijfsleven.

De ervaringen die met de onderzoekingen en genoemde contacten zijn opgedaan, hebben geleid tot een beter inzicht.

Gezien de grote praktische betekenis hiervan, niet alleen voor het aandraaien van voorspanbouten in staalconstructies, maar ook voor het aandraaien van bouten in het algemeen leek het nuttig de verkregen inzichten in deze brochure vast te leggen.

Nadere inlichtingen over de in deze brochure behandelde onderwerpen kunnen worden verkregen bij:

Vakgroep Staalconstructies, Stevin-Laboratorium
Technische Hogeschool
Stevinweg 4
2628 CN Delft.

Telefoon 015 - 78 23 09.

Prof.ir A.A. van Douwen
voorzitter Technische Commissie
Staalbouwkundig Genootschap.

INHOUD

1. INLEIDING
2. SYMBOLEN
3. AANDRAAIMETHODEN
 - 3.1 Momentmethode
 - 3.2 Hoekmethode
 - 3.3 Moment - hoekmethode
4. AANDRAAIGEREEDSCHAPPEN
 - 4.1 Momentsleutels
 - 4.2 Momentvermeerderingskoppen
 - 4.3 Moeraanzetters
 - 4.3.1 Pneumatische moeraanzetters met slagmechanisme
 - pneumatische moeraanzetter met inwendige torsiestaaaf
 - pneumatische moeraanzetter met reduceer-ventiel
 - pneumatische moeraanzetter met slagmechanisme zonder afstel mogelijkheid
 - 4.3.2 Pneumatische moeraanzetter met zuiger - hefboommechanisme
 - 4.3.3 Hydraulische moeraanzetter
5. BOUTKRACHTMETERS
6. CONTROLE VAN DE AANWEZIGE KLEMKRACHT
 - 6.1 Controle door het meten van de boutverlenging
 - 6.2 Controle door de bepaling van het aandraaimoment
7. BIJZONDERE BOUTEN EN ONDERLEGRINGEN
 - 7.1 Thermisch verzinkte bouten
 - 7.2 Sluithulsbouten
 - 7.3 Kracht aanduidende bouten
8. RESUME
 - 8.1 Beknopt overzicht van de verschillende aandraaimethoden
 - 8.2 Praktische aanwijzingen voor het aandraaien van bouten

1. INLEIDING

In bepaalde gevallen kan het van essentieel belang zijn bouten zodanig aan te draaien dat tenminste een voorgescreven klemkracht in de bouten wordt opgewekt. Bij verbindingen met voorspanbouten bijvoorbeeld, moet de overdracht van de belasting volledig plaats vinden door middel van wrijvingskrachten ter plaatse van de contactvlakken. Die wrijvingskrachten zijn direct afhankelijk van de klemkracht (voorspankracht) waarmee de platen op elkaar worden geklemd; de opgewekte klemkracht is daarbij dus van essentieel belang.

Een ander voorbeeld waarbij de door het aandraaien opgewekte klemkracht van essentieel belang is, zijn constructies waarbij bouten door de uitwendige belasting op trek worden belast. Indien de grootte van de uitwendige belasting varieert, is het in verband met vermoeiing van de bouten van groot belang dat door het aandraaien een klemkracht van voldoende grootte wordt opgewekt.

Bij die gevallen waarbij ten aanzien van de klemkracht bepaalde eisen worden gesteld, moet aan de volgende twee voorwaarden worden voldaan:

- door het aandraaien moet tenminste de voorgescreven klemkracht worden opgewekt;
- het aandraaien dient tijdig te worden gestopt zodat voldoende reserve ten opzichte van afdraaien aanwezig blijft.

Veel onderzoek is verricht om na te gaan welke aandraaimethoden onder bepaalde omstandigheden voldoende waarborgen geven dat aan bovengenoemde voorwaarden wordt voldaan. In deze brochure worden de mogelijkheden en de beperkingen van verschillende aandraaimethoden besproken. Ook worden de voor- en nadelen van verschillende aandraaigereedschappen vermeld.

Verder wordt de praktische uitvoering van het aandraaien beschreven en wordt ingegaan op de verschillende mogelijkheden van controle van de aangebrachte klemkracht. Tot slot worden de eigenschappen van enkele bijzondere bouttypen en onderlegringen behandeld.

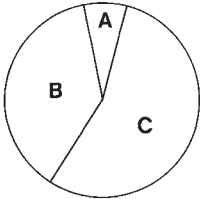
2. SYMBOLLEN

<u>symbool</u>	<u>omschrijving</u>	<u>eenheden</u>
α	aandraaihoek	(hoekgraad) ^o
A_s	spanningsdoorsnede	mm ²
d	boutmiddellijn	mm
F	boutkracht, klemkracht	kN
F_o	boutkracht, opgewekt door het voordraaimoment	kN
F_v	voorgescreven voorspankracht	kN
F_{ut}	trekbreekkracht	kN
K	coëfficiënt	-
Δl	boutverlenging	μm
Δl_{F_v}	boutverlenging die optreedt tengevolge van een boutkracht F_v	μm
M	moment	Nm
M_a	aandraaimoment	Nm
σ_{jd}	ideële spanning	N/mm ²
σ_t	treksterkte	N/mm ²
$\sigma_{0,2}$	0,2% blijvende rekgrens	N/mm ²

3. AANDRAAIMETHODEN

3.1 Momentmethode

De momentmethode is een aandraaimethode waarbij, voor het opwekken van een zekere klemkracht, de moer (of de kop) wordt aangedraaid totdat een vooraf vastgesteld moment wordt bereikt.

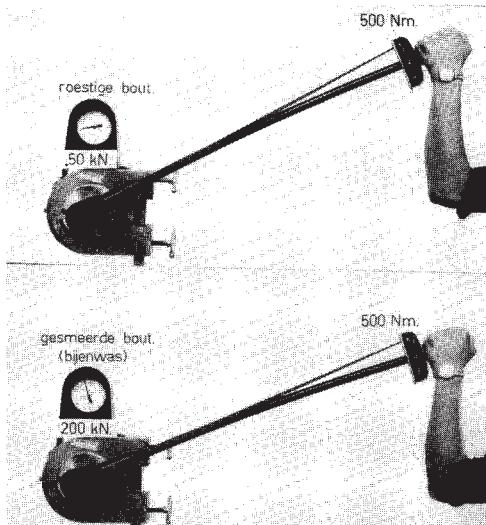


afb. 1 (A=boutkracht, B=draadwrijving, C=spiegelwrijving)

Het grootste gedeelte van het aangebrachte moment wordt gebruikt voor het overwinnen van de draadwrijving en van de spiegelwrijving, terwijl slechts een klein deel effectief gebruikt wordt voor het opwekken van de klemkracht. In afbeelding 1 is de verdeling van het moment schematisch voorgesteld.

Dat de draadwrijving en de spiegelwrijving bij de momentmethode een belangrijke rol spelen wordt geïllustreerd aan de hand van afbeelding 2.

De afbeelding toont het aandraaien in een hydraulische boutkrachtmeter van een roestige bout en van een goed gesmeerde bout. In beide gevallen is op de moer een moment



afb. 2

uitgeoeffend van 500 Nm. Zoals uit de afbeelding blijkt, is bij de roestige bout een klemkracht opgewekt van 50kN en bij de goed gesmeerde bout een klemkracht van 200kN.

Daarmee is tevens aangetoond dat het niet veel zin heeft in de praktijk een aandraaimoment vast te stellen zonder dat de wrijvingscondities van de schroefdraad en van de spiegel bekend zijn.

Het aandraaimoment M_a , nodig voor het opwekken van een bepaalde boutkracht F wordt bij benadering wel bepaald met de formule:

$$M_a = k \cdot d \cdot F$$

Hierin is: K - een coëfficiënt, o.a. afhankelijk van:

draadwrijving
spiegelwrijving
snelheid schroefdraad

d - de boutmiddellijn

F - de boutkracht

In het verleden is voor bouten een metrische schroefdraad wel aangehouden: $K = 0,18$

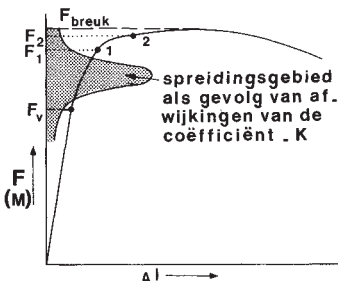
Proeven hebben aangetoond, dat het niet verantwoord is voor verschillende partijen bouten het benodigde aandraaimoment met één vaste K -waarde te bepalen. Gebleken is dat ook voor fabrieksnieuwe bouten de werkelijke waarden belangrijk kunnen variëren. Bij proeven zijn waarden gemeten voor de coëfficiënt K , die varieerden van 0,12 tot 0,23.

Zelfs bij één partij bouten (bouten van hetzelfde fabrikaat en van dezelfde serie) moet men nog wel rekening houden met een mogelijke afwijking van het gemiddelde van $\pm 15\%$. In de praktijk kan deze spreiding nog groter worden door verontreinigingen die op de bouwplaats op de bouten komen.

Wat zijn nu de consequenties van het niet voldoende exact kennen van de coëfficiënt K ?

Uit de formule: $M_a = k.d.F$ volgt een lineair verband tussen aandraaimoment en opgewekte boutkracht. Als het aangebrachte moment als gevolg van een afwijking van de coëfficiënt K niet juist is, resulteert dat in een afwijking van de opgewekte boutkracht F ten opzichte van de voorgeschreven boutkracht F_v .

In afbeelding 3 is het kracht-rek diagram van een willekeurige voorspanbout getekend. Het spreidingsgebied dat ontstaat door afwijkingen van de coëfficiënt K moet, in verband met het directe verband tussen aandraaimoment en boutkracht, aangebracht worden langs de as waar de boutkrachten staan.



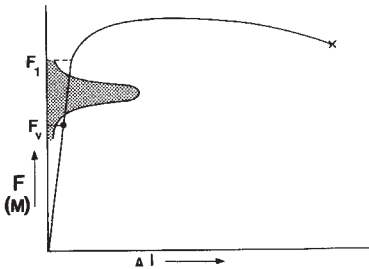
In het gebied van de grote boutkrachten zal als het moment iets groter wordt gekozen, ook de boutkracht iets groter worden; zie bijvoorbeeld de boutkrachten F_1 en F_2 in afbeelding 3. De verlenging zal daarbij echter aanzienlijk groter worden; zie de punten 1 en 2 in de afbeelding.

afb. 3

Als de werkelijke waarde van de coëfficiënt K lager is dan de waarde waarmee het moment is bepaald dan is het gekozen moment dus groter dan strikt nodig. In het gebied van de grote boutkrachten kan dat tot gevolg hebben dat het moment dat moet worden aangebracht niet bereikt kan worden omdat de boutkracht niet meer voldoende toeneemt. In dat geval blijft men doordraaien hetgeen alleen resulteert in boutverlenging maar nagenoeg niet in toename van boutkracht, totdat de verlenging zo groot is geworden, dat de bout bezwijkt.

Niet alleen het afdraaien van de bout is een criterium waarvoor men moet oppassen maar vooral ook het net niet afdraaien kan bijzonder hinderlijke gevolgen hebben, bijvoorbeeld breuk van de bouten als de constructie reeds in bedrijf is.

De momentmethode kan alleen veilig worden toegepast als zekerheid bestaat dat het spreidingsgebied dat wordt veroorzaakt door variatie van de coëfficiënt K (variatie van draad- en spiegelwrijving) niet valt in het gebied waar de boutverlengingen sterk toenemen.



afb. 4

In afbeelding 4 is dit grafisch voorgesteld. De boutkracht F_v is

de gewenste klemkracht. Om zekerheid te hebben dat deze boutkracht wordt bereikt moet worden gezorgd dat het spreidingsgebied boven deze boutkracht F_v ligt.

De bovengrens van dit spreidingsgebied mag nu maximaal daar liggen waar de boutverlengingen nog niet aanzienlijk toenemen; zie boutkracht F_1 in afbeelding 4.

Om nu toch nog een zo groot mogelijke klemkracht F_v met de momentmethode veilig te kunnen opwekken, moet onder andere gezorgd worden dat het spreidingsgebied klein is. Indien bij de momentmethode onderstaande punten in acht worden genomen, dan worden zo goed mogelijke resultaten verkregen.

- Voor het bepalen van het benodigde moment gebruik maken van een boutkrachtmeter.
- Bouten van één fabrikaat, liefst van dezelfde serie.
- Bouten niet laten verontreinigen.
- Bouten van een goed smeermiddel voorzien.
- Aan de zijde van het aandraaien een gehard stalen onderlegging toepassen.
- Betrouwbaar aandraaigereedschap gebruiken.

Toepassingsgebied van de momentmethode:

De momentmethode is alleen veilig bruikbaar als, rekening houdende met het spreidingsgebied en afwijkingen van het aandraagereedschap, de opgewekte boutkracht niet in het gebied van de grote boutverlengingen komt. Zelfs als voor het verkrijgen van een klein spreidingsgebied bovenstaande punten in acht worden genomen, zou gesteld moeten worden dat de met de momentmethode op te wekken klemkracht maximaal gelijk mag zijn aan de helft van de trekbrekkracht, dus:

$$F_{v_{\max}} = 0,5 F_{u_t}$$

Dit lijkt overdreven veilig, echter moet behalve met de normaalspanning die in de richting van de boutas aanwezig is als gevolg van de klemkracht F , ook rekening worden gehouden met de wringspanning die in de bout wordt opgewekt door het moment dat nodig is voor het overwinnen van de schroefdraadwrijving.

Volgens onderzoeken moet in verband hiermee worden gerekend met een ideële spanning die 20 à 30% groter is dan de normaalspanning.

Voor afwijkingen van de coëfficiënt K en voor afwijkingen van het aandraagereedschap zou totaal daarboven met een afwijking van 25% kunnen worden gerekend.

Indien nu de normaalspanning gelijk gekozen wordt aan de helft van de treksterkte dan wordt de maximale waarde van de ideële spanning die in de bout zou kunnen optreden:

$$\sigma_{id_{\max}} = 1,25 \times 1,25 \times 0,5 \sigma_t = 0,78 \sigma_t$$

Dit is dus nog duidelijk beneden de treksterkte, hetgeen echter nodig is omdat niet in het gebied van grote boutkrachten mag worden gekomen waarin de verlenging van de bout te groot zou kunnen worden.

3.2 Hoekmethode

De hoekmethode is een aandraagimethode waarbij, voor het opvekken van een zekere klemkracht, de moer over een bepaalde hoek ten opzichte van de boutsteel wordt verdraaid, nadat de moer eerst handvast is aangedraaid.

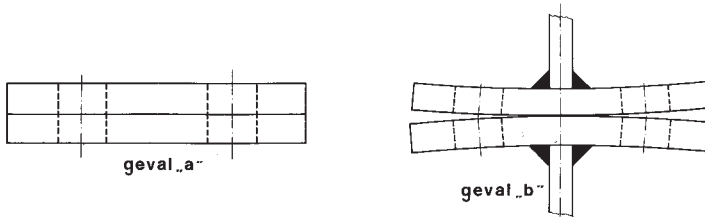
Zonder te letten op het moment dat wordt uitgeoefend, kan een bepaalde boutkracht ook worden opgewekt door de moer over een zekere hoek ten opzichte van de boutsteel te verdraaien.

De grootte van de benodigde aandraaihoek voor het opwekken van een bepaalde boutkracht F is afhankelijk van:

- a. de spoed van de schroefdraad;
- b. de verlenging van de bout;
- c. de vervorming van de schroefdraad;
- d. de indrukking van de moer in de sluitring;
- e. de indrukking van de sluitring en de kop in de constructiedelen
- f. de vervorming van de constructiedelen.

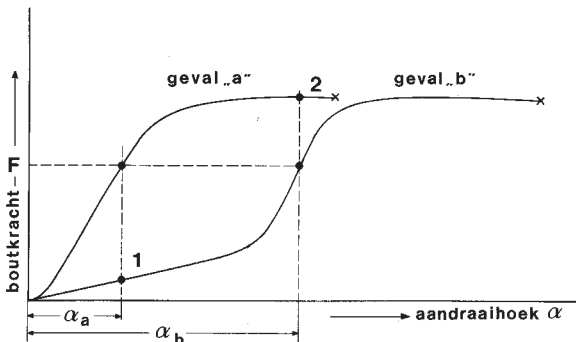
Van bovenstaande factoren is de laatste de meest variabele factor.

Beschouwen we de pakketten volgens afbeelding 5 dan is direct in te zien dat, na handvast aandraaien, voor het opwekken van een bepaalde klemkracht voor de bouten van geval b een veel grotere aandraaihoek nodig is dan voor de bouten van geval a.



afb. 5

Worden de bouten in deze twee pakketten eerst handvast aangedraaid dan zal bij verder aandraaien de boutkracht als functie van de aandraaihoek ongeveer verlopen als aangegeven in afbeelding 6.



afb. 6

Het is niet mogelijk een aandraaihoek te kiezen die in beide gevallen bevredigende resultaten geeft. Kiest men α_a dan is in geval b de boutkracht (punt 1) veel te laag; kiest men α_b dan is in geval a de verlenging van de bout veel te groot (punt 2).

Voor verbindingen in staalconstructies waarbij de constructiedelen vlak op elkaar kunnen liggen maar waarbij ook flinke spelingen aanwezig kunnen zijn (denk aan toelaatbare maatafwijkingen zoals diktetoleranties en aan vervormingen ten gevolge van lassen) is de hoekmethode in het algemeen ongeschikt.

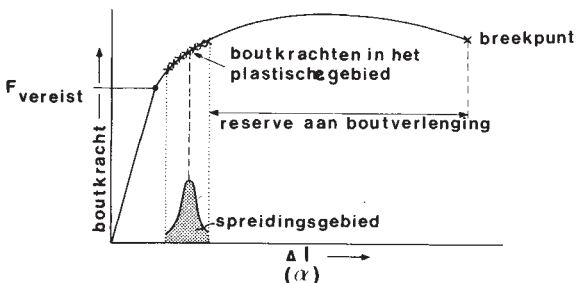
Voor verbindingen waarbij men zeker weet dat de contactvlakken van het begin af vlak op elkaar zullen liggen, is het aandraaien over een bepaalde hoek daarentegen uitermate geschikt om grote klemkrachten op te wekken en biedt deze methode de grootst mogelijke veiligheid tegen te ver aandraaien. Het vlak op elkaar liggen komt vaak voor bij werktuigbouwkundige constructies, waarbij de contactvlakken zijn geschaafd, gedraaid of gefreesd.

Bij het aandraaien over een bepaalde hoek wordt de aandraaihoek zodanig gekozen dat de bouten door het aandraaien tot in het begin van het plastisch gebied belast worden. Het aandraaien van bouten tot in het plastisch gebied geeft de grootst mogelijke zekerheid dat de klemkracht van de bouten voldoende groot is.

In tegenstelling tot de momentmethode is het bij de hoekmethode mogelijk bouten tot in het plastisch gebied aan te draaien zonder dat het gevaar bestaat dat de bouten te ver aangedraaid worden.

Bij de momentmethode is er een direct verband tussen aandraaimoment en opgewekte boutkracht, derhalve moet hierbij het spreidingsgebied langs de as van de boutkracht worden uitgezet. Bij de hoekmethode is er een direct verband tussen aandraaihoek en aangebrachte boutverlenging. Een bepaalde vergroting van de aandraaihoek heeft een zekere boutverlenging tot gevolg, de boutkracht kan hierbij zelfs nagenoeg constant blijven (plastisch gebied).

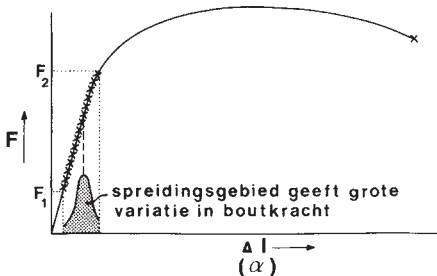
Het spreidingsgebied dat als gevolg van bepaalde afwijkingen optreedt, moet nu dus niet uitgezet worden langs de as van de boutkracht maar langs de as van de boutverlenging, zie afbeelding 7. Dit heeft tot gevolg dat bij de hoekmethode het aandraaien tot in het plastische gebied veel minder kritisch is. In het plastisch gebied is namelijk een grote boutverlenging beschikbaar en daardoor een grote reserve in aandraaihoek α .



afb. 7

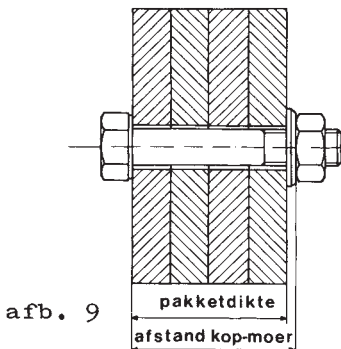
Bij de momentmethode is het niet goed mogelijk aan te draaien tot in het plastisch gebied omdat in dit gebied weinig reserve aan boutkracht (moment) aanwezig is. Bij de hoekmethode is het wel goed mogelijk om aan te draaien tot in het plastisch gebied omdat in dit gebied veel reserve aan boutverlenging (aandraaihoek) aanwezig is.

Zoals bij de momentmethode besproken is, blijkt de momentmethode geschikt te zijn voor het aandraaien in het elastisch gebied, mits de vereiste klemkracht niet groter is dan de helft van de trekbreekkraft van de bout. De hoekmethode is daarentegen niet geschikt voor het aandraaien in het elastisch gebied. Dat de hoekmethode in het elastisch gebied zeer kritisch is, komt omdat in dat gebied de boutverlenging gering is en vele andere factoren mede bepalend zijn voor de grootte van de hoek die nodig is voor het opwekken van de klemkracht. Indien één van deze factoren iets afwijkt, bijvoorbeeld de indrukking van het pakket of de grootte van de aandraaihoek, dan heeft dit in het elastisch gebied van de bout direct belangrijke consequenties voor de grootte van de klemkracht; zie afbeelding 8.



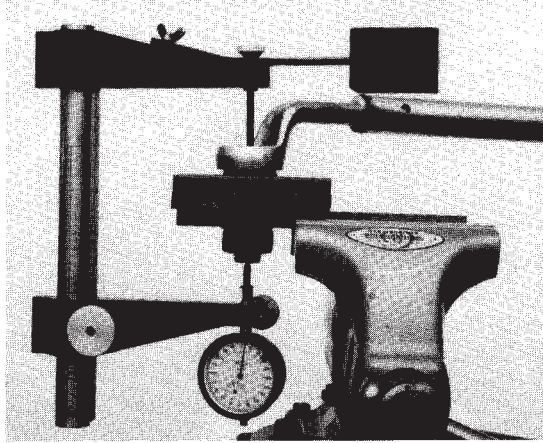
afb. 8

Voor het bepalen van de aandraaihoek die bij vlakke pakketten tenminste de voorgeschreven klemkracht opwekt zonder dat de verlenging te groot wordt, is een serie aandraaiproeven uitgevoerd. Bij die proeven zijn bouten geplaatst in pakketjes opgebouwd uit vlakke plaatjes; zie



afb. 9

afbeelding 9. Om de speling uit het pakketje te halen is de moer eerst aangedraaid met een klein moment (50 Nm), zogenaamd handvast. Daarna is de stand van de moer ten opzichte van de steel gemarkeerd. Deze stand van de moer is als uitgangspositie (nulstand) voor het verder aandraaien over bepaalde hoeken aangehouden. Tijdens het aandraaien is de verlenging van de bout gemeten met behulp van een meetbeugel met een meetklokje; zie afbeelding 10.



afb. 10

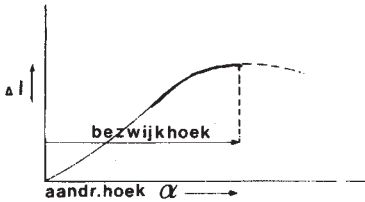
In het elastisch gebied is de verlenging vrij nauwkeurig een maat voor de in de bout aanwezige kracht. In het elastisch gebied is het meten van de verlenging een snelle en betrouwbare manier om de in de bout aanwezige kracht te bepalen.

Bij deze aandraproeven zijn bepaald:

- a. de hoek nodig om, na het handvast aandraaien, de vereiste minimale voorspankracht $F_v = 0,8 \cdot \sigma_{0,2} \cdot A_s$ op te wekken (deze waarde voor F_v is ontleend aan de ECCS Recommendations en is ook conform de voorlopige Nederlandse norm);
- b. de hoek nodig om, na het handvast aandraaien, de boutverlenging op te wekken die tweemaal zo groot is als de verlenging ten gevolge van de klemkracht $F_v = 0,8 \cdot \sigma_{0,2} \cdot A_s$; bij deze verlenging is de bout duidelijk tot in het plastische gebied belast;
- c. de hoek nodig om het bezwijken van de bout te bewerkstelligen.

Het bezwijken van de bout kan op twee manieren gebeuren. De bout kan bezwijken door breuk van de steel of door dol worden van de schroefdraad. Breuk van de steel openbaart zich duidelijk, dol worden van de schroefdraad is daarentegen minder duidelijk te zien.

Het dol worden van de schroefdraad is bij de proeven geconstateerd door tijdens het aandraaien de boutverlenging te meten. Zodra bij het toenemen van de aandraaihoek de boutlengte niet meer toeneemt, is dat een bewijs dat de schroefdraad dol begint te worden.



De aandraaihoek waarbij dit werd geconstateerd is als bezwijkhoek voor het dol worden van de schroefdraad aangehouden; zie afbeelding 11.

afb. 11

Om een indruk te geven zijn in tabel 1 enkele gemiddelde waarden uitgezet van proefpakketjes met dezelfde klemdikten. Bij deze pakketjes is steeds een voordraaimoment toegepast van 50 Nm.

bout- middel lijn	bout- kwal.	afstand kop-moer mm	aandraaihoek, na het voor- draaimoment, voor het berei- ken van:			manier van be- zwingen
			F_v	$2x\Delta l_{F_v}$	bezingen	
M16	10.9	28	100°	233°	315°	dol
		47	87°	178°	347°	
	8.8	28	93°	132°	587°	
		47	95°	237°	577°	
M20	10.9	33	107°	190°	360°	
		62	155°	317°	395°	
	8.8	33	130°	237°	465°	
		66	112°	218°	453°	
M24	10.9	43	100°	200°	300°	steel
		73	93°	140°	477°	
	8.8	43	87°	183°	570°	dol
		73	105°	180°	640°	

tabel 1

Bij de bouten van de kwaliteit 8.8 is de bezwijkhoek groter dan bij de bouten van de kwaliteit 10.9. Uit tabel 1 blijkt ook dat de invloed van de klemdikte op de verschillende aandraaihoeken niet groot is. Op het eerste gezicht doet dit misschien vreemd aan; de oorzaak hiervan kan als volgt worden verklaard:

- de elastische verlenging van het gedeelte van de boutsteel zonder schroefdraad is uiterst gering in vergelijking met andere vervormingen zoals van de schroefdraad en de indrukking van sluitring en boutkop in de constructiedelen;
- de totale elastische verlenging van de boutsteel, als gevolg van het aanbrengen van $F_v = 0,8 \cdot \sigma_{0,2} \cdot A_s$, kan voor de bouten met de kwaliteit 10.9 gelijk gesteld worden aan:



$$\Delta l = 3l + 30 \quad (\Delta l \text{ in } \mu\text{m}, l \text{ in mm})$$

Is $l = 50$ mm dan is:

$$\Delta l = 3 \times 50 + 30 = 180 \mu\text{m} = 0,18 \text{ mm}$$

Is $l = 100$ mm dan is:

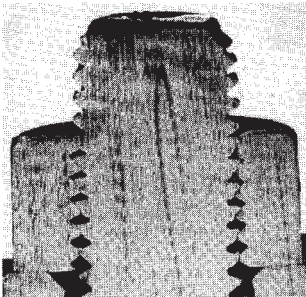
$$\Delta l = 3 \times 100 + 30 = 330 \mu\text{m} = 0,33 \text{ mm}$$

afb. 12

een verschil van 0,15 mm; bij een
 spoed van 2,5 mm (M20) is hiervoor slechts een aandraaihoek
 nodig van:

$$\frac{0,15}{2,5} \times 360^\circ \approx 22^\circ;$$

- de plastische verlenging van de bout komt voornamelijk uit het gedeelte van de steel met schroefdraad; de lengte van de steel zonder schroefdraad heeft dus weinig invloed op de totale verlenging;
- bij de grotere boutkrachten treden ook grote vervormingen van de schroefdraad op; zie afbeelding 13.



Ook treden grote vervormingen op ten gevolge van de indrukking van sluitring en boutkop in de constructiedelen. Al deze vervormingen zijn onafhankelijk van de lengte van de boutsteel.

afb. 13

Wordt bij deze vlakke pakketten voor het opwekken van de klemkracht $F_v = 0,8 \cdot \sigma_{0,2} \cdot A_s$, na het voordraaimoment van 50 Nm, een aandraaihoek van 180° aangehouden, dan blijkt dat volgens de resultaten in tabel 1:

1. in alle gevallen tenminste de voorspankracht $F_v = 0,8 \cdot \sigma_{0,2} \cdot A_s$ wordt opgewekt;
2. ten opzichte van afdraaien bij de bouten van de kwaliteit 10.9 tenminste een reserve hoek aanwezig is van 120° en bij de bouten van de kwaliteit 8.8 de reserve hoek tenminste 270° is.

Toepassingsgebied van de hoekmethode:

Dehoekmethode is alleen goed bruikbaar indien:

- de constructiedelen vlak zijn en slechts een klein voordraaimoment nodig is om de speling tussen de onderdelen op te heffen;
- de bouten aangedraaid worden tot in het plastische gebied.

De methode is uitermate geschikt en zeer betrouwbaar voor bouten in constructiedelen waarbij de contactvlakken van het begin af vlak op elkaar liggen. Vooral voor vele werktuigbouwkundige constructies (geschaafde vlakken) zal deze simpele methode met vrucht kunnen worden toegepast. De moer moet ten opzichte van de boutsteel over een bepaalde aandraaihoek worden verdraaid. In verband met de kans op meedraaien van de bout is het nodig de moer ten opzichte van de boutsteel te merken, zie afbeelding 14, voordat de aandraaihoek wordt aangebracht.



afb. 14

Een groot voordeel van deze methode is dat de gebruiker, voor het aanbrengen van de aandraaihoek, volkomen vrij is in de keuze van het aandraagereedschap. Een verder voordeel van deze methode is dat men geen rekening hoeft te houden met variatie in draadwrijving en spiegelwrijving. Voor de bout zelf is het wel nodig dat een smeermiddel op de schroefdraad aanwezig is in verband met de torsie die in de boutsteel optreedt. Bovendien zal het aandraagereedschap dan minder zwaar worden belast bij het aanbrengen van de vereiste aandraaihoek of kan met lichter aandraagereedschap worden volstaan.

Voor de aandraaihoek die, na niet te zwaar aandraaien met een normale sleutel (50 à 200 Nm), aangebracht moet worden, kunnen de waarden worden aangehouden die vermeld zijn in tabel 2.

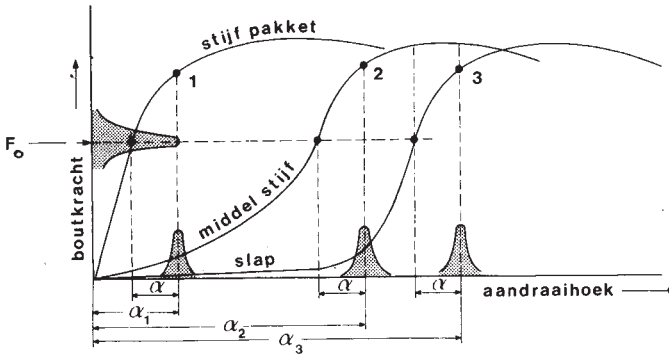
bout- middellijn	klemdikte mm	aandraaihoek in graden
M16 t/m M27	10 - 70	150 - 180
	71 - 120	180 - 210
	121 - 170	210 - 240
M16 t/m M22	171 - 240	270 - 300
M24 t/m M27	171 - 240	240 - 270

tabel 2

3.3 Moment-hoekmethode

De moment-hoekmethode is een aandraaimethode waarbij, voor het opwekken van een zekere klemkracht, eerst de moer (of de kop) wordt aangedraaid totdat een vooraf vastgesteld moment wordt bereikt, terwijl daarna de moer ten opzichte van de steel over een zekere hoek verder wordt gedraaid.

Bij de momentmethode is de boutkracht die wordt opgewekt onafhankelijk van de speling tussen de constructiedelen, echter is deze methode slechts bruikbaar voor niet te hoge boutkrachten, anders bestaat er kans op afdraaien. Bij niet stijve pakketten wordt nu in eerste instantie de momentmethode gebruikt om de speling tussen de constructiedelen te verwijderen. Hierdoor wordt een goede uitgangspositie geschapen voor de daarna aan te brengen nadraaihoek. Deze nadraaihoek kan nu zodanig worden gekozen dat de boutkracht in het plastisch gebied komt terwijl toch voldoende reserve tegen afdraaien aanwezig blijft. Bij de in eerste instantie toe te passen momentmethode is de boutkracht die opgewekt wordt wel afhankelijk van de draad- en spiegelwrijving maar niet afhankelijk van de vervorming van de constructiedelen. Bij de daarna toe te passen hoekmethode is de boutkracht die opgewekt wordt niet afhankelijk van de draad- en spiegelwrijving maar wel van de vervorming die tijdens het nadraaien optreedt. In verband hiermede wordt getracht met het voordraaimoment de constructiedelen zodanig op elkaar te klemmen dat bij de daarna toe te passen hoekmethode de optredende vervorming bij de verschillende constructies zo constant mogelijk is. Om dat te bewerkstelligen moet bij de in eerste instantie toe te passen momentmethode het aandraaimoment zo hoog mogelijk worden gekozen, echter wel zodanig dat, rekening houdend met variatie in draadwrijving, spiegelwrijving en andere afwijkingen, niet de kans bestaat dat de boutkracht in het plastisch gebied komt. Uit afbeelding 15 blijkt dat door eerst tot een voldoende hoog moment aan te draaien, het mogelijk is met een constante nadraaihoek goede boutkrachten op te wekken, ondanks de oorspronkelijke verschillen in speling en stijfheid van de constructiedelen. De kracht F_0 is de kracht die opgewekt wordt door het aandraaien tot een bepaald moment. De punten 1, 2 en 3 geven de krachten die opgewekt zijn nadat de nadraaihoeken α zijn aangebracht. Indien geen voordraaimoment toegepast wordt dan zijn de verschillen in de benodigde aandraaihoeken bijzonder groot (zie de hoeken α_1, α_2 en α_3) en is het niet mogelijk om voor de verschillende gevallen één constante aandraaihoek aan te houden.

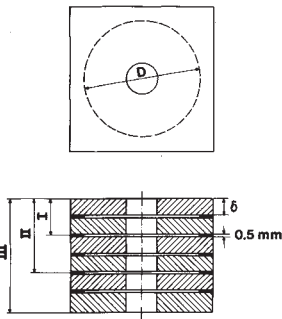


afb. 15

Om te bepalen welk voordraaimoment en welke nadraaihoek het best aangehouden kunnen worden voor verbindingen met voorspanbouts in staalconstructies, zijn op uitgebreide schaal aandraaiproeven uitgevoerd.

Bij verbindingen in staalconstructies kunnen allerlei spelingen voorkomen, bijvoorbeeld als gevolg van vervormingen door elektrisch lassen of door maatafwijkingen, bovendien kunnen de stijfheden van de constructiedelen sterk variëren.

Bij de proefpakketjes voor de aandraaiproeven zijn de spelingen en stijfheden daarom ook zo veel mogelijk gevarieerd. In afbeelding 16 is een pakketje getekend.



De speling is verkregen door vulplaatjes met een rond gat aan te brengen tussen de proefplaatjes. Bovendien is het aantal plaatjes gevarieerd. Verschillende stijfheden zijn verkregen door de diameter (D) van het gat in de vulplaatjes en de dikte (δ) van de proefplaatjes te variëren.

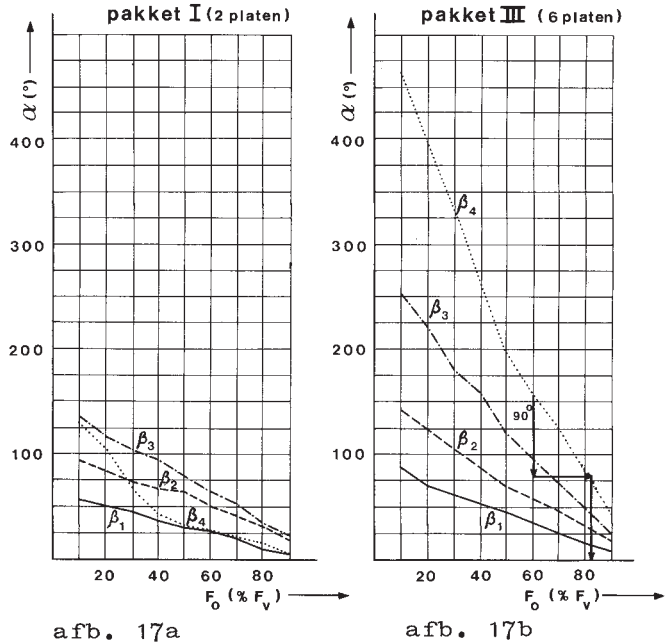
Bij deze proeven zijn bouten toegepast met de middellijnen M16, M20 en M24, steeds van de kwaliteit 10.9.

afb. 16

Bij de proeven is eerst tot een moment aangedraaid en dus een zeker gedeelte van de voorspankracht opgewekt. Vervolgens is de nadraaihoek α bepaald waarover nog aangedraaid moest worden om de kracht F_0 die door het voordraaien opgewekt was, op te voeren tot de waarde van de voorgeschreven voorspankracht F_v . In de afbeeldingen 17a en 17b zijn van pakketjes met respectievelijk twee en zes plaatjes de nadraaihoeken α uitgezet als functie van de oorspronkelijk aanwezige kracht F_0 (de kracht die door het voordraaimoment is opgewekt).

Bij die pakketjes waren de plaatjes 10 mm dik, de vulplaatjes 0,5 mm en was de middellijn van de bout M16. Voor het nagaan van de invloed van de pakketstijfheid is voor de vulplaatjes aangehouden:

- geval β_1 = zonder vulplaatjes
- geval β_2 = met vulplaatjes 0,5 mm, $D = 2d$
- geval β_3 = met vulplaatjes 0,5 mm, $D = 3d$
- geval β_4 = met vulplaatjes 0,5 mm, $D = 6d$



Uit afbeelding 17b blijkt overduidelijk dat indien de kracht die door het voordraaimoment wordt opgewekt klein is, de benodigde nadraaihoeken heel sterk verschillen. Is bijvoorbeeld de kracht die door het voordraaimoment wordt opgewekt gelijk aan 30% van de voorgeschreven voorspankracht ($F_0 = 0,3 F_V$), dan zijn voor het verkrijgen van de voorspankracht volgens afbeelding 17b de volgende nadraaihoeken nodig:

- geval $\beta_1 \rightarrow \alpha = 60^\circ$
- geval $\beta_2 \rightarrow \alpha = 105^\circ$
- geval $\beta_3 \rightarrow \alpha = 180^\circ$
- geval $\beta_4 \rightarrow \alpha = 330^\circ$

Wordt door het voordraaimoment een kracht $F_0 = 0,7 F_V$ opgewekt dan zijn volgens afbeelding 17b de benodigde nadraaihoeken:

- geval $\beta_1 \rightarrow \alpha = 28^\circ$
- geval $\beta_2 \rightarrow \alpha = 48^\circ$

$$\begin{aligned} \text{geval } \beta_3 &\rightarrow \alpha = 73^\circ \\ \text{geval } \beta_4 &\rightarrow \alpha = 125^\circ \end{aligned}$$

Hiermee is nog eens duidelijk getoond dat de kracht die door het voordraaimoment wordt opgewekt zo groot mogelijk moet worden gekozen om in alle gevallen met een constante nadraaihoek tot bevredigende resultaten te kunnen komen.

In de Nederlandse richtlijnen voor het gebruik van voorspanbouten in staalconstructies is voorgeschreven dat met het voordraaimoment in de bout een kracht moet worden opgewekt van:

$$F_o = \frac{3}{4} F_v$$

Hierbij is: $F_v = 0,8 \cdot \sigma_{0,2} \cdot A_s$

Bij toepassing van bouten van de kwaliteit 10.9 is dus:

$$F_v = 0,8 \cdot 0,9 \sigma_{t_{\min}} \cdot A_s = 0,72 \sigma_{t_{\min}} \cdot A_s$$

dus:

$$F_v = 0,72 F_{u_t}$$

$$F_o = \frac{3}{4} F_v = \frac{3}{4} \cdot 0,72 F_{u_t} = 0,54 F_{u_t}$$

(deze waarde is slechts iets groter dan de $F_{v_{\max}}$ in het hoofdstuk moment-methode).

Indien voor het bepalen van het benodigde moment of voor het afstellen van de moeraanzetter gebruik wordt gemaakt van een boutkrachtmeter dan is de kracht $F_o = 0,54 F_{u_t}$ volledig verantwoord aan te brengen.

In het hiervoor behandelde is bij de momentmethode reeds gesteld dat een kracht die gelijk is aan de helft van de trek-breekkracht met de momentmethode zonder gevaar voor afdraaien aan te brengen is, onder voorwaarde dat voor het bepalen van het benodigde moment een boutkrachtmeter wordt gebruikt.

In verband met de spreiding in draad- en spiegelwrijving die ook bij één serie bouten altijd aanwezig is, kan niet worden verlangd dat met het voordraaimoment exact $F_o = \frac{3}{4} F_v$ wordt opgewekt.

Een zekere afwijking zal altijd moeten worden toegestaan. Voor voorspanbouten kan worden aangehouden:

$$0,60 F_v < F_o < 0,85 F_v$$

Om in alle gevallen tenminste de vereiste voorspankracht F_v te verkrijgen zonder kans op overbelasting van de bout is, zoals hierna zal worden aangetoond, nog een nadraaihoek van 90° nodig. Voor verbindingen met voorspanbouten in staalconstructies moet volgens de Nederlandse richtlijnen ook worden aangehouden:

$$\alpha = 90^\circ$$

Volgens de Nederlandse richtlijnen voor voorspanbouten geldt voor de moment-hoekmethode dus:

$$\frac{3}{4} F_V + 90^\circ$$

Dat niet het aandraaimoment gegeven is maar de boutkracht $\frac{3}{4} F_V$ die met het moment moet worden opgewekt, volgt uit het feit dat het moment secundair is en de boutkracht die wordt opgewekt primair.

De boutkracht moet namelijk zorgen dat de constructiedelen op elkaar worden geklemd zodat dan de nadraaihoek kan worden aangebracht. Het moment is slechts een hulpmiddel om de kracht op te wekken.

Bij een groep bouten zal het voordraaimoment, nadat de hele groep bouten aangedraaid is, nog een keer aangebracht moeten worden in verband met zettingen van de constructiedelen waardoor een onderlinge beïnvloeding van de boutkrachten kan optreden.

De moment-hoekmethode, met de waarden $\frac{3}{4} F_V + 90^\circ$, zal nu getoetst worden aan de resultaten volgens de afbeeldingen 17a en 17b.

Aangenomen moet worden dat met het voordraaimoment een minimumkracht gelijk aan $F_0 = 0,60 F_V$ kan worden opgewekt en een maximumkracht gelijk aan $F_0 = 0,85 F_V$.

Indien vanuit deze krachten een nadraaihoek $\alpha = 90^\circ$ uitgezet wordt dan blijkt het volgende.

De hoek van 90° uitgezet vanuit $F_0 = 0,85 F_V$ geeft altijd krachten groter dan F_V , het enige dat hierbij van belang is dat voldoende reserve tegen afdraaien moet blijven bestaan; daarover geven aandraaiproeven in stijve pakketten uitsluitel.

Voor het pakket bestaande uit twee platen, zie afbeelding 17a, is een hoek van $\alpha = 90^\circ$ in alle gevallen voldoende om vanuit $F_0 = 0,60 F_V$ de voorspankracht F_V op te wekken, voor β_3 is 70° al voldoende, voor β_1 slechts 25° .

Voor het pakket bestaande uit zes platen, zie afbeelding 17b, is uitgaande van $F_0 = 0,60 F_V$ een hoek $\alpha = 90^\circ$ niet in alle gevallen voldoende. Voor β_4 geeft een hoek van 90° een kracht van $0,83 F_V$, voor β_3 is $\alpha = 90^\circ$ bijna voldoende, bij de pakketten β_1 en β_2 is $\alpha = 90^\circ$ ruim voldoende.

Opgemerkt moet worden dat de proefpakketjes met zes platen tamelijk ongunstig zijn en bovendien uitgegaan is van de minimumkracht ($F_0 = 0,60 F_V$) die met het voordraaimoment tenminste moet worden opgewekt.

Ook zullen verbindingen met één bout, afbeelding 17b, 6 platen, geval β_4 , of verbindingen met een overeenkomstig gedrag wel nooit voorkomen.

Bij aanwezigheid van meer dan één bout is het niet goed denkbaar dat ze zich alle in deze uiterst ongunstige situatie zullen bevinden en is derhalve de gemiddelde opgewekte voorspankracht per boutgroep stellig niet onaanzienlijk gunstiger.

Voor verbindingen met voorspanbouten in staalconstructies is de moment-hoekmethode met $\frac{3}{4} F_V + 90^\circ$ in de praktijk voldoende betrouwbaar gebleken.

Toepassingsgebied van de moment-hoekmethode:

De moment-hoekmethode is vooral van groot belang indien:

- het niet zeker is dat de constructiedelen in de begin-toestand vlak op elkaar liggen;
- grote klemkrachten worden vereist.

De moment-hoekmethode is voor het aandraaien van voorspanbouts in staalconstructies voldoende betrouwbaar gebleken. Vooral bij staalconstructies kan er meestal niet van worden uitgegaan, dat de constructiedelen in de begintoeestand vlak op elkaar liggen.

De klemkracht $F_0 = \frac{3}{4} F_v$ zal praktisch altijd voldoende zijn om de constructiedelen op elkaar te brengen of althans zodanig naar elkaar toe te brengen dat bij het aanbrengen van de nadraaihoek nagenoeg geen vervorming van het pakket meer zal optreden.

De nadraaihoek van 90° is dan voldoende om tenminste de vereiste voorspankracht F_v op te wekken.

Ook in de werktuigbouw zal de moment-hoekmethode voor verschillende constructies met succes kunnen worden toegepast. Als voorbeeld kan gedacht worden aan de bevestiging van cilinderkoppen van motoren. Hierbij heeft men door de aanwezigheid van de koppakking ook te maken met een, vooral aanvankelijk, variabele stijfheid.

4. AANDRAAITGEREEDSCHAPPEN

4.1. Momentsleutels

Om het moment te kunnen aflezen dat men met een sleutel tijdens het aandraaien uitoefent, zijn vele typen sleutels ontworpen.

Het aandraaien van bouten met behulp van momentsleutels is in vergelijking met het aandraaien met pneumatische moeraanzetters zeer tijdrovend. Bovendien vergt het aandraaien met momentsleutels een veel grotere lichamelijke inspanning. Moet een groot aantal bouten aangedraaid worden dan zal het meestal economisch niet verantwoord zijn om dat met moment-sleutels te doen.

Voor het aandraaien van kleine aantallen bouten hebben momentsleutels, door de kleine investering en de minder omvangrijke uitrusting die zij vergen, nog wel een toepassingsgebied.

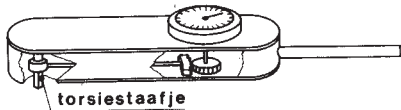
Daar voor goed gebruik van momentsleutels nog wel enig inzicht nodig is, wordt de werking van enkele sleutels kort uiteengezet en zullen tevens enkele bijzonderheden worden vermeld.

Bij momentsleutels wordt gebruik gemaakt van de elastische vervorming van een onderdeel om het moment te meten dat door de sleutel op de moer wordt uitgeoefend.

Bij momentsleutels kunnen de volgende twee typen worden onderscheiden:

1. Sleutels waarbij het moment dat wordt uitgeoefend op een schaalverdeling moet worden afgelezen;
2. Sleutels die bij het bereiken van een vooraf ingesteld moment waarschuwen (de sleutel kan onder andere doorknikken, klikken, of ook kan een lampje gaan branden).

In afbeelding 18 is een sleutel getekend waarbij de aanduiding van het moment wordt verkregen door de elastische hoekverdraaiing van een torsiestaafje.



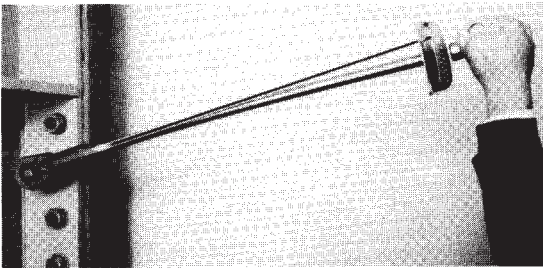
afb. 18

Bij de sleutel volgens afbeelding 19 wordt de uitslag van de wijzer opgewekt door elastische doorbuiging van een platte staaf die in het inwendige van de sleutel is aangebracht.



afb. 19

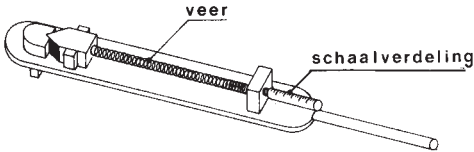
Afbeelding 20 toont een sleutel waarbij de aanwijzing van het moment verkregen wordt door de elastische doorbuiging van de hefboomsarm.



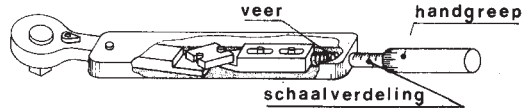
afb. 20

Zoals uit afbeelding 19 blijkt, buigt de hefboomsarm waaraan de schaalverdeling is bevestigd door, terwijl de onbelaste aanwijznaald recht blijft. Daardoor wordt de mogelijkheid geschapen het moment dat uitgeoefend wordt af te lezen.

In de afbeeldingen 21 en 22 zijn twee sleutels geschetst waarbij door het spannen van een veer het moment ingesteld kan worden waarbij de sleutel doorknikt.

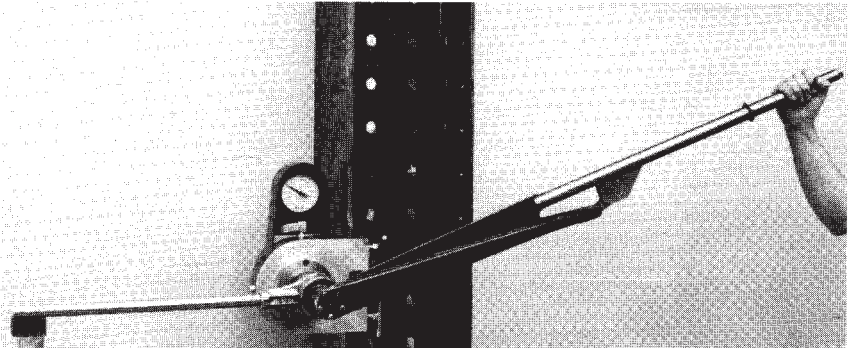


afb. 21

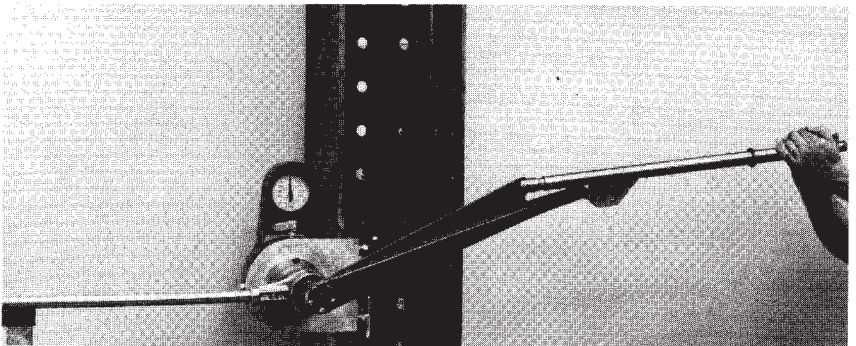


afb. 22

Afbeelding 23 toont een sleutel met spanveer waarbij het uitgeoefende moment kleiner is dan het ingestelde moment, terwijl afbeelding 24 dezelfde sleutel laat zien als het uitgeoefende moment groter is dan het ingestelde moment; de sleutel is dan doorgeknikt.

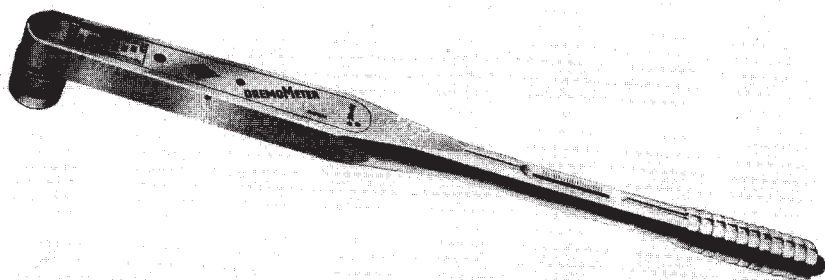


afb. 23

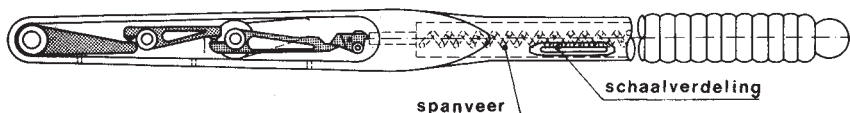


afb. 24

Ook bij de sleutel volgens afbeelding 25 wordt gebruik gemaakt van een spanveer. In afbeelding 26 is het stelsel van hefboomen getekend dat in deze sleutels is aangebracht.



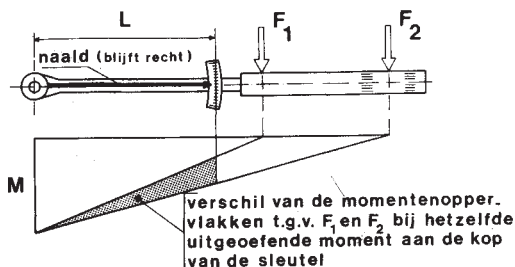
afb. 25



afb. 26

Aan het eind van de serie hefboomen is een klein hefboompje bevestigd dat met een neusje tegen een pen aandrukt waarop door een veer een bepaalde kracht wordt uitgeoefend. Zodra de kracht van het neusje groter wordt dan de kracht van de veer, schiet de voorlaatste hefboom tegen de wand van de sleutel hetgeen met een duidelijke klik gepaard gaat. Bij het waarnemen van dat signaal moet het aandraaien worden gestopt.

Bij sommige momentsleutels (onder andere de sleutel volgens afbeelding 20) moet men erop letten dat de sleutel op de juiste plaats wordt vastgehouden. Aan de hand van de in afbeelding 27 getekende momentsleutel zal worden aangetoond dat het, voor een juiste aanwijzing van die sleutels, noodzakelijk is dat zij op de juiste plaats worden aangevat.



afb. 27

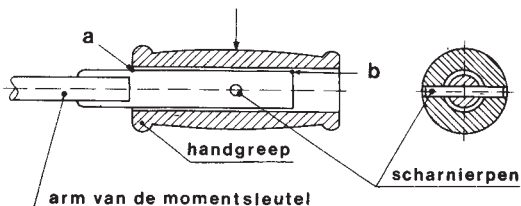
Bij de in afbeelding 27 getekende sleutel wordt de aanwijzing van het moment veroorzaakt door de elastische doorbuiging van de hefboom over de lengte L (de staaflengte van kop tot schaalverdeling). De doorbuiging van dit gedeelte van de hefboom wordt bepaald door het oppervlak van het momentvlak en de vorm van de momentenlijn voor dit staafgedeelte.

Een bepaald moment M aan de kop van de sleutel kan zowel worden opgewekt door de kracht F_1 als door de kleinere kracht F_2 . Wordt het moment opgewekt door de kracht F_2 , dan is het oppervlak van het momentenvlak over de lengte L van de staaaf groter dan wanneer hetzelfde moment opgewekt wordt door de kracht F_1 . Bij hetzelfde moment dat op de kop wordt uitgeoefend zal, als dit moment opgewekt wordt door de kracht F_2 , de sleutel een groter moment aanwijzen dan wanneer dit moment uitgeoefend wordt door de kracht F_1 . Indien de sleutel volgens afbeelding 27 voor het opwekken van een bepaald moment door de kracht F_1 wordt belast in plaats van door de kracht F_2 dan is het op de moer uitgeoefende moment 15 à 20% groter dan het moment dat de wijzer op de schaalverdeling aangeeft.

Voor een juiste aanwijzing van de sleutel is het dus belangrijk dat deze op de juiste plaats wordt vastgehouden.

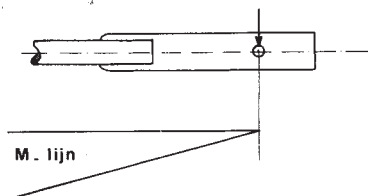
Het gebruik van bijvoorbeeld een verlengpijp die niet bij een sleutel van dit type hoort veroorzaakt een foutieve aanwijzing. Bij de sleutel in afbeelding 27 is de plaats waar deze vastgehouden moet worden gemarkeerd door twee gekartelde ringen; het naast deze plaats vasthouden is fout!

Om het aangrijpingspunt van de kracht die op de sleutel wordt uitgeoefend precies vast te leggen, zijn sommige momentsleutels voorzien van een handgreep die om een pen kan scharnieren; zie afbeelding 28. Vooral bij korte sleutels kan dit van belang zijn.



afb. 28

Tijdens het aandraaien moet men ervoor zorgen dat de belasting die op de handgreep wordt uitgeoefend, altijd via de scharnierpen op de arm wordt overgebracht. Het aangrijpingspunt van de kracht is dan exact vastgelegd, zodat de momentenlijn van de arm steeds de juiste vorm zal hebben; zie afbeelding 29. Bij onjuist gebruik zal de handgreep scheef gaan staan en bij a of b (afb.28) tegen de arm gaan rusten. De momentenlijn is dan niet juist en daardoor de aanwijzing van het moment onjuist. Of de sleutel onjuist is vastgehouden is niet direct controleerbaar; de monteur moet op dat punt voldoende oplettend zijn.



afb. 29

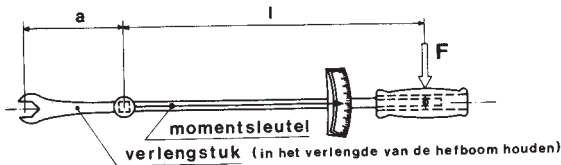
Indien een momentsleutel niet toereikend is om een bepaald moment aan te brengen, dan kan in de eerste plaats worden geprobeerd het benodigde moment te verlagen door op de schroefdraad en de spiegel van de moer een goed smeermiddel aan te brengen. Is het niet mogelijk het benodigde moment voldoende te verlagen dan kan het moment, dat op de moer moet worden uitgeoefend door middel van de volgende hulpstukken toch worden aangebracht:

- een verlengstuk
- een momentvermeerderingskop

Het toepassen van een verlengstuk, zie afbeelding 30, kan economisch zeer aantrekkelijk zijn.

Stel dat men alleen in het bezit is van een momentsleutel waarmee maximaal 500 Nm kan worden uitgeoefend. Moet men nu een moment aanbrengen van bijvoorbeeld 600 Nm, dan kan men aanschaffen: een grotere momentsleutel of een momentvermeerderingskop of een verlengstuk.

Het is duidelijk dat de laatst genoemde aanschaffing veel goedkoper is dan de eerste twee. In verband daarmee zal wat verder op de toepassing van verlengstukken worden ingegaan. In de handel zijn verlengstukken met diverse lengten verkrijgbaar. Bij het toepassen van die verlengstukken kan het moment dat op de moer wordt uitgeoefend worden verkregen door het moment, dat aangegeven wordt door de wijzer van de momentsleutel met een bepaalde factor te vermenigvuldigen. De vermenigvuldigingsfactor laat zich als volgt eenvoudig bepalen:



afb. 30

De hefboomsarm van de momentsleutel = l
 De armlengte van het verlengstuk = a

Het moment dat op de moer wordt uitgeoefend is gelijk aan:

$$M_{\text{moer}} = F (l+a)$$

Het moment dat de wijzer van de sleutel aangeeft is gelijk aan:

$$M_{\text{sleutel}} = F \times l$$

Hieruit volgt:

$$M_{\text{sleutel}} = M_{\text{moer}} \times \left(\frac{l}{l+a}\right)$$

of

$$M_{\text{moer}} = M_{\text{sleutel}} \times \left(\frac{l+a}{l}\right)$$

Is bijvoorbeeld $a = \frac{1}{2} \ell$ en moet op de moer een moment worden uitgeoefend van 600 Nm, dan moet de sleutel aanwijken:

$$M_{\text{sleutel}} = 600 \times \left(\frac{\ell}{\ell + \frac{1}{2}\ell} \right) = 600 \times \frac{2}{3} = 400 \text{ Nm}$$

Is $a = \ell$, dan wordt in dat geval:

$$M_{\text{sleutel}} = 600 \times \left(\frac{\ell}{\ell + \ell} \right) = 600 \times \frac{1}{2} = 300 \text{ Nm}$$

Is de lengte van het verlengstuk gelijk aan de lengte van de hefboomsarm van de momentsleutel, dan moet men dus aandraaien totdat de momentsleutel een moment aanwijst dat gelijk is aan de helft van het moment dat men op de moer wil uitoefenen. De capaciteit van de momentsleutel wordt dan dus verdubbeld. Met een momentsleutel van 500 Nm kan nu op de moer een moment van 1000 Nm worden uitgeoefend.

Het bovenstaande geldt alleen indien het verlengstuk in het verlengde van de hefboomsarm valt; is dat niet het geval, dan moet men met andere vermenigvuldigingsfactoren rekenen.

Zoals in hoofdstuk 5. "Boutkrachtmeters" wordt uiteengezet, is het zeer aanbevelenswaardig met een boutkrachtmeter te bepalen tot welk moment aangedraaid moet worden om " $\frac{3}{4} F_v$ " in de bouten op te wekken.

Indien men gebruik maakt van een boutkrachtmeter, dan kan men ook het toe te passen verlengstuk bij de momentsleutel gebruiken. Hierdoor is het dan tevens niet meer nodig met een vermenigvuldigingsfactor te rekenen, daar in dat geval zonder meer de aanwijzing van de momentsleutel aangehouden kan worden.

De aanwijzing van de momentsleutel is dan weliswaar niet gelijk aan het moment dat op de moer wordt uitgeoefend, maar geeft dan toch wel aan dat een bepaalde kracht in de bout wordt opgewekt.

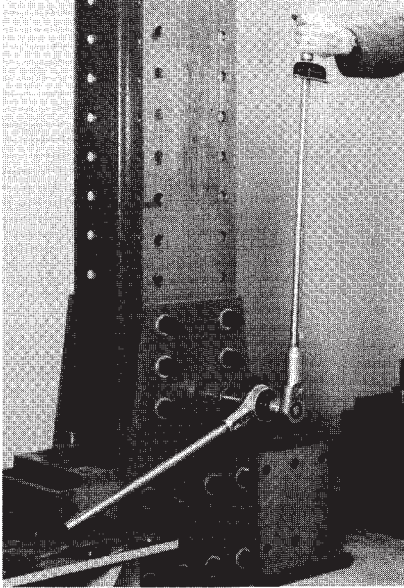
4.2 Momentvermeerderingskop

De benodigde aandraaimomenten kunnen vrij groot zijn; voor bijvoorbeeld een bout M24 van de klasse 10.9 bedraagt het moment dat voor het aanbrengen van de nadraaihoek van 90° nodig is, ongeveer 1100 Nm.

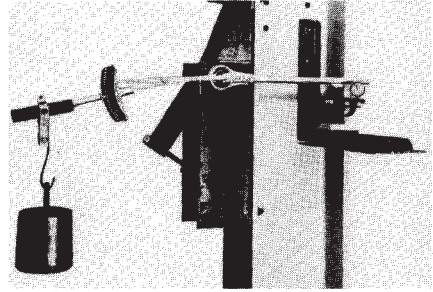
Aan een sleutel met een arm van 1,60 m moet in dat geval dus nog getrokken worden met een kracht van ongeveer 700 N.

Door het toepassen van een momentvermeerderingskop kan de kracht die moet worden uitgeoefend belangrijk worden gereduceerd. Met de in afbeelding 31 getoonde momentvermeerderingskop wordt het moment theoretisch viervoudig vergroot, zodat de monteur theoretisch slechts $\frac{1}{4}$ van het moment hoeft uit te oefenen.

Zoals op afbeelding 31 is te zien, moet de arm van de overbrengingskop tegen een vast deel steunen. De uitgang van de kop wordt op de aan te draaien moer geplaatst, terwijl op de ingang van de kop een momentsleutel wordt geplaatst. Daar in de kop een tandwieloverbrenging aangebracht is, moet men voor het bepalen van het uitgangsmoment rekening houden met wrijvingsverliezen.



afb. 31



afb. 32

Bij het ijken van een dergelijke overbrengingskop (zie afbeelding 32) is een verlies door wrijving van ongeveer 15% gemeten. Bij de metingen in het laboratorium was de variatie in dit wrijvingsverlies gering en acceptabel. Bij gebruik in de praktijk zou, bij minder goed onderhoud en bij de aanwezigheid van vuil, de variatie echter sterk kunnen toenemen. Als het verlies door wrijving 15% bedraagt, dan is het moment dat op de moer wordt uitgeoefend:

$$M_a = 0,85 \times 4 \times M_{\text{momentsleutel}}$$

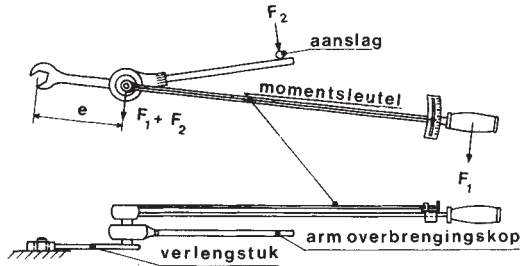
Is bijvoorbeeld $M_a = 1100 \text{ Nm}$, dan moet men met de momentsleutel uitoefenen: $M_{\text{sleutel}} = \frac{1100}{4 \times 0,85} \approx 325 \text{ Nm}$ en niet $\frac{1100}{4} = 275 \text{ Nm}$.

Het moment dat moet worden uitgeoefend is dus aanzienlijk gereduceerd; wel moet men met de sleutel een hoek afleggen die vier maal zo groot is dan zonder kop!

Als men een momentvermeerderingskop wil toepassen voor het opwekken van de kracht " $3/4 F_V$ ", dan hoeft men zich geen zorgen te maken over de wrijvingsverliezen, indien gebruik gemaakt wordt van een boutkrachtmeter. Bij het aandraaien van bouten in een boutkrachtmeter moet de momentsleutel in combinatie met de momentvermeerderingskop gebruikt worden, zodat dan kan worden volstaan met het moment af te lezen dat bij deze combinatie moet worden aangebracht om $3/4 F_V$ in de bouten op te wekken.

Voor moeren die slecht bereikbaar zijn wordt wel gebruik gemaakt van een verlengstuk dat geplaatst wordt tussen de moer die moet worden aangedraaid en de uitgang van de vermeerderingskop. Als men dit doet, moet men er zich wel rekenschap van geven dat hierdoor ten opzichte van de moer een extra moment in het spel betrokken wordt.

Voor de in afbeelding 33 getekende stand van het gereedschap bedraagt het extra moment ongeveer: $M_{\text{extra}} = (F_1 + F_2) e$

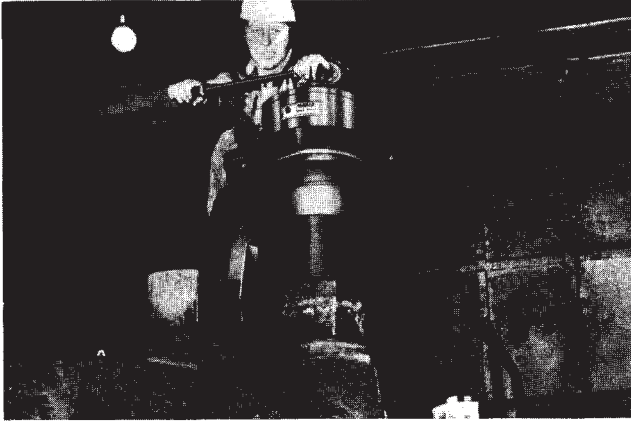


afb. 33

Daar de momentvermeerderingskop van plaats verandert, verandert zowel de werklijn van de kracht F_1 als die van de kracht F_2 van richting. Voor het extra moment dat in rekening moet worden gebracht zijn de richtingen van de krachten van belang op het ogenblik dat het benodigde aandraaimoment wordt bereikt. Het is vrij lastig dat extra moment op de juiste manier te verdisconteren. Indien betekenis gehecht wordt aan een juist moment dat op de moer wordt uitgeoefend, dan is het toepassen van verlengstukken in combinatie met een momentvermeerderingskop sterk af te raden. Dat geldt uiteraard niet als de momentvermeerderingskop wordt gebruikt voor het aanbrengen van de nadraaihoek van 90° .

Bij de in afbeelding 31 gegeven momentvermeerderingskop is de overbrengingsverhouding zodanig dat het moment theoretisch viervoudig wordt vergroot. Voor deze kop is het toegestane maximale uitgangsmoment ongeveer 2800 Nm. In de handel zijn momentvermeerderingskoppen verkrijgbaar met diverse toegestane maximale uitgangsmomenten. Naar gelang het maximale uitgangsmoment groter is, is ook de overbrengingsverhouding van de kop groter. Ook voor de zeer grote uitgangsmomenten kan daardoor het uit te oefenen ingangsmoment betrekkelijk klein blijven. Afbeelding 34 laat zien dat het hierdoor mogelijk is om zeer grote moeren met een kleine sleutel aan te draaien. Van het in afbeelding 34 gegeven type zijn zelfs uitvoeringen verkrijgbaar waarbij het maximaal toegestane uitgangsmoment 50.000 Nm bedraagt. Bij deze uitvoering is de overbrengingsverhouding maar liefst 209 : 1! Om met deze kop één omwenteling van de moer te bewerkstelligen moet de momentsleutel dus 209 omwentelingen maken.

Zoals in afbeelding 34 is te zien, wordt bij dit type momentvermeerderingskoppen gebruik gemaakt van een gebogen reactiearm. Daar deze reactiearm betrekkelijk kort is gehouden, betekent dit dat bij de grotere aandraaimomenten grote krachten op het steunpunt en de arm komen. Bij bijvoorbeeld de zwaarste uitvoering is het mogelijk een theoretisch moment van 50.000 Nm op de moer uit te oefenen. De overbrengingsverhouding bij die kop bedraagt 209 : 1.

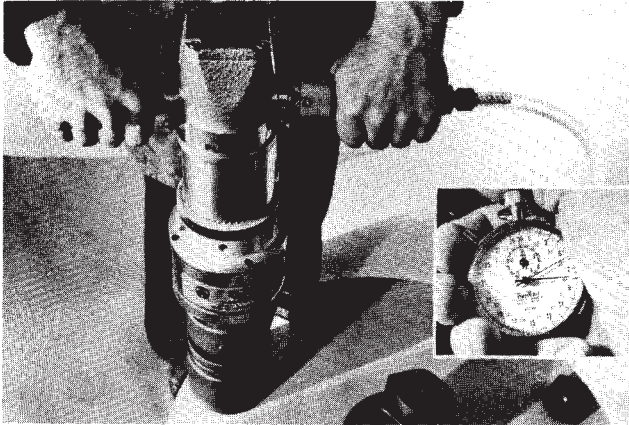


afb. 34

Indien wordt afgezien van wrijvingsverliezen, dan zal als op de moer 50.000 Nm moet worden uitgeoefend, de momentsleutel hiervan slechts $\frac{1}{209} \times 50.000 = 239$ Nm moeten leveren en de reactiearm

$\frac{208}{209} \times 50.000 = 49761$ Nm. Is de arm bijvoorbeeld 0,5 m lang, dan wordt in dit geval de kracht op de arm: $\frac{49761}{0,5} = 99522$ N \approx 100 kN.

Door de grote overbrengingsverhouding die bij de zwaardere uitvoeringen bestaat is het moment dat met de sleutel moet worden uitgeoefend klein, maar het aantal omwentelingen dat met de sleutel gemaakt moet worden is groot en dit laatste kost tijd. Door gebruik te maken van de in afbeelding 35 gegeven pneumatische aandrijfmotor kan tijd worden gespaard. Daar het ingangsmoment klein blijft is het mogelijk de luchtmotor met de handen vast te houden zonder dat veel inspanning nodig is. Indien aangedraaid wordt volgens de hoekmethode, dan kunnen op deze wijze grote moeren betrekkelijk snel over een bepaalde hoek worden aangedraaid. In dat geval hoeft men geen rekening te houden met wrijvingsverliezen die in de kop optreden. Het enige waar men op moet letten is dat de moer ten opzichte van de steel over de voorgeschreven hoek wordt gedraaid. Ook als tot een bepaald moment moet worden aangedraaid kan van de luchtmotor gebruik worden gemaakt. De luchtmotor kan namelijk in enkele seconden worden afgekoppeld, waardoor het mogelijk is eerst met de luchtmotor de moeren gedeeltelijk aan te draaien en daarna de luchtmotor te vervangen door een momentsleutel. Met dezelfde momentvermeerderingskop kunnen de moeren daarna worden aangedraaid tot het voorgeschreven moment is bereikt. Bij de bepaling van het voor te schrijven moment dient men uiteraard wel rekening te houden met de wrijvingsverliezen die in de momentvermeerderingskop optreden.



afb. 35

4.3 Moeraanzetters

Zoals reeds bij de behandeling van hoofdstuk 4.1 "Moment-sleutels" is vermeld, kunnen bouten met behulp van pneumatische moeraanzetters zeer snel worden gemonteerd. Bovendien vergt het aandraaien met moeraanzetters een veel geringere lichamelijke inspanning dan het aandraaien met momentsleutels. In vele gevallen zal het aandraaien met moeraanzetters dan ook veel economischer zijn.

De volgende twee principieel verschillende pneumatische moeraanzetters kunnen worden onderscheiden:

- pneumatische moeraanzetter met slagmechanisme;
- pneumatische moeraanzetter met zuiger-hefboom mechanisme.

4.3.1 Pneumatische moeraanzetters met slagmechanisme

In een pneumatische moeraanzetter met slagmechanisme is een luchtmotor aanwezig die het slagmechanisme aandrijft. De luchtmotor wordt gedreven door perslucht die door een compressor wordt geleverd. Het slagmechanisme bestaat uit een roterende hamer en een roterend aambeeld. Door de krachtige slagen die door de hamer op het aambeeld worden uitgeoefend, wordt stootsgewijs het moment opgewekt dat nodig is voor het aandraaien van de moeren.

Een voordeel van het stootsgewijs opbouwen is dat de reactiestoten geleverd worden door het massastraagheidsmoment van de moeraanzetter zelf.

De monteur hoeft dus geen tegenwerkend moment uit te oefenen en ook is dus geen reactiearm nodig. De monteur hoeft alleen het eigen gewicht van de moeraanzetter op te heffen. Een nadeel van een moeraanzetter met slagmechanisme is dat de slagkracht, die op de moer wordt uitgeoefend, afhankelijk is van de torsiestijfheid (slapheid) van de verbinding waarin de bouten zich bevinden. Indien een verbinding gemakkelijk meeveert, dan zal een grote demping optreden en een kleinere slagkracht ontstaan en dus een kleiner moment. Andere factoren die een extra demping en dus een kleinere slagkracht kunnen veroorzaken zijn onder andere het niet goed passen van de doppen op de moer of het toepassen van haakse overbrengingen en dergelijke.

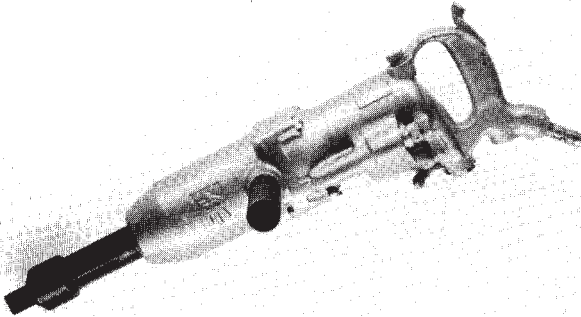
Moeraanzetters met een slagmechanisme kunnen nog worden onderverdeeld in de volgende twee typen:

moeraanzetters met afstelbaarheid waardoor het moment, dat maximaal kan worden uitgeoefend, kan worden begrensd;

moeraanzetters zonder afstelbaarheid.

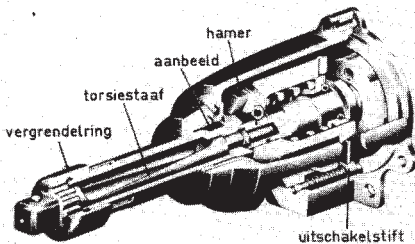
Pneumatische moeraanzetter met inwendige torsiestaaaf

Een moeraanzetter met afstelbaarheid waarmee in het laboratorium en in de praktijk goede resultaten zijn verkregen, is van het fabriekaaf "Ingersoll-Rand" en wordt getoond in afbeelding 36. Het is niet onmogelijk dat nog andere moeraanzetters met slagmechanisme met afstelbaarheid bestaan, die goede resultaten leveren; in het Stevin-Laboratorium is echter alleen dit fabriekaaf getest.

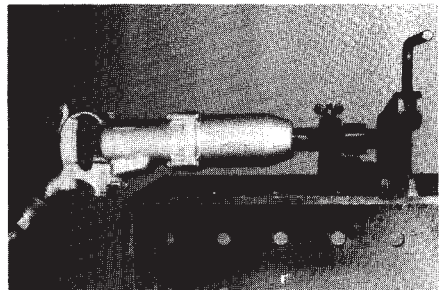


afb. 36

Het moment dat met deze moeraanzetter wordt uitgeoefend kan worden begrensd door het afstellen van een inwendige torsiestaaaf. In afbeelding 37 is de inwendige torsiestaaaf te zien. Met behulp van een speciaal spanapparaaf kan een zeker wringend moment in de torsiestaaaf worden aangebracht; zie afbeelding 38.



afb. 37

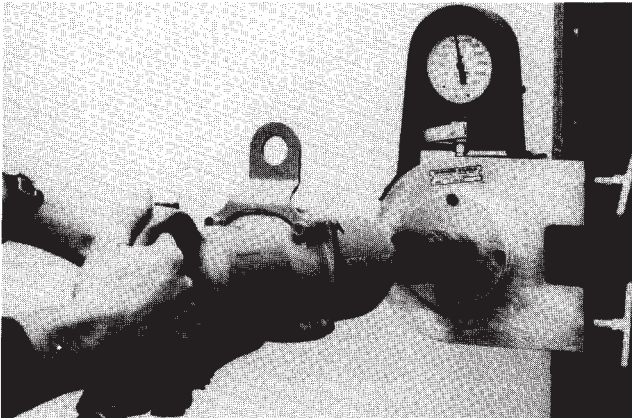


afb. 38

De moeraanzetter wordt in het spanapparaat geplaatst, waarna het krukje van de draadstang van het spanapparaat verdraaid wordt totdat de vergrendelring (zie afbeelding 37) los ligt. Nadat deze vergrendelring van de vertanding is afgeschoven, kan door verdraaien van het krukje van de draadstang het wringmoment in de torsiestaaaf worden gewijzigd. Door daarna de vergrendelring weer op de vertandingen te schuiven, kan de nieuwe stand van de torsiestaaaf worden gefixeerd. Bij het aandraaien van moeren slaat de afgestelde moeraanzetter automatisch af als, tijdens het hameren, op de moer een moment wordt uitgeoefend dat gelijk is aan het moment dat vooraf in de inwendige torsiestaaaf is aangebracht.

Dat de moeraanzetter pas afslaat als op de moer een moment wordt uitgeoefend dat gelijk is aan het moment in de torsiestaaaf, geeft de zekerheid dat op het ogenblik van afslaan het vereiste moment ook inderdaad is aangebracht. Variatie in druk van de perslucht en variatie in torsiestijfheid van de verbindingen kunnen dus geen invloed uitoefenen op de grootte van het moment waarbij de moeraanzetter afslaat.

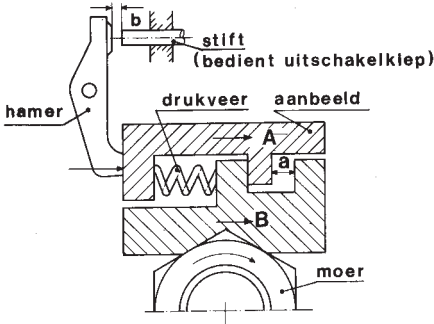
Het controleren of de inwendige torsiestaaaf onder de juiste voorspanning staat kan gebeuren door een steekproef te nemen van de partij bouten die moet worden aangedraaid en deze bouten in een boutkrachtmeter aan te draaien; zie afbeelding 39. Zonodig moet met behulp van het spanapparaat de voorspanning in de torsiestaaaf verhoogd of verlaagd worden totdat, rekening houdend met de spreiding in draad- en spiegelwrijving, de gewenste boutkracht wordt opgewekt.



afb. 39

Aan de hand van de in afbeelding 40 gegeven principetekening kan de werking van het uitschakelmechanisme van de moeraanzetter met inwendige torsiestaaaf als volgt worden verklaard.

Principe uitschakelmechanisme moeraanzetter
met inwendige torsiestaaaf



afb. 40

Indien de slagkracht van de hamer kleiner is dan de voorspankracht van de drukveer, dan zullen de delen A en B niet ten opzichte van elkaar verschuiven. Moet voor het verder draaien van de moer de slagkracht groter worden dan de kracht van de drukveer, dan zullen de delen A en B ten opzichte van elkaar verschuiven en zal de speling a dus kleiner worden. Zodra de slagkracht wegvalt, zal door de kracht van de drukveer het deel A met een zekere snelheid naar links schieten en een stoot op de hamer geven. Het onderste deel van de hamer zal door deze stoot krachtiger naar links slaan en het bovenste deel dus naar rechts; de speling b wordt overbrugd en de stift die de uitschakelklep bedient wordt ingedrukt.

In werkelijkheid is bij de moeraanzetter de speling aanwezig tussen de tanden in de vergrendelring en de groeven in het uitstekende deel van het aanbeeld. Verder wordt de veerkracht niet verkregen door een drukveer maar door een torsiestaaaf; zie afbeelding 37. Zodra de slagen zo krachtig worden dat de torsie-voorspanning van de torsiestaaaf wordt overwonnen, zal de speling in de vergrendelring worden opgeheven. Valt de slagkracht weg, dan springt het aanbeeld door de veerspanning terug en geeft daarbij een stoot op de hamer. De hamer zal daardoor over een grotere hoek terugdraaien en via de stift de uitschakelklep in werking stellen, waardoor de moeraanzetter afslaat.

Daar de moeraanzetter afslaat op het ogenblik dat op de moer een moment wordt uitgeoefend dat gelijk is aan het constante wringmoment in de torsiestaaaf, zullen de op de moeren uitgeoefende aandraaimomenten ook vrij constant van grootte zijn. Het maximale moment dat met deze moeraanzetter kan worden uitgeoefend, bedraagt ongeveer 760 Nm. Van de draad-en spiegelwrijving hangt het af tot welke boutgrootte deze moeraanzetter nog gebruikt kan worden.

Deze moeraanzetter kan ook worden gebruikt voor het aanbrengen van nadraaihoeken. Door het uittrekken van een knop die zich op de moeraanzetter bevindt, kan het uitschakelmechanisme buiten werking worden gesteld; de moeraanzetter kan dan tot zijn maximale capaciteit (± 760 Nm) worden gebruikt.

Voordelen van de moeraanzetter met inwendige torsiestaaf:

- Geen reactiearm nodig; ook de monteur hoeft geen reactiemoment te leveren (daar het moment stootsgewijs wordt aangebracht, levert de massatraagheid van de moeraanzetter het reactiemoment).
- Aandraaikop draait onbelast snel rond (het opdraaien van moeren kost weinig arbeidstijd).
- De moeraanzetter waarschuwt zelf als de druk van de perslucht onvoldoende is (zo lang het ingestelde moment niet is bereikt slaat de moeraanzetter niet automatisch af).
- Eventueel meeveren van de verbinding heeft geen invloed op de grootte van het aandraaimoment, mits het afgestelde moment kleiner is dan het maximale moment dat de moeraanzetter, rekening houdend met het meeveren, kan uitoefenen.

Nadelen van de moeraanzetter met inwendige torsiestaaf:

- Veel lawaai.
- Het maximale moment dat kan worden uitgeoefend met de moeraanzetter wordt kleiner door meeveren van de verbinding en door slecht passende doppen (dit is een gevolg van het stootsgewijs opvoeren, door het meeveren wordt de slagkracht namelijk kleiner).
- Veel luchtgebruik.

Verder geldt voor het hier besproken fabrikaat:

- Het afstellen van de torsiestaaf is betrekkelijk tijdrovend (in spanapparaat plaatsnemen, vergrendelring verwijderen, torsiestaaf verdraaien, vergrendelring op zijn plaats brengen en uit het spanapparaat halen).
- Het moment dat maximaal kan worden uitgeoefend is betrekkelijk klein (slechts maximaal 760 Nm).

Pneumatische moeraanzetter met reduceerventiel

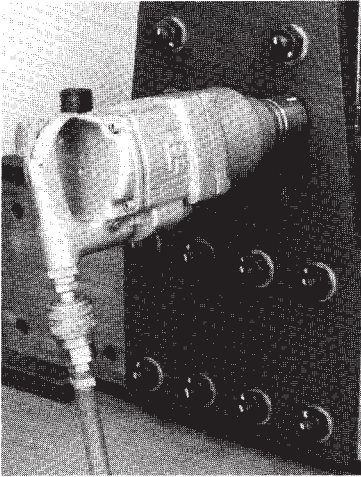
In het verleden is ook wel geprobeerd moeraanzetters zonder afstelbaarheid te gebruiken en de begrenzing van het aandraaimoment dan te verkrijgen door het reduceren van de druk van de perslucht.

De in de praktijk verkregen resultaten met die wijze van regeling zijn niet onverdeeld gunstig. Allereerst ligt het daarbij niet zo duidelijk vast wanneer met aandraaien moet worden gestopt. Verder is men afhankelijk van de druk van de perslucht; als deze druk door een of andere oorzaak lager wordt dan de benodigde gereduceerde druk, dan levert de moeraanzetter een onvoldoende moment. Ook het wel of niet meeveren van de verbinding heeft invloed. Bij controle bleek bijvoorbeeld dat het tussentijds smeren van de moeraanzetter al een belangrijke invloed had. De pas gesmeerde moeraanzetter leverde bij dezelfde luchtdruk een aanzienlijk groter aandraaimoment.

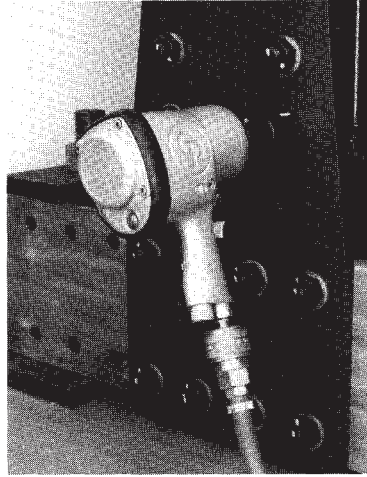
Gezien de vele onzekerheden bij die wijze van regeling is het toepassen ervan niet aan te raden.

Pneumatische moeraanzetter met slagmechanisme zonder afstel-
mogelijkheid

Dit type is uitsluitend geschikt voor het aandraaien van moeren over een bepaalde hoek. Van dit type moeraanzetter zijn vele fabrikaten in de handel verkrijgbaar. De afbeeldingen 41 en 42 geven een tweetal moeraanzetters met slagmechanisme zonder afstelmogelijkheid.



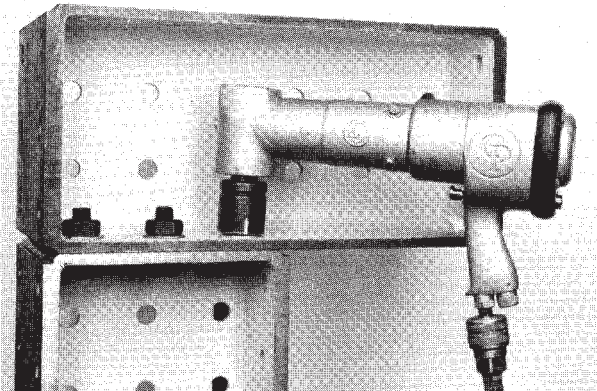
afb. 41



afb. 42

In afbeelding 41 is ook te zien dat de moeren ten opzichte van de boutsteel zijn gemarkeerd, zodat nagegaan kan worden over welke hoek de moeren ten opzichte van de boutsteel zijn verdraaid.

Op de moeraanzetter volgens afbeelding 42 kan een kop met een haakse overbrenging gemonteerd worden; zie afbeelding 43. Hiermee kunnen in sommige gevallen bouten worden aangedraaid die met normale moeraanzetters niet bereikbaar zijn.



afb. 43

Het toepassen van een dergelijke haakse overbrengingskop heeft, tengevolge van de extra demping die in de kop optreedt, een achteruitgang van de maximale capaciteit van de moeraanzetter tot gevolg. Bij het bepalen van deze achteruitgang in capaciteit is zelfs geconstateerd:

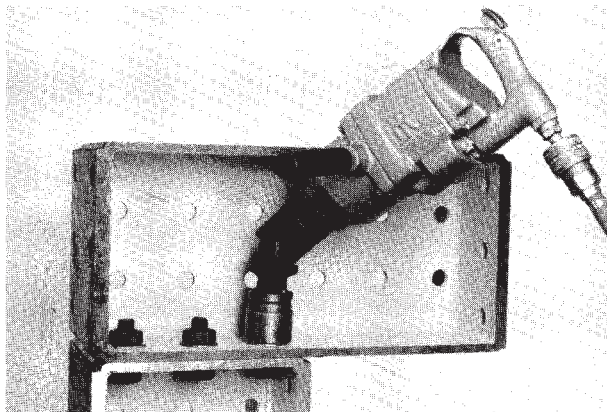
maximale moment zonder haakse overbrenging $M_{\max} \approx 1300 \text{ Nm}$

maximale moment met haakse overbrenging $M_{\max} \approx 800 \text{ Nm}$

dus een verlies door extra demping van ongeveer 40%!

Dit percentage is niet bedoeld om in het algemeen de achteruitgang van haakse overbrengingen ermee te bepalen, doch slechts een illustratie om te laten zien, dat de achteruitgang van de maximale capaciteit aanzienlijk kan zijn.

Naast de haakse overbrengingen zijn cardankoppelingen verkrijgbaar waarmee het mogelijk is de moeraanzetter tijdens het aandraaien onder een zekere hoek met de boutas te houden; zie afbeelding 44.



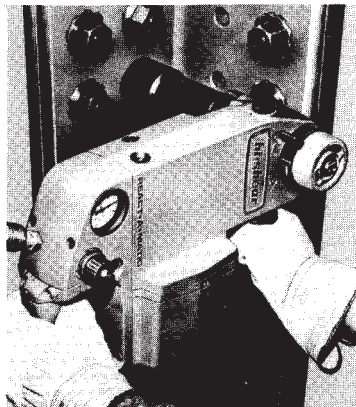
afb. 44

De maximale hoek waaronder de moeraanzetter kan worden geplaatst bedraagt ongeveer 30° . Ook bij het toepassen van een dergelijke cardankoppeling moet, in verband met de extra demping, op vermindering van de maximale capaciteit worden gerekend.

4.3.2 Pneumatische moeraanzetter met zuiger-hefboommechanisme

Deze moeraanzetter wordt getoond in afbeelding 45. Het fabrikaat is "hi-shear" - React-a-matic.

Dit type brengt het aandraaimoment niet stootsgewijs aan maar voert het moment in stappen continu op.



afb. 45

In de moeraanzetter bevindt zich een cilinder met zuiger waarin via een reduceerventiel perslucht wordt toegelaten. Door de perslucht wordt op de zuiger een bepaalde kracht uitgeoefend. De zuiger is via een hefboom aan de aandraaikop van de moeraanzetter verbonden, zodat met deze kop een moment op de moer kan worden uitgeoefend. Zodra de zuiger aan het eind van de slag is gekomen, gaat deze weer terug naar de beginstand en wordt de moer daarna via de aandrijfkop weer verder aangedraaid, totdat het moment wordt bereikt waarop de moeraanzetter is afgesteld. De afstelling van het moment wordt verkrégen met behulp van een in het apparaat ingebouwd reduceerventiel. Met dit reduceerventiel kan de druk worden geregeld van de perslucht die in de cilinder wordt toegelaten. Het regelen gebeurt heel simpel door het verdraaien van een knop, zodat de afstelling zeer snel kan gebeuren. Op een schaalverdeling is direct het moment af te lezen waarop de moeraanzetter is afgesteld. Welk moment voor een bepaalde serie bouten nodig is, kan weer worden bepaald met behulp van een boutkrachtmeter.

Ook bij deze moeraanzetter is het van belang dat de druk van de perslucht hoger is dan de gereduceerde druk volgens de afstelling van het reduceerventiel.

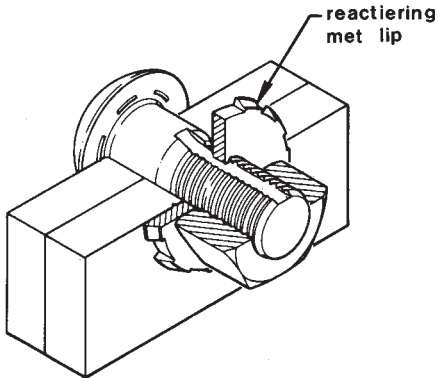
Wordt de moeraanzetter in de buurt van zijn maximale capaciteit gebruikt, dan is een hogere druk van de perslucht nodig dan wanneer de moeraanzetter momenten moet leveren die verhoudingsgewijs laag zijn. Indien de benodigde momenten hoog zijn, is de kans groter dat de druk van de perslucht te laag is en verdient het aanbeveling regelmatig te controleren of de luchtdruk voldoende is. Het controleren kan gebeuren door tussen het aandraaien in, even de handgreepschakelaar open te zetten en het moment op de wijzerplaat af te lezen.

Daar het moment continu wordt opgevoerd en niet stootsgewijs, kan voor het verkrijgen van het reactiemoment geen gebruik worden gemaakt van het massatraagheidsmoment van de moeraanzetter.

Voor het verkrijgen van het benodigde reactiemoment bestaan de volgende twee mogelijkheden:

reactie-onderlegging (afbeelding 45 en 46);
 reactie-arm (afbeelding 47).

De reactieonderleggingen hebben langs de omtrek een vertanding waarin een bus met contra-vertanding past. Deze bus is bevestigd aan de moeraanzetter waardoor een inwendig systeem ontstaat dat het reactiemoment voor de moeraanzetter kan leveren. Het moment tengevolge van de draadwrijving moet hierbij met de moeraanzetter evenwicht maken via de boutkop, constructiedelen en onderlegging. Indien de wrijving tussen het constructiedeel en de onderlegging kleiner is dan de draadwrijving dan gaat de moeraanzetter zelf rond draaien. Dat kan worden voorkomen door te zorgen dat de wrijving voldoende groot is of bouten toe te passen waarbij in de boutsteel een groef is aangebracht waarin een lip van de onderlegging past; zie afbeelding 46. Ook heeft men in het laatste geval geen last van meedraaien van de bout.



afb. 46

Voor het verkrijgen van het reactiemoment kan ook gebruik worden gemaakt van een reactiearm; zie afbeelding 47. Bij het aanbrengen van grote momenten moet deze arm niet te klein worden gekozen daar anders grote krachten op de arm komen. Vooral als met deze moeraanzetter op grote hoogte moet worden gewerkt, moet voldoende zekerheid bestaan dat de reactiearm niet kan wegslijpen daar anders de monteurs gevaar lopen van de constructie te vallen. Bij de in afbeelding 47 getoonde reactiearm wordt voor het verkrijgen van een steunpunt gebruik gemaakt van naastliggende bouten. Daar in de arm een sleuf is aangebracht, kan de arm voor verschillende steken worden gebruikt. Indien de afsteuning niet voldoende is, bestaat ook de kans dat het huis van de moeraanzetter kapot gaat. Verder dient men er goed op te letten dat geen verontreinigingen in de moeraanzetter kunnen komen daar de moeraanzetter dan snel kapot kan gaan. Vooral op montage is de kans hierop duidelijk aanwezig.



afb. 47

Men kan bijvoorbeeld bij het verwisselen een slang in het zand laten vallen.

Het moment niet stootsgewijs opvoeren doch continu heeft het voordeel dat het aandraaien zonder lawaai gepaard gaat.

Vergeleken met een moeraanzetter met slagmechanisme is dit verschil in lawaai zeer aanzienlijk. Vooral indien in een gebouw bouten moeten worden aangedraaid zal dat de werkomstandigheden aanzienlijk verbeteren.

In verband met het systeem van aandrijven door middel van een zuiger met hefboom, draait de aandrijfkop veel minder snel rond dan bij een moeraanzetter met slagmechanisme.

Bij de normale uitvoering is het toerental van de aandrijfkop 8 omw/min bij de Reat-a-matic met een capaciteit tot 966 Nm en 5 omw/min bij die met een capaciteit tot 3300 Nm. Dit is voor het opdraaien van moeren een laag toerental en vraagt daardoor meer arbeidstijd dan een moeraanzetter met slagmechanisme. Het type met een capaciteit van 138-966 Nm is ook verkrijgbaar met een snel aanloop-inrichting; in de beginfase maakt de aandrijfkop daarbij 150 omw/min totdat het uitgeoefende moment 55 Nm bedraagt, waarna het toerental 8 omw/min wordt.

Voordelen van de moeraanzetter met zuiger-hefboom mechanisme:

- Geen lawaai (vooral voor gebruik binnen van belang).
- Eventueel meeveren van de verbinding heeft geen invloed op de grootte van het aandraaimoment dat de moeraanzetter maximaal kan uitoefenen (ook slecht passende doppen geven geen vermindering van het maximale aandraaimoment).
- Gering luchtgebruik (het aandraaien kan in plaats van met een compressor ook met een lucht- of stikstof cilinder).

Verder geldt voor het besproken fabrikaat:

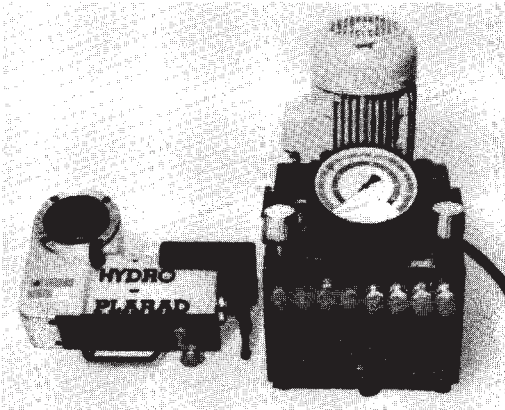
- Grote aandraaimomenten mogelijk (van 27 tot 13822 Nm).
- Afstelling van het moment gaat zeer snel (met knop).

Nadelen van de moeraanzetter met zuiger-hefboom mechanisme:

- Reactiearm of reactiering nodig (bij gebruik van een reactiearm moet die goed worden gesteund, anders kans op gevaar voor monteur of op breuk van het huis van de moeraanzetter).
- Aandrijfkop draait langzaam rond (moer eerst opdraaien met de hand, met React-a-matic met snel aanloop-inrichting of met aparte moeraanzetter met slagmechanisme).
- Opletten dat druk van de perslucht voldoende is (voordat moer wordt aangedraaid tussentijds even controleren of de wijzer op het juiste moment komt, dus afhankelijk van de monteur).
- Gevoelig voor vuil, zand en dergelijke dat in de perslucht zit (oppassen bij verwisselen slang, anders kans dat apparaat wordt beschadigd of zelfs onbruikbaar wordt).
- Bij gebruik reactiering moet de wrijving tussen ring en constructiedeel voldoende zijn, anders meedraaien van de moeraanzetter.

4.3.3 Hydraulische moeraanzetters

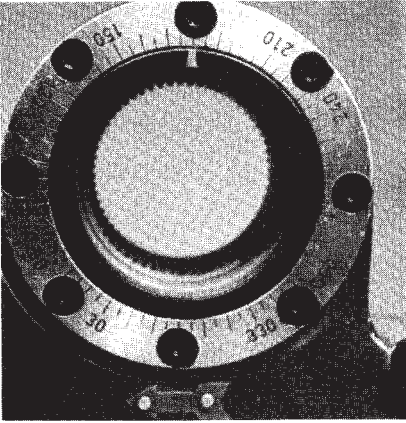
Naast de pneumatische moeraanzetters zijn in de handel ook hydraulische moeraanzetters verkrijgbaar. Afbeelding 48 geeft een hydraulische moeraanzetter met het aandrijfaggregaat dat voor de benodigde oliedruk zorgt.



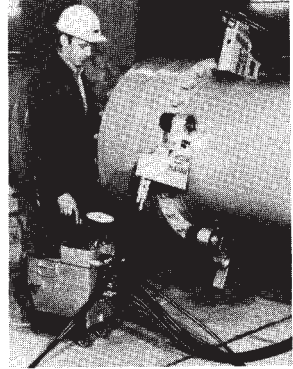
afb. 48

De afgebeelde moeraanzetter is in diverse uitvoeringen verkrijgbaar, beginnende bij het type met een werkgebied van 250 - 2.500 Nm en eindigende bij het type met een werkgebied van 6.000 - 60.000 Nm.

Het aandrijfaggregaat is zodanig af te stellen dat bij het bereiken van het vooraf ingestelde aandraaimoment het apparaat automatisch afslaat. Volgens opgave van de fabrikant worden de aandraaimomenten met een nauwkeurigheid van $\pm 5\%$ bereikt. Naast het aandraaien tot een bepaald moment is het ook mogelijk aan te draaien over een zekere hoek. Daartoe is op de aanspankop een schaalverdeling in graden aangebracht; zie afbeelding 49. De aandrijfaggregaten zijn ook verkrijgbaar in uitvoeringen die de mogelijkheid bieden om meer aanspankopen tegelijk aan te sluiten. In afbeelding 50 is een toepassing te zien van het gelijktijdig aandraaien van meer bouten.

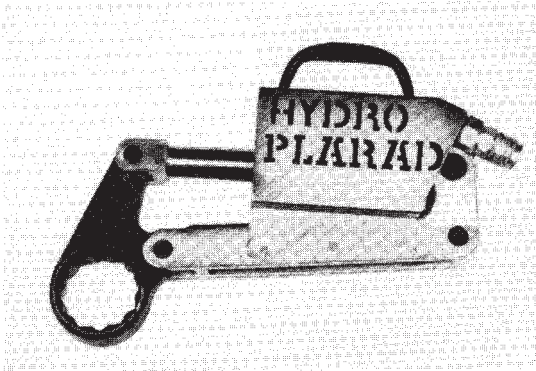


afb. 49



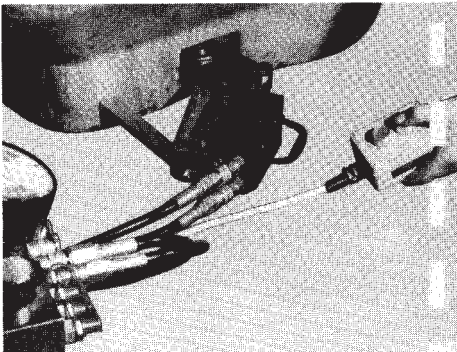
afb. 50

De hydraulische aanspankoppen zijn ook verkrijgbaar voorzien van een platte ringsleutel, zie afbeelding 51.



afb. 51

De platte uitvoering van deze aanspankop scheidt de mogelijkheid moeren aan te draaien in nauwe en moeilijk bereikbare plaatsen; zie afbeelding 52.



afb. 52

De belangrijkste voordelen van het hydraulisch aandraaien zijn:

- zeer grote aandraaimomenten kunnen worden opgewekt;
- geen lawaai;
- het moment dat moet worden aangebracht kan vooraf makkelijk worden ingesteld;
- aandrijfaggregaat en aanspankop zijn alleen bestemd voor het aandraaien en via een gesloten circuit met elkaar verbonden, waardoor op de bouwplaats geen vuil in het systeem kan komen zodat hiervoor geen beschadiging van de apparatuur kan optreden.

De belangrijkste nadelen zijn:

- daar het moment niet stootsgewijs wordt opgewekt maar continu in stappen, is een reactiearm en -steunpunt nodig;
- het aandraaien gaat minder snel dan met een pneumatische moeraanzetter met slagmechanisme;
- tamelijk grote investering voor het aanschaffen van aandrijfaggregaat en aanspankop.

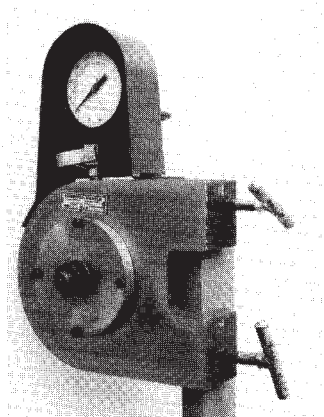
5. BOUTKRACHTMETERS

Met een boutkrachtmeter kan de kracht worden bepaald die door het aandraaien in een bout wordt opgewekt.

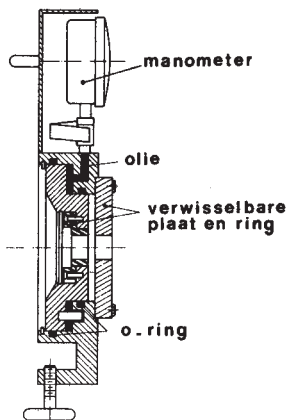
Zoals reeds gesteld bij de bespreking van de moment-methode is het moment dat nodig is voor het opwekken van een bepaalde boutkracht afhankelijk van de aanwezige schroefdraad- en spiegelwrijving. Ook is bekend dat deze grootheden bij bouten van verschillende fabrikaten heel sterk kunnen verschillen. Hierdoor is het onmogelijk met voldoende zekerheid, bijvoorbeeld in tabellen, momenten vast te leggen die voor het opwekken van bepaalde boutkrachten nodig zijn.

Veel onzekerheid kan worden weggenomen door, voor het bepalen van de grootte van het benodigde moment of voor het afstellen van moeraanzetters, bij elke serie aan te draaien bouten gebruik te maken van een boutkrachtmeter. In de handel zijn mechanische, electronische en hydraulische boutkrachtmeters verkrijgbaar.

De hydraulische boutkrachtmeters hebben in de praktijk bewezen bijzonder solide en voldoende betrouwbaar te zijn. Dit houdt geen oordeel in ten aanzien van andere systemen. In afbeelding 53 wordt een hydraulische boutkrachtmeter getoond, terwijl in afbeelding 54 een doorsnede van deze boutkrachtmeter is getekend.

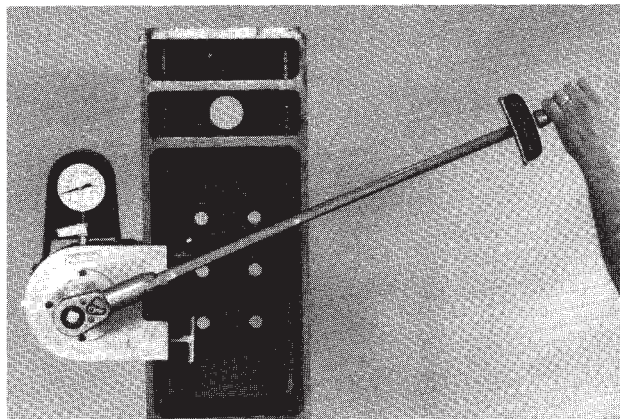


afb. 53



afb. 54

In de boutkrachtmeter is een cilindrisch gedeelte aanwezig dat gevuld is met olie. Door de bout waarvan het benodigde aandraaimoment moet worden bepaald in de boutkrachtmeter aan te draaien, wordt een kracht in de bout opgewekt die de olie onder druk zet. Op het cilindrische gedeelte is een manometer aangesloten die direct de in de bout aanwezige kracht aangeeft. Van elke partij aan te brengen bouten kan nu een bepaald aantal bouten in de boutkrachtmeter worden geplaatst. Draait men de bouten met een momentsleutel aan dan kan men het moment bepalen dat nodig is om een bepaalde kracht in de bouten op te wekken; zie afbeelding 55.

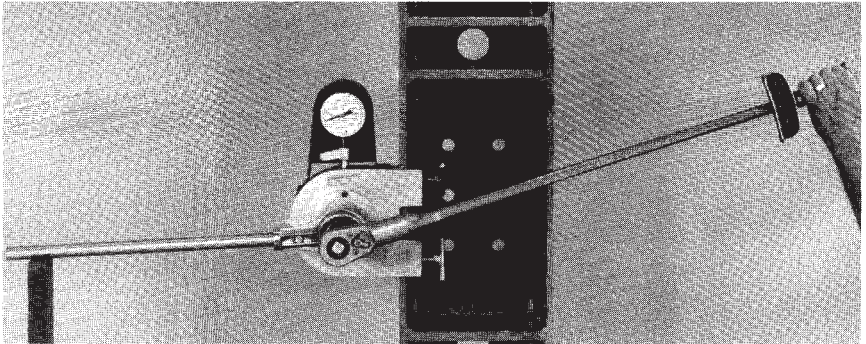


afb. 55

Als bij het bepalen van het benodigde moment met behulp van een boutkrachtmeter en bij het aandraaien van de bouten tijdens de montage, steeds dezelfde sleutel wordt gebruikt, dan speelt het geen rol of de sleutel exact de grootte van het uitgeoefende moment weergeeft.

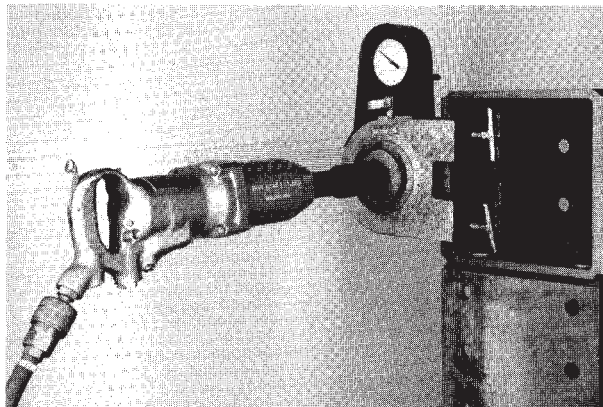
Het enige van belang is, dat de sleutel bij hetzelfde uitgeoefende moment ook steeds opnieuw weer dezelfde waarde aangeeft, zonder dat het er toe doet hoe groot of die waarde in werkelijkheid is.

Wordt bij de montage van de bouten gebruik gemaakt van een overbrengingskop, dan moet die kop ook worden gebruikt bij het bepalen van het benodigde moment met behulp van de boutkrachtmeter; zie afbeelding 56.



afb. 56

Draait men de bouten aan met behulp van een moeraanzetter met instelbaar moment (het aandraaien met pneumatisch gereedschap gaat snel en kost weinig lichamelijke inspanning), dan kan de moeraanzetter met behulp van de boutkrachtmeter zodanig worden afgesteld dat door het aandraaien de gewenste kracht in de bouten wordt opgewekt; zie afbeelding 57.



afb. 57

Als bij de bouten die in de constructie aangedraaid moeten worden voor het verkrijgen van een zo constant mogelijke spiegelwrijving, een hard stalen sluitring wordt toegepast, dan moet bij elke bout die in de boutkrachtmeter wordt aangedraaid ook een nieuwe sluitring worden aangebracht. Die ring mag aanvankelijk wel meedraaien, maar tegen het tijdstip dat de gewenste boutkracht wordt bereikt, dient de ring stil te staan. Het meedraaien zal namelijk een kleinere spiegelwrijving opleveren waardoor een te laag aandraaimoment of een te lage afstelling van de moeraanzetter wordt verkregen.

Daar het, in verband met de spreiding in draad- en spiegelwrijving niet mogelijk is dat met één bepaald moment in de verschillende bouten exact de gewenste boutkracht wordt opgewekt, is het nodig dat een bepaald spreidingsgebied wordt opgegeven, waarbinnen de opgewekte boutkracht moet liggen. Om de spreiding bij bouten die moeten worden gemonteerd zo klein mogelijk te houden, verdient het aanbeveling bouten van één bepaalde fabricageserie als één partij zorgvuldig bij elkaar te houden.

Indien de bouten die moeten worden gemonteerd samengesteld zijn uit bouten van verschillende fabricageseries of als die zelfs afkomstig zijn van verschillende fabrieken, dan loopt men grote kans dat zelfs een betrekkelijk groot spreidingsgebied niet toereikend is. Het is dan niet mogelijk een zodanig moment te bepalen of de moeraanzetter zo af te stellen dat bij het aandraaien in de boutkrachtmeter van de steekproef van de te monteren bouten, krachten worden opgewekt die in het toegestane spreidingsgebied liggen. Het zal wel een vrome wens blijven dat de bouten in de praktijk per fabricageserie gescheiden worden gehouden.

Toch zou het bijzonder nuttig zijn als daar zoveel mogelijk naar wordt gestreefd, hetgeen reeds bij de fabrikanten van bouten zou moeten beginnen. Hoewel het in de praktijk voorlopig niet te voorkomen zal zijn dat bouten van verschillende fabricageseries worden samengevoegd, moeten we er wel voor waken dat bouten van verschillende fabrieken als één partij worden behandeld. Daar alle voorspanbouten van een fabrieksmerk zijn voorzien, is het in de praktijk wel goed mogelijk de bouten per fabrikaat gescheiden te houden!

In het verleden is het ook wel voorgekomen, dat een boutkrachtmeter werd gebruikt om te bepalen welke kracht in de bouten wordt opgewekt door het aandraaien over een bepaalde hoek. Dat heeft echter geen enkele betekenis daar de stijfheid van een boutkrachtmeter geheel anders kan zijn dan de stijfheid van de constructiedelen. Bovendien komt daar nog bij dat bij de constructiedelen plaatselijk vloeien kan optreden, bijvoorbeeld onder de boutkop en de sluitring; daardoor zal de boutkracht minder sterk toenemen.

De extra kracht die door het aanbrenge van een bepaalde hoek wordt opgewekt in een bout die zich in een boutkrachtmeter bevindt, is dus geen maat voor de extra kracht die door dezelfde hoek opgewekt zal worden in een bout die zich in een pakket constructiedelen bevindt.

6. CONTROLE VAN DE AANWEZIGE KLEMKRACHT

Vooropgesteld moet worden dat de controle op het aandraaien in een vroeg stadium moet gebeuren en wel zodanig dat een controle achteraf, dat wil zeggen als de bouten in de constructie reeds zijn aangedraaid, niet meer nodig is. Deze "bijtijdse" controle berust op het volgende. Bij de controle van het aandraaien, indien tot een bepaald moment moet worden aangedraaid, moet op de volgende punten worden gelet:

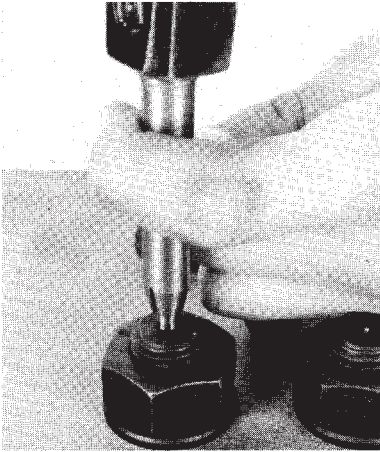
- de bouten moeten de juiste afmetingen en kwaliteit hebben;
- de bouten moeten van één fabrikaat (liefst van dezelfde serie) zijn;
- de bouten mogen niet vuil of roestig zijn;
- de bouten moeten van eenzelfde smeermiddel zijn voorzien;
- van de aan te draaien serie bouten moet een voldoende aantal in een boutkrachtmeter worden aangedraaid tot de vereiste kracht is bereikt; wordt met een momentsleutel aangedraaid, dan mag tegen het tijdstip dat de vereiste kracht wordt bereikt het aandraaien niet meer worden onderbroken (in verband met het verschil in bewegende en stilstaande wrijving);
- bij het aandraaien in de boutkrachtmeter moet bij elke bout, aan de zijde waar de bout wordt aangedraaid, een nieuwe hard stalen sluitring zijn aangebracht; die ring mag tegen het tijdstip dat de vereiste kracht wordt bereikt, niet meedraaien; bij het aandraaien van de bouten in de constructie moet aan de zijde waar wordt aangedraaid, ook een nieuwe hard stalen sluitring worden toegepast;
- de bouten moeten in de boutkrachtmeter aan dezelfde zijde (kop of moer) worden aangedraaid als in de constructie;
- alle hulpmiddelen die bij het aandraaien in de constructie worden gebruikt, zoals overbrengingskoppen en verlengstukken, moeten ook bij het aandraaien in de boutkrachtmeter worden gebruikt;
- bij het aandraaien in de boutkrachtmeter moeten dezelfde momentsleutels en moeraanzetters worden gebruikt als bij het aandraaien in de constructie;
- bepaalde momentsleutels moeten op de juiste plaats worden aangevast;
- bij het gebruik van moeraanzetters met een inwendige torsiestaaf moet het aandraaien plaats vinden totdat de moeraanzetter automatisch afslaat;
- bij het gebruik van moeraanzetters met zuiger-hefboom mechanisme moet er worden op gelet dat de druk van de perslucht voldoende is; dat kan worden gecontroleerd door tussentijds even de handgreepschakelaar open te zetten en na te gaan of de wijzer nog wel op het vereiste moment komt;
- bij het tot een bepaald moment aandraaien van bouten in de constructie moet een groep bouten, in verband met zettingen van de constructiedelen, tenminste tweemaal tot het voorgeschreven moment worden aangedraaid.

6.1. Controle door het meten van de boutverlenging

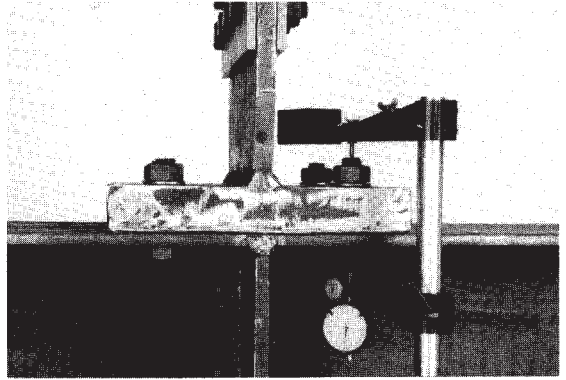
Indien om een of andere reden de "bijtijdse" controle niet is uitgevoerd en een controle achteraf moet worden uitgevoerd, dan is de enige methode die betrouwbare resultaten geeft de methode waarbij de lengteverandering van de bouten wordt gemeten. Deze methode wordt als volgt uitgevoerd.

In de bouten die in de constructie zijn aangedraaid, worden met behulp van een snappertje kleine stalen kogeltjes ($d=1/16"$) geslagen; zie afbeelding 58.

Met een meetbeugel kan nu de lengte van de bout worden gemeten; zie afbeelding 59.



afb. 58



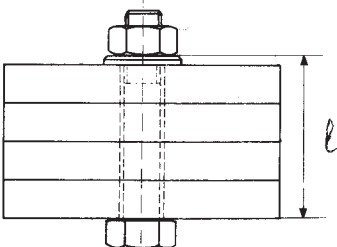
afb. 59

Nadat de bout is los gedraaid wordt met behulp van de meetbeugel de lengte opnieuw gemeten. Het verschil in lengte tussen de eerste en tweede meting is een maat voor de kracht die vóór het losdraaien in de bout aanwezig was.

Voor voorspanbouten, kwaliteit 10.9 volgens NEN 5511, is uit proeven gebleken dat de verlenging die als gevolg van de voorspankracht $F_v = 0,8 \cdot \sigma_{0,2} \cdot A_s$ optreedt, gelijk is aan:

$$\Delta l = 3l + 30$$

Hierin is l de afstand tussen kop en moer in mm, zie afbeelding 60, en Δl de verlenging van de bout in μm .



Is bijvoorbeeld $l = 50$ mm, dan zal als in deze bout een kracht wordt opgewekt van $F_v = 0,8 \cdot \sigma_{0,2} \cdot A_s$ een verlenging optreden van:

$$\Delta l = 3l + 30 = 3 \times 50 + 30 = 180 \mu\text{m} = 0,18 \text{ mm}$$

afb. 60

6.2 Controle door de bepaling van het aandraaimoment

De controle door de bepaling van het aandraaimoment is aanzienlijk minder betrouwbaar dan de controle waarbij de lengteverandering van de bouten wordt gemeten. Het bepalen van het aandraaimoment kan als volgt worden uitgevoerd.

Van de in de constructie aangebrachte bouten wordt de stand van de moer ten opzichte van de boutsteel gemarkeerd, bijvoorbeeld door een verfstreep die over de moer en de boutsteel wordt aangebracht; zie afbeelding 61. Daarna wordt de moer over een



afb. 61

hoek van ongeveer 60° teruggedraaid, waarna de moer met een momentsleutel weer wordt aangedraaid totdat de merkstrepen weer tegenover elkaar liggen. Het moment dat hiervoor moet worden uitgeoefend is een maat voor de in de bout aanwezige kracht.

Dat deze methode minder betrouwbaar is, komt omdat het verband tussen aandraaimoment en boutkracht door de grote spreiding in schroefdraad- en spiegelwrijving niet zo duidelijk vastligt. Bovendien komt daar nog bij dat de schroefdraad- en spiegelwrijving na enige tijd stilstand duidelijk veranderd kunnen zijn.

Het geconstateerde moment kan daardoor nog moeilijker tot een boutkracht worden herleid.

Bij het meten van de lengteverandering van de bouten kan met de elastische lengteverandering binnen 5% nauwkeurig de boutkracht worden bepaald. Deze nauwkeurigheid is met de bepaling van het aandraaimoment niet te verwezenlijken.

In plaats van de controle met behulp van momentsleutels kan bovengenoemde controle ook met afstelbare moeraanzetters worden uitgevoerd.

Na het markeren moeten de moeren met de moeraanzetter dan ook eerst over een hoek van ongeveer 60° worden losgedraaid. Hierna worden de moeren met de moeraanzetter, die voor de betreffende serie bouten is afgesteld, weer aangedraaid totdat de moeraanzetter automatisch afslaat. Als de oorspronkelijk aanwezige boutkracht juist is geweest, moeten de merkstrepen dan weer ongeveer tegenover elkaar liggen.

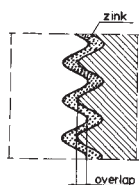
De controle of tot het juiste moment is aangedraaid kan eventueel ook gebeuren door de moeren niet eerst losser te draaien, maar door met een momentsleutel of met een goed afgestelde moeraanzetter na te gaan of de moeren verder aangedraaid kunnen worden. De bouten worden dan geacht tot de juiste waarde te zijn aangedraaid als de moeren, bij het aandraaien tot het voorgeschreven moment, niet meer dan 15° kunnen worden verder gedraaid.

Het controleren van de aangedraaide bouten moet bij voorkeur op dezelfde dag geschieden als waarop is aangedraaid.

7. BIJZONDERE BOUTEN EN ONDERLEGRINGEN

7.1 Thermisch verzinkte bouten

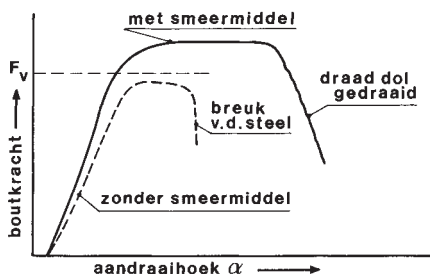
Deze bouten kunnen als bijzondere bouten worden aangemerkt, omdat in verband met de vrij dikke zinklaag (80 à 100 μm) bij deze bouten gezorgd moet worden voor een extra schroefdraadspeling. Extra draadspeling kan worden verkregen door: ondermaat draad op de steel of overmaat draad in de moer. In de praktijk kiest men meestal voor overmaat draad in de moer. De moeren worden dan met een overmaat tap (+ 0,4 mm) getapt. Het tappen kan gebeuren door de moeren na het verzinken overmaats na te tappen of door de moeren na het verzinken voor het eerst te tappen met een overmaat tap. Worden de moeren voor het verzinken van schroefdraad voorzien en na het verzinken nagetapt dan is, door de aanwezigheid van opgehoopt zink, de kans op happen van de tap groter dan bij moeren waarbij voor het verzinken geen schroefdraad wordt aangebracht.



Door overmaat draad wordt de overlapping van de schroefdraad kleiner, zie afbeelding 62. Als gevolg hiervan zou de moer voortijdig kunnen afschuiven ten gevolge van het afstrippen van de schroefdraad.

a fb. 62

Aandraaiproeven hebben echter aangetoond dat thermisch verzinkte bouten ook kunnen worden toegepast indien grote klemkrachten worden verlangd. Bij die aandraaiproeven is wel gebleken dat het noodzakelijk is de schroefdraad van een geschikt smeermiddel te voorzien.



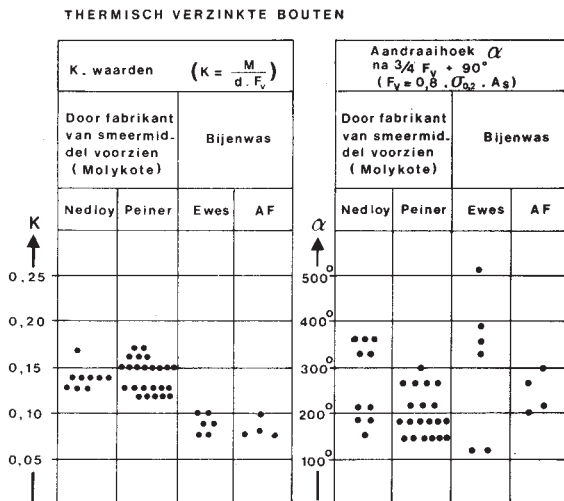
afb. 63

Bij de uitvoering van de aandraaiproeven heeft de toepassing in de praktijk centraal gestaan. Voor de toepassing in de praktijk zijn de volgende twee vragen van primair belang:

- kan door het aandraaien de vereiste klemkracht worden bereikt;
- is bij het aandraaien voldoende reserve tegen afdraaien aanwezig.

Indien geen smeermiddel wordt aangebracht, dan kan de schroefdraadwrijving door "vreten" zeer hoog oplopen. Door het grote wringmoment dat dan in de bout komt kan de bout bezwijken nog voordat de verlangde klemkracht in de bout aanwezig is; zie afbeelding 63.

Om op deze vragen een antwoord te krijgen zijn aandraaiproeven uitgevoerd waarbij bouten in pakketjes, opgebouwd uit vlakke plaatjes, zijn aangebracht; zie afbeelding 10. In afbeelding 64 zijn de bij de boutkracht $\frac{3}{4} F_V$ geconstateerde K-waarden uitgezet en de hoeken die na $\frac{3}{4} F_V + 90^\circ$ nog konden worden aangebracht voordat enige vorm van bezwijken werd geconstateerd.



afb. 64

Nedloy : Nederlandse Schroefboutenfabriek Helmond - Holland
 Peiner : Peiner Maschinen- und Schraubenwerke - Duitsland
 Ewes : Everts & v.d.Weijden Heerlen - Holland
 A F : August Friedberg G.m.b.H. Gelsenkirchen - Duitsland

Ten aanzien van de smeermiddelen kan worden gesteld, dat indien bijenwas toegepast wordt, bijzonder lage en constante K-waarden worden verkregen. Bij gebruik van molykote zijn de K-waarden hoger en is de spreiding duidelijk groter.

Bijenwas laat zich heel simpel op de moeren aanbrengen door eerst de bijenwas in een pan op te warmen totdat de was vloeibaar is geworden. De moeren kunnen daarna in de warme vloeibare bijenwas worden gedompeld en na ongeveer 5 minuten eruit worden gehaald. Worden de moeren te vlug uit de was gehaald, dan hecht zich een dikke laag was op de moeren. Laat men de moeren zelf eerst warm worden in de was dan zal de overtollige was afdruppen en slechts een dun vliesje was op de moeren achterblijven.

Worden de moeren aangedraaid, dan kan worden volstaan met het aanbrengen van het smeermiddel uitsluitend op de moeren. Zowel de schroefdraad als de spiegel zijn dan gesmeerd.

Zoals uit afbeelding 64 blijkt, is de spreiding vrij groot in de hoeken die na $\frac{3}{4} F_V + 90^\circ$ nog konden worden aangebracht. De kleinste hoek bedroeg 120° , terwijl als grootste hoek 510° is geconstateerd.

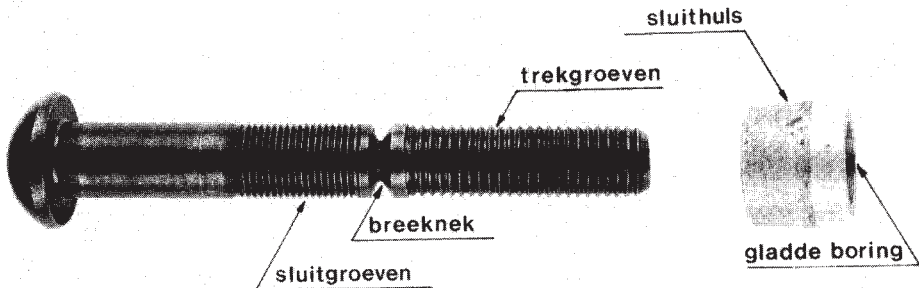
Bij de hoeken van 120° was de bezwijkvorm dol worden van de schroefdraad en bij de hoek van 510° breuk van de steel. De hoeken van 120° zijn niet groot, echter kan nadat het begin van dol worden is geconstateerd nog een bepaalde hoek verder worden gedraaid voordat de klemkracht te laag is geworden. Als reserve ten opzichte van de nadraaihoek van 90° is 120° nog ruim te noemen.

Gezien de ervaringen met de aandraproeven verkregen, zou het nuttig zijn als de aandraproef tot een standaardtest gaat behoren voor elke serie bouten die aan een steekproef wordt onderworpen voordat de bouten de boutenfabriek verlaten.

De aandraproef is gericht op de toepassing in de praktijk, terwijl bijvoorbeeld een trekproef dit niet is. Bij de trekproef is in de bout niet het wringmoment aanwezig dat als gevolg van het aandraaien in de bout komt. Naast de grootte van de klemkracht die als gevolg van het aandraaien in de bout komt, is het van belang te weten hoe groot de reserve in aandraproef is, voordat een bezwijkvorm optreedt. Door het ontbreken van het wringmoment zijn de breekkracht en de breekrek, die met de trekproef worden verkregen, minder representatief voor het gedrag van de bouten tijdens het aandraaien.

7.2 Sluithulsbouten

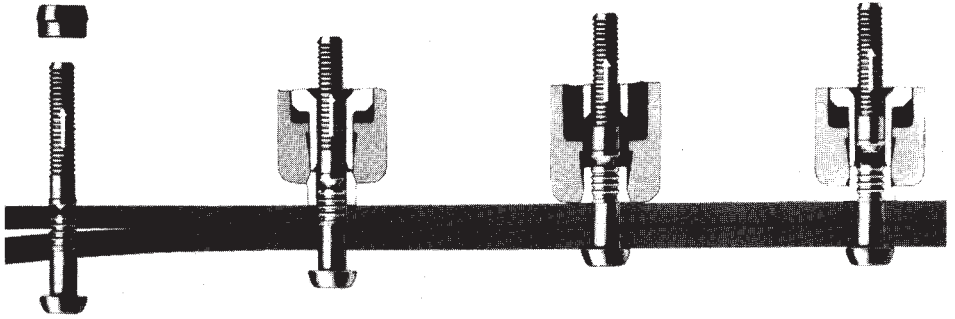
Na eerst voornamelijk te zijn toegepast in de vliegtuigbouw, zijn nu ook sluithulsbouten verkrijgbaar die toegepast kunnen worden in de staalconstructiebouw. In afbeelding 65 is een sluithulsbout met bijbehorende sluithuls gegeven.



afb. 65

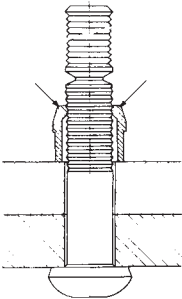
Op de steel zijn twee stel groeven aangebracht die loodrecht op de hartlijn van de steel staan (op de steel is dus geen schroefdraad aanwezig). Het ene stel groeven dient om de steel met een speciaal spanapparaat te kunnen vastgrijpen, om het andere stel groeven wordt een huls met een gladde boring geperst.

Het bevestigen van de bouten gaat met behulp van speciaal hydraulisch aanzetgereedschap. De volgorde van de verschillende handelingen is gegeven in afbeelding 66.



afb. 66

Nadat de bout in het gat is gestoken, wordt de sluihuls over de steel geschoven. Het spanapparaat wordt nu op de boutsteel geschoven en grijpt zich in de trekgroeven vast. Terwijl het spanapparaat zich op de steel afzet, wordt de sluihuls met een kracht gelijk aan ongeveer 30% van de vereiste voorspankracht tegen het pakket geduwd. Het bovenste gedeelte van de sluihuls wordt daarna in de groeven geperst (zie afbeelding 67) zodat de sluihuls dan verankerd is in de steel en op dat moment een kracht in de bout aanwezig is gelijk aan ongeveer 30% van de vereiste voorspankracht. De eigenlijke voorspankracht wordt daarna opgebouwd door verder gaande deformatie van de sluihuls. Is het deformatieproces beëindigd, dan wordt tenslotte het bovenste deel van de boutsteel ter plaatse van de breeknek afgebroken.



afb. 67

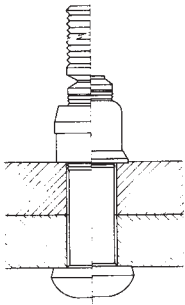
Bovenstaande handelingen worden achtereenvolgens volledig automatisch in slechts 4 seconden uitgevoerd en gaan zonder lawaai gepaard.

Dat de handelingen automatisch worden uitgevoerd heeft het voordeel dat de montage door ongeschoolde krachten kan geschieden.

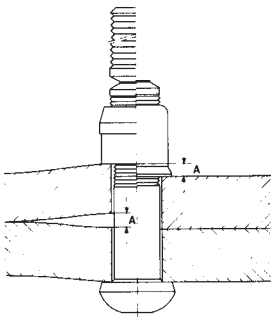
Een nadeel is dat de bout niet demontabel is; wel is het mogelijk om met een zogenaamde "Collar-Splitter" de sluihuls in twee delen te splijten zodat de bout wel is te verwijderen maar dan niet meer kan worden gebruikt.

Verder is uit onderzoekingen gebleken, dat de voorspankracht die in de bouten wordt opgewekt, bij bepaalde omstandigheden, afhankelijk kan zijn van de stijfheid van de constructiedelen.

Voor bouten waaraan zekere eisen ten aanzien van de op te wekken klemkracht moeten worden gesteld kan dat aspect van belang zijn. Zoals hiervoor reeds is gesteld wordt, door de sluiethuls naar voren te duwen en tegelijk aan de bout te trekken, in de bout eerst een kracht opgewekt die ongeveer gelijk is aan 30% van de uiteindelijk op te wekken boutkracht. Dan wordt het bovenste deel van de sluiethuls in de groeven geperst en is de sluiethuls verankerd in de boutsteel. Als daarna het overige deel van de sluiethuls verder wordt gedeformeerd, wordt de middellijn van de sluiethuls kleiner en de



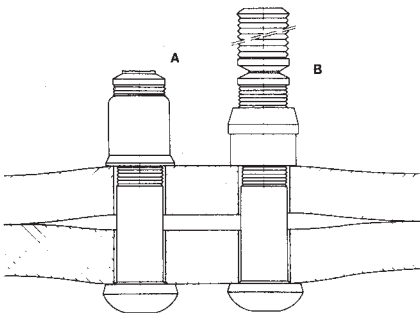
afb. 68



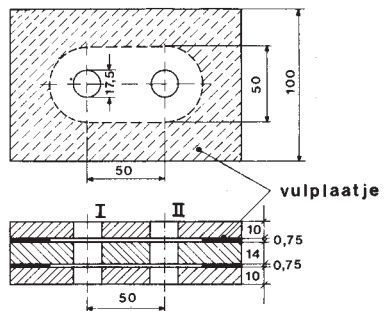
afb. 69

Het hoger worden van de sluiethuls kan dan resulteren in een naar elkaar toe bewegen van de constructiedelen en in mindere mate in de verlenging van de boutsteel; zie afbeelding 69. De kleinere verlenging van de bout heeft tot gevolg dat de in de bout opgewekte kracht ook kleiner is.

Het niet stijf op elkaar liggen van de constructiedelen kan nog een nadelige invloed hebben. Is bijvoorbeeld ter plaatse van bout A in afbeelding 70 na het monteren nog een zekere spleet aanwezig, dan bestaat de kans dat tijdens het monteren van bout B de spleet ter plaatse van bout A kleiner wordt. Het gevolg zal zijn dat hierdoor de kracht in bout A kleiner wordt.



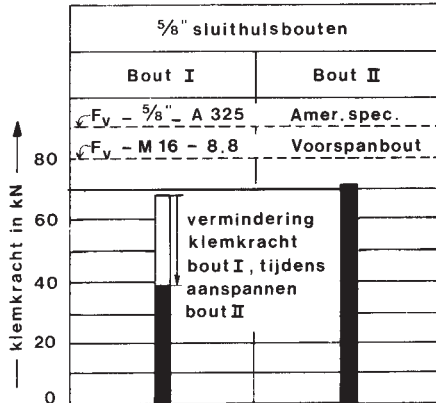
afb. 70



afb. 71

In het laboratorium is deze onderlinge beïnvloeding onderzocht door tussen de platen een vulplaatje te leggen; zie afbeelding 71.

Bij deze pakketjes zijn verschillende grootheden gevarieerd, onder andere de plaatdikten, boutsteek en plaatbreedte. Bij het in afbeelding 71 getekende pakketje was de vermindering in klemkracht het grootst. Deze vermindering bedroeg zelfs 30 kN; verder werd in dit geval door beide bouten ook de vereiste klemkracht niet bereikt. In afbeelding 72 zijn de resultaten van dat pakketje weergegeven.



afb. 72

Als illustratie van de invloed van de onderlinge beïnvloeding kunnen de in afbeelding 72 gegeven proefresultaten heel goed dienen. De vraag is echter in hoeverre de proefpakketjes in overeenstemming zijn met situaties die zich bij constructies in de praktijk kunnen voordoen. Vermoedelijk zijn de proeven te ongunstig; wel blijkt uit de proefresultaten dat in de praktijk in bepaalde gevallen met dit aspect rekening zal moeten worden gehouden.

Of er een spleet aanwezig is na het aanbrengen van de eerste trekkracht, is onder andere afhankelijk van de stijfheid van de constructiedelen.

Als mag worden aangenomen dat bij een bepaalde verbinding de voortrekkracht, gelijk aan ongeveer 30% van de vereiste klemkracht, in staat is om de constructiedelen vlak op elkaar te brengen, dan is het praktisch zeker dat daarna door het verder deformeren van de sluihuls in de bouten tenminste de vereiste klemkracht wordt opgewekt.

Moet worden aangenomen dat de voortrekkracht niet voldoende is om de constructiedelen vlak op elkaar te brengen, dan moeten speciale voorzieningen worden getroffen. Het is bijvoorbeeld mogelijk in enkele gaten zogenaamde werkbouten aan te brengen en met deze werkbouten de constructiedelen op elkaar te brengen. Nadat in de overige gaten sluihulsbouten zijn aangebracht, kunnen ook de werkbouten worden vervangen door sluihulsbouten.

Ook is het mogelijk reeds bij het ontwerp met dit aspect rekening te houden. In de verbindingen kunnen extra gaten worden aangebracht zodat op bepaalde plaatsen eerst met sluihulsbouten de constructiedelen zoveel mogelijk op elkaar worden geklemd. Pas daarna worden de sluihulsbouten gemonteerd die de vereiste klemkracht moeten leveren.

Met proeven is verder nog nagegaan of het mogelijk is achteraf de in de sluihulsbout aanwezige klemkracht te bepalen. Bij moerbouten kunnen in de einden kleine stalen kogeltjes worden geslagen en de verlenging van de bout worden bepaald door voor en na het losdraaien de lengte van de bout te meten. Die verlenging is daneen maat voor de klemkracht die in de bout aanwezig is geweest.

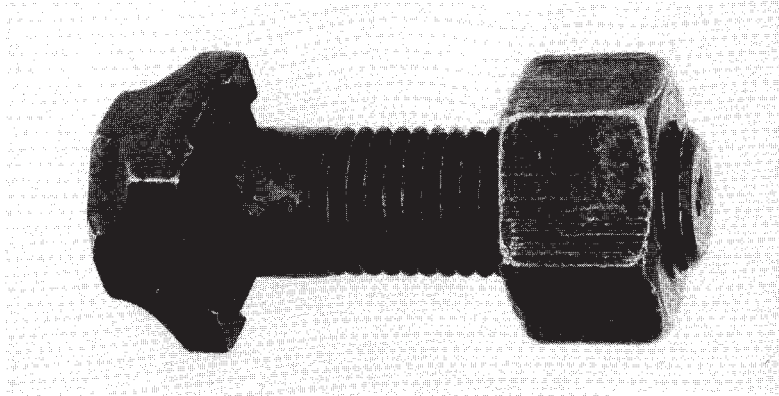
Bij sluihulsbouten kunnen wel kogeltjes in de einden worden ingeslagen maar kan de sluihuls niet worden losgedraaid. Wel is het mogelijk de sluihuls te verwijderen met behulp van een speciale sluihulssplijter. De vraag was echter of tijdens het splijten van de sluihuls de bout niet een extra plastische rek zou krijgen waardoor een te kleine verlenging zou worden gemeten. Bij de proeven zijn van een serie sluihulsbouten bij een deel de sluihulzen verwijderd door middel van een sluihulssplijter, terwijl bij een ander deel de sluihulzen zijn verwijderd door deze zorgvuldig weg te schaven. Bij deze verschillende manieren van verwijderen van de sluihuls zijn geen verschillen in de gemeten verlengingen geconstateerd, zodat gesteld kan worden:

Indien in bepaalde omstandigheden twijfel mocht bestaan over de grootte van de in een sluihulsbout aanwezige kracht, dan is het volkomen verantwoord, voor het meten van de verlenging van de bout, met een sluihulssplijter de sluihuls te verwijderen. De gemeten verlenging is dan een maat voor de kracht die in de sluihulsbout aanwezig geweest is.

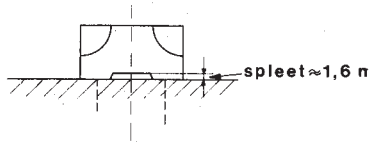
7.3 Kracht aanduidende bouten (load-indicating bolts)

Zoals bekend, kan het van belang zijn de kracht te kennen die door het aandraaien in een bout wordt opgewekt. Om de in een bout aanwezige kracht eenvoudig te kunnen bepalen zijn speciale bouten vervaardigd waarbij, bij het bereiken van een bepaalde kracht, zekere plastische vervormingen gaan optreden. Deze bouten zijn afkomstig uit Engeland en dragen de naam "Load-indicating bolts".

Afbeelding 73 geeft een "load-indicating" bout met moer. Zoals uit deze afbeelding blijkt is de vierkante boutkop voorzien van vier nokken. De afmetingen van deze nokken voldoen aan nauwe toleranties. Wordt de load-indicating bout in een constructie geplaatst dan rusten de nokken op het constructiedeel en is, zolang de bout nog niet is aangedraaid, naast de nokken een spleet aanwezig van ongeveer 1,6 mm; zie afbeelding 74.



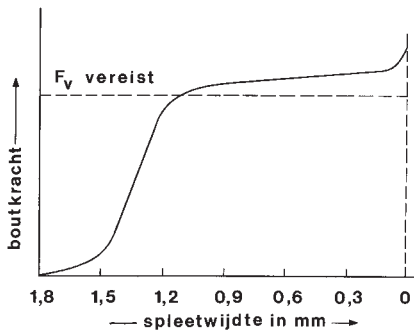
afb. 73



afb. 74

Als door het aandraaien van de moer in de bout een kracht wordt opgewekt, dan zal deze kracht via de nokken worden overgedragen. Wordt door het aandraaien de boutkracht steeds groter, dan zal in de nokken op een gegeven moment de vloeispanning gaan heersen. Als gevolg hiervan zullen de nokken sterk gaan vervormen en wordt de spleet, bij nagenoeg constant blijvende boutkracht, aanzienlijk kleiner.

Tussen de spleetwijdte en de boutkracht is dus een zeker verband aanwezig waarbij op een gegeven moment de boutkracht als functie van de spleetwijdte nagenoeg constant blijft. Het verband tussen spleetwijdte en boutkracht is geschetst in afbeelding 75.

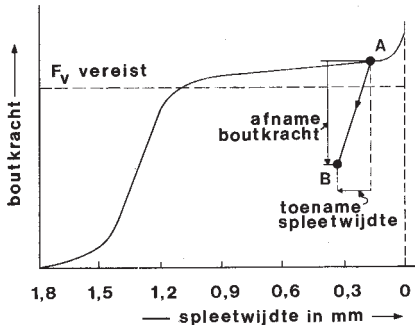


afb. 75

Doordat de nokken aan vrij nauwe toleranties voldoen en de mechanische eigenschappen van de bouten redelijk constant zijn, zal de kracht waarbij vloeien van de nokken gaat optreden, binnen betrekkelijk nauwe grenzen liggen.

Indien nu gezorgd wordt dat door het aandraaien van de moer de spleetwijdte tussen 0,7 en 0,1 komt, dan mag worden verondersteld dat door het aandraaien in de bout een kracht van voldoende grootte is opgewekt.

Bij verbindingen met meer dan één bout per verbinding geeft de wijdte van de spleet niet altijd volledige zekerheid dat een bepaalde kracht in een bout aanwezig is. Indien, nadat een bout volledig is aangedraaid, ter plaatse van deze bout tussen de constructiedelen nog een zekere speling aanwezig is, dan kan tijdens het aandraaien van een naastliggende bout deze speling kleiner worden. Daardoor zal de klemkracht in de eerste bout afnemen. Het afnemen van de kracht in de bout manifesteert zich slechts in een uiterst geringe toename van de spleetwijdte. Bij het voor de eerste keer opwekken van de vereiste boutkracht vervormen de nokken grotendeels plastisch; deze plastische vervorming is slechts éénmalig. Neemt om een of andere oorzaak de boutkracht daarna weer af dan zullen de nokken slechts heel weinig elastisch terugveren en de spleetwijdte slechts weinig toenemen; zie afbeelding 76.



afb. 76

Aan de hand van de spleetwijdte is in dit geval dan niet meer te zien welke kracht in de bout aanwezig is. Een controleur die, nadat deze onderlinge beïnvloeding heeft plaatsgevonden, de spleetwijdte gaat opmeten kan denken dat de vereiste boutkracht aanwezig is, terwijl in werkelijkheid slechts een heel gering deel van de vereiste kracht aanwezig hoeft te zijn.

Om de invloed van een eventuele onderlinge beïnvloeding zo klein mogelijk te doen zijn, verdient het aanbeveling bij een groep bouten eerst alle bouten aan te draaien totdat de spleetwijdte ongeveer 1 mm is geworden en pas daarna de bouten weer verder aan te draaien tot de grootte van de spleet 0,6 à 0,1 mm is. Het is dus aan te raden de bouten als groep in twee stappen aan te draaien en niet elke bout afzonderlijk direct volledig aan te draaien.

Een vraag die kan worden gesteld is:

Zijn bij Load-indicating bouten ook onderleggingen nodig?

Als geen onderlegging onder de kop aangebracht wordt, dan zullen de vier dragende nokken bij een plaat met een pokedalig oppervlak dieper in de plaat worden gedrukt dan bij een plaat met een glad oppervlak.

Bij Fe 510 zullen de nokken weer minder diep in de plaat worden gedrukt dan bij een plaat van Fe 360.

Wat de invloed hiervan is op de spleetvernauwing is niet precies bekend. Wel wordt vermeld in het rapport:

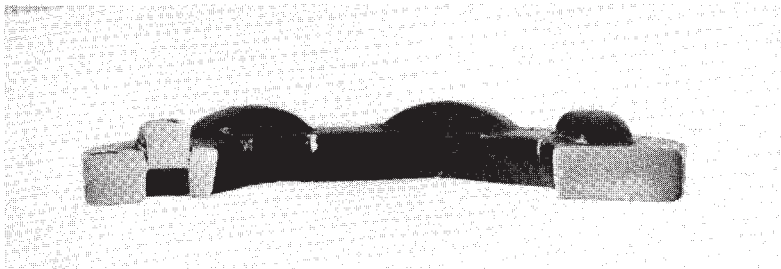
G.K.N. Load-indicating bolts used without washers, long term test, by D.J. O'Donnell and P.J. Gill

dat als geen onderlegging onder de kop wordt aangebracht, een extra indrukking optreedt van 0,010 tot 0,015 inches, zodat de spleetwijdte na het aandraaien dan kleiner moet zijn dan 0,02 inches (0,51 mm) in plaats van 0,03 inches (0,76 mm).

Indien onder de moer geen onderlegging wordt toegepast dan zal een grote variatie in spiegelwrijving kunnen optreden. De grootte van de spiegelwrijving wordt dan voornamelijk bepaald door de oppervlakgesteldheid van de constructiedelen. Daar deze oppervlakgesteldheid sterk kan variëren zal ook de optredende spiegelwrijving sterk kunnen variëren. Op zich hoeft dit nog niet bezwaarlijk te zijn, mits de capaciteit van het aandraagereedschap voldoende is en tijdens het aandraaien de grootte van de spleetwijdte onder de kop goed wordt geobserveerd en bijtijds met aandraaien wordt gestopt.

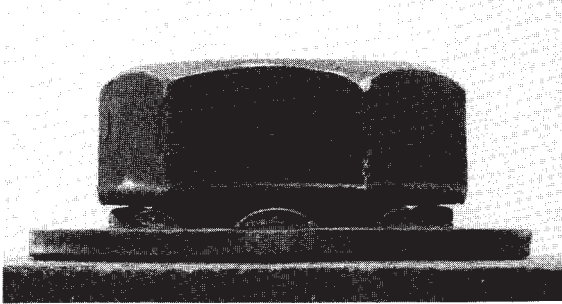
Kracht aanduidende ringen (Load-indicating washers)

Voor het aanduiden van de in een bout aanwezige kracht, zijn ringen verkrijgbaar die op hetzelfde principe berusten als de Load-indicating bouten. Op deze ringen bevinden zich nokjes die in de ring zijn doorgeponst; zie afbeelding 77.

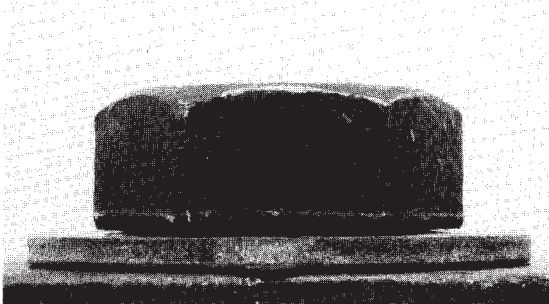


afb. 77

De ringen worden onder de kop van de bouten aangebracht, zodat naast de nokjes, tussen ring en boutkop, een spleet aanwezig is; zie afbeelding 78. De kracht die door het aandraaien van de moer in de bout wordt opgewekt, moet via de nokjes worden overgebracht. Indien deze kracht groter wordt, dan zal op een gegeven moment in de nokjes de vloeispanning gaan heersen. Als gevolg hiervan zullen de nokjes sterk gaan vervormen bij nagenoeg constant blijvende boutkracht en wordt de spleetwijdte aanzienlijk kleiner; zie afbeelding 79.



afb. 78



afb. 79

Door het aandraaien van de moer is de vereiste boutkracht opgewekt als de grootte van de spleet tussen 0,40 en 0,15 mm ligt.

Bij verbindingen met meer dan één bout per verbinding is, net als bij de Load-indicating bouten, ook bij deze ringen kans op onderlinge beïnvloeding door het aandraaien van naastliggende bouten.

Neemt door deze onderlinge beïnvloeding de kracht in een bepaalde bout af, dan zal dit aan de vergroting van de spleet nauwelijks zijn te zien.

Als de boutkracht zou afnemen van de vereiste waarde tot nul, dan wordt de spleet door de elastische terugvering van de nokjes ongeveer 0,15 mm groter. Is direct na het aandraaien van een bout de breedte van de spleet bijvoorbeeld gelijk aan 0,20mm en zou de boutkracht daarna door onderlinge beïnvloeding tot nul afnemen, dan wordt de spleetbreedte ongeveer $0,20 + 0,15 = 0,35$ mm. Deze waarde is kleiner dan de maximale toegestane spleet, gelijk aan 0,40 mm, zodat een controleur zou kunnen denken dat de vereiste kracht in de bout aanwezig is, terwijl in werkelijkheid de boutkracht gelijk aan nul is.

De invloed van de onderlinge beïnvloeding kan zo gering mogelijk gemaakt worden door de bouten als groep in twee stappen aan te draaien. Eerst moeten in een verbinding alle bouten worden aangedraaid totdat de spleetbreedte 0,6 à 0,8 mm is geworden; pas daarna kunnen de bouten verder worden aangedraaid totdat de grootte van de spleet tussen 0,4 en 0,15 mm ligt. Een groot voordeel van de krachtaanduidende bouten en ringen is dat geen speciaal aandraag gereedschap nodig is. Volgens informatie uit de praktijk is dit speciale gereedschap vaak erg kwetsbaar.

Controle

Om zekerheid te krijgen dat bij kracht aanduidende bouten of ringen het aandraaien van een groep bouten inderdaad in twee stappen gebeurt, zou als volgt gehandeld kunnen worden:

Eerst alle bouten laten aandraaien totdat de spleet 0,8 à 0,6 mm is geworden. Daarna controleren of aan deze eis is voldaan. Dan verder laten aandraaien totdat de spleet 0,4 à 0,15 mm is geworden en tot slot controleren of ook aan deze eis is voldaan. Het controleren van de grootte van de spleet kan met voelers gebeuren en gedeeltelijk ook op het oog.

Voordelen van kracht aanduidende bouten en ringen:

- geen boutkrachtmeter nodig;
- geen moeraanzetter met instelbaar moment nodig (kwetsbaar!);
- minder investeringskosten voor aandraagereedschap;
- de grootte van de kracht die wordt opgewekt is niet afhankelijk van de schroefdraad- en spiegelwrijving;
- op de steel en de moer hoeven geen merkstrepen te worden aangebracht.

Nadelen van kracht aanduidende bouten en ringen:

- het in twee stappen aandraaien is in vele gevallen nodig; gecontroleerd moet worden of dit inderdaad gebeurt;
- tijdens het aandraaien moet de spleet worden geobserveerd;
- de speciale bouten en ringen zijn duurder dan normale bouten en ringen;
- de kans op roestvorming op de steel en in het gat is door de aanwezigheid van de spleet groter;
- bij de "Load-indicating bolt" kan het aandraaien niet aan de zijde van de kop gebeuren;
- een load-indicating ring is slechts geschikt voor één bepaalde boutkwaliteit.

8. RESUME

8.1 Beknopt overzicht van de verschillende aandraaimethoden

Momentmethode

Bij deze methode spelen een belangrijke rol:

- de wrijving van de schroefdraad en
- de wrijving van de spiegel.

De spreidingen in de wrijving van de schroefdraad en in de wrijving van de spiegel van de moer hebben het volgende tot gevolg:

- voor de verschillende bouten kunnen geen vaste aandraaimomenten worden voorgeschreven zodat een boutkrachtmeter moet worden gebruikt;

- in verband met de kans op afdraaien moeten de op te wekken klemkrachten niet groter worden gekozen dan de helft van de trekbreekkracht van de bouten dus:

$$F_{v_{\max}} = 0,5 F_{u_t}$$

Met het oog op de grote invloed van de draad- en spiegelwrijving van de bouten, is het nodig dat aan de conditie van de bouten zekere eisen worden gesteld. Deze eisen zijn vermeld op blz. 6.

Opmerking: Bij deze methode heeft een tussen de constructiedelen aanwezige speling géén invloed op de grootte van de kracht die in de bouten wordt opgewekt door het aandraaien tot een bepaald moment.

Hoekmethode

Bij deze methode is de mate van speling tussen de constructiedelen van grote invloed op de kracht die in de bouten wordt opgewekt als gevolg van het aandraaien over een zekere hoek α .

Daar een bepaalde variatie in de speling tussen de constructiedelen een sterke variatie in opgewekte boutkracht tot gevolg heeft, is deze methode alleen geschikt indien:

- de constructiedelen vlak zijn en slechts een klein voordraaimoment nodig is om de speling tussen de onderdelen op te heffen;
- de bouten aangedraaid worden tot in het plastisch gebied.

Een groot voordeel van deze methode van aandraaien is dat men, voor het aanbrengen van de aandraaihoek, volkomen vrij is in de keuze van het soort aandraagereedschap dat men wil gebruiken. Voor de aandraaihoek die, na niet te zwaar aandraaien met een normale sleutel (50 à 200 Nm), moet worden aangebracht, kunnen de waarden worden aangehouden die vermeld staan in tabel 2, blz. 14.

Opmerking: Bij deze methode is de wrijving van de schroefdraad en die van de spiegel binnen zekere grenzen nagenoeg niet van invloed op de grootte van de kracht die in de bouten wordt opgewekt door het aandraaien over een zekere hoek α . Een goed smeermiddel op de schroefdraad is echter wel aan te bevelen daar hierdoor de wringspanning in de bouten kleiner wordt en het aandraaien makkelijker gaat en men dus met lichter aandraagereedschap kan volstaan.

Moment-hoekmethode

Het principe van deze methode is dat eerst de speling tussen de constructiedelen opgeheven wordt door eerst een boutkracht van voldoende grootte op te wekken door aan te draaien tot een bepaald moment is bereikt; daardoor wordt een goede uitgangspositie verkregen voor het aanbrengen van de voorgeschreven nadraaihoek.

De kracht die door het aandraaien tot een bepaald moment in de bout wordt opgewekt moet voldoende groot zijn om de constructiedelen op elkaar te brengen. Die kracht mag echter niet zo groot worden gekozen dat het gevaar bestaat dat door variatie in draad- en spiegelwrijving en eventuele andere afwijkingen de bouten te dicht tot de breekkracht worden aangedraaid.

De nadraaihoek moet zo groot worden gekozen dat in de bouten tenminste de voorgeschreven klemkracht wordt opgewekt; echter mag de hoek niet te groot worden gekozen opdat voldoende reserve tegen afdraaien aanwezig blijft.

Voor voorspanbouten in staalconstructies wordt in Nederland aangehouden:

$$\frac{3}{4} F_V + 90^\circ \quad (F_V = 0,8 \cdot \sigma_{0,2} \cdot A_s)$$

Daar het in verband met de spreiding in draad- en spiegelwrijving niet mogelijk is om exact $F_0 = \frac{3}{4} F_V$ in de bouten op te wekken, wordt een zekere afwijking toegestaan. De kracht F_0 die bij voorspanbouten door het aandraaien tot een bepaald moment moet worden opgewekt, moet volgens de Nederlandse voorschriften liggen binnen de grenzen:

$$0,60 F_V \leq F_0 \leq 0,85 F_V$$

Voor de nadraaihoek van 90° zouden als grenzen aangehouden kunnen worden

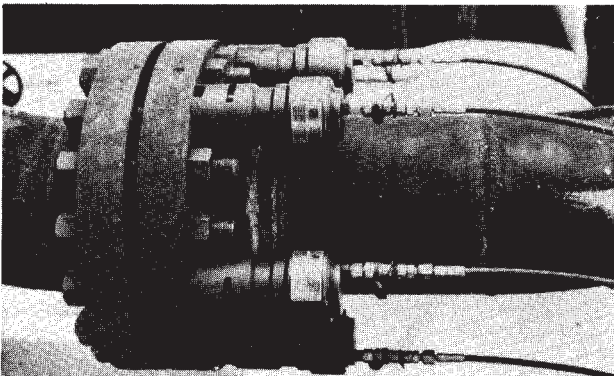
$$70^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$$

Toepassingsgebied moment-hoekmethode:

- voor bouten in constructies waar niet voldoende zekerheid bestaat dat de constructiedelen in de begintoestand vlak op elkaar liggen;
- voor bouten die grote klemkrachten moeten leveren.

Hydraulisch aanspannen met trekvijsels

In de praktijk worden bouten soms met trekvijsels hydraulisch aangespannen. Om de vijzel de gelegenheid te geven zich vast te grijpen wordt het draadgedeelte van de bout (of draadeind) langer gehouden; zie afbeelding 80.



afb. 80

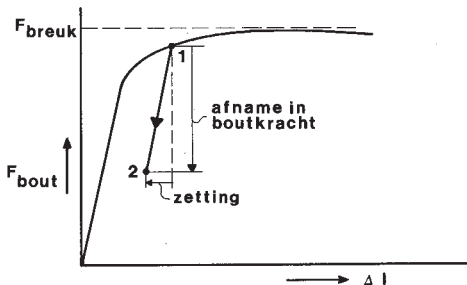
Tijdens het aanspannen zet de vijzel zich naast de moer af. Heeft de vijzel de vereiste kracht bereikt, dan wordt de moer met de hand verder gedraaid totdat de moer tegen het constructiedeel komt. Daarna wordt de oliedruk van de vijzel weggenomen en gaat de moer de boutkracht dragen.

Omdat de oliedruk vrij exact een maat is voor de kracht die door de vijzel wordt uitgeoefend, wordt wel gedacht dat het aanspannen met trekvijsels een vrij nauwkeurige methode is. Tijdens het overnemen van de belasting van de vijzel naar de moer treden echter, in de schroefdraad en ter plaatse van het oplegvlak van de moer, zettingen op die de boutkracht aanzienlijk kunnen reduceren.

De elastische verlenging die als gevolg van het aanbrengen van de boutkracht optreedt is voor korte bouten gering. Voor voorspanbouten met een klemdikte van bijvoorbeeld 50 mm bedraagt de elastische verlenging, die als gevolg van het aanbrengen van de voorspankracht optreedt, ongeveer slechts $180 \mu\text{m} = 0,18 \text{ mm}$. Een kleine zetting kan hierbij een belangrijke reductie in boutkracht veroorzaken. Voor bouten of draadeinden met een grote lengte, bijvoorbeeld langer dan 1 m, zal de boutkracht door de zetting slechts weinig afnemen.

Bij het hydraulisch aanspannen moet de kracht, die tijdens het aanspannen op de bout wordt aangebracht, duidelijk kleiner zijn (bijvoorbeeld 20%) dan de breekkracht van de bout. Ook al zou men tot ver in het plastisch gebied kunnen aanspannen, zie punt 1 in afbeelding 81, dan kan bij korte bouten, door de overname van de boutbelasting van de vijzel naar de moer, de vermindering van de boutkracht toch nog aanzienlijk zijn; zie punt 2 in afbeelding 81.

Uit het bovenstaande blijkt wel dat het hydraulisch aanspannen met trekvijsels voor korte bouten niet geschikt is.



afb. 81

8.2 Praktische aanwijzingen voor het aandraaien van bouten

Aanwijzingen met betrekking tot de momentmethode

Indien een boutkracht moet worden opgewekt door aan te draaien tot een bepaald moment is bereikt, dan kan hiervoor gebruik worden gemaakt van momentsleutels of van moeraanzetters met instelbaar moment. Voor grote aantallen bouten zal over het algemeen het aandraaien met momentsleutels te tijdrovend zijn en daardoor economisch niet verantwoord.

Het werken met moeraanzetters vergt veel minder lichamelijke inspanning daar de moeraanzetters het aandraaimoment zelf leveren, terwijl bij momentsleutels het moment door de monteur moet worden opgewekt.

In tabel 3 zijn de voor- en nadelen gegeven van verschillende typen aandraagereedschappen voor het aandraaien van bouten tot een bepaald moment.

Het voorschrijven van een aandraaimoment zonder dat de wrijvingscondities van de aan te draaien bouten met moeren bekend zijn, geeft veel onzekerheid over de grootte van de boutkracht die door dit moment wordt opgewekt.

Indien voor het bepalen van het benodigde moment of voor het afstellen van de moeraanzetter een boutkrachtmeter wordt gebruikt, dan wordt veel onzekerheid weggenomen.

Bij het aandraaien van bouten in een boutkrachtmeter moet aan de zijde waar wordt aangedraaid een nieuwe gehard stalen sluitring zijn aangebracht. Opgelet moet worden dat, tegen het tijdstip dat de gewenste boutkracht wordt bereikt, die ring niet meedraait. Draaien de ringen wel mee dan zou dit door ruwe plaatjes onder de ringen aan te brengen kunnen worden tegengegaan.

Bij het aandraaien in de boutkrachtmeter moet het aandraagereedschap worden gebruikt in de toestand zoals het ook op de montage wordt gebruikt, dus met overbrengingskop en dergelijke. In tabel 4 is een overzicht gegeven voor de toepassing van boutkrachtmeters.

Gezien de grote invloed van de schroefdraad- en spiegelwrijving bij het aandraaien tot het bereiken van een bepaald moment, moeten onderstaande punten in acht worden genomen:

- voor het bepalen van het benodigde moment gebruik maken van een boutkrachtmeter;
- bouten van één fabrikaat, liefst van dezelfde serie;
- bouten niet laten verontreinigen;
- bouten van een goed smeermiddel voorzien;
- aan de zijde van het aandraaien een gehard stalen onderleg-ring toepassen.

Voor bouten waarop een zinklaag is aangebracht is bijenwas een bijzonder geschikt smeermiddel gebleken. Voor het opbrengen van de bijenwas zie blz. 50.

Bij bepaalde momentsleutels is het van belang dat deze op de juiste plaats worden vastgehouden. Momentsleutels waarbij het moment dat wordt uitgeoefend moet worden afgelezen zijn voor het monteren van staalconstructies over het algemeen minder makkelijk in het gebruik dan sleutels die bij het bereiken van een bepaald moment waarschuwen (klikken, doorknikken, enz.).

Is de capaciteit van een momentsleutel of van een moeraanzetter in een bepaald geval niet voldoende, dan kan in eerste instantie worden getracht de draad- en spiegelwrijving te verlagen door het aanbrengen van een effectiever smeermiddel, bijvoorbeeld bijenwas.

Voor- en nadelen van momentsleutels en moeraanzetters met instelbaar moment

momentsleutel	moeraanzetter met inwendige torsiestaaaf	moeraanzetter met zuiger-hefboom mechanisme
<p>- geen grote investering</p> <p>- geen lawaai</p> <p>- weinig slijtage</p> <p>- praktisch geen onderhoud</p> <p>- geen compressor nodig</p>	<p>- het apparaat levert zelf de reactiestoten</p> <p>- weinig lichamelijke inspanning</p> <p>- de moeraanzetter waarschuwt zelf als de druk van de perslucht onvoldoende is (de moeraanzetter slaat niet af zolang het ingestelde moment niet is bereikt)</p> <p>- aandraaikop draait onbelast snel rond</p>	<p>- afstellen gaat zeer snel</p> <p>- geen lawaai</p> <p>- gering luchtgebruik</p> <p>- weinig lichamelijke inspanning</p> <p>- grote aandraaimomenten mogelijk (het zwaarste type zelfs tot 13822 Nm)</p> <p>- kan ook met luchtcilinder in plaats van met een compressor</p>
<p>- vraagt veel lichamelijke inspanning</p> <p>- tijdrovend</p> <p>- voor grote momenten extra hulpstukken nodig, bijvoorbeeld een momentvermeerderingskop</p> <p>- erg afhankelijk van de monteur</p>	<p>- veel lawaai</p> <p>- afstellen betrekkelijk tijdrovend</p> <p>- veel luchtgebruik</p> <p>- compressor nodig</p> <p>- slijtage</p> <p>- onderhoud</p> <p>- zover bekend slechts tot 760 Nm</p>	<p>- reactiearm of reactiering nodig (oppassen voor wegslippen)</p> <p>- onbelast aandraaien gaat langzaam, tenzij het apparaat met een snel aanloopinrichting is uitgerust</p> <p>- compressor of luchtcilinder nodig</p> <p>- opletten dat druk van de perslucht voldoende is</p> <p>- zand en vuil in perslucht veroorzaken sterke slijtage</p> <p>- onderhoud</p>

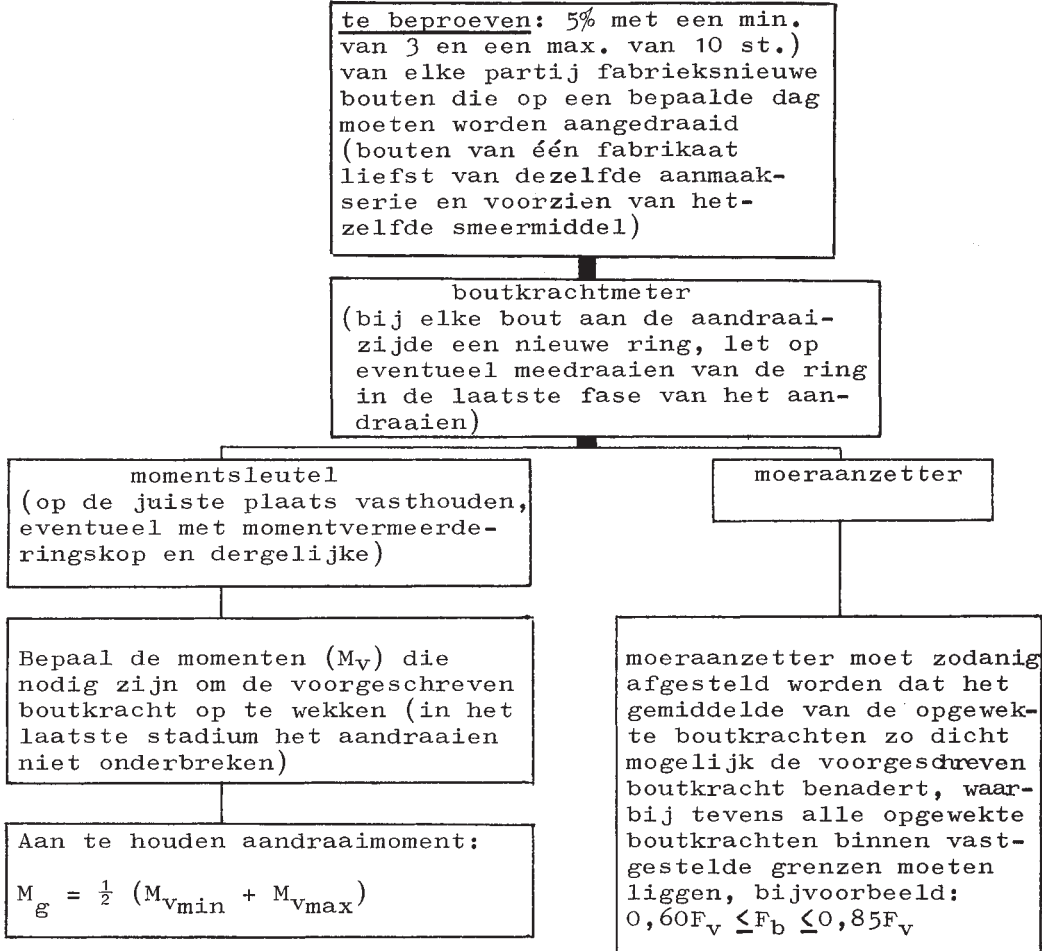
VOORDELLEN

NADELEN

Opmerking: Zie voor de voor- en nadelen van hydraulisch aandraaien blz. 42

tabel 3

Bepaling benodigd aandraaimoment of afstelling moeraanzetter met behulp van een boutkrachtmeter



Opmerking: de waarden van M_{vmin} en M_{vmax} mogen niet meer dan 20% afwijken van M_g .

tabel 4

Bij momentsleutels is met verlengstukken de capaciteit eenvoudig te vergroten. Indien in een groep bouten een zekere klemkracht moet worden opgewekt door aan te draaien totdat een bepaald moment is bereikt, dan zullen tijdens het aandraaien zettingen van de constructiedelen kunnen optreden. Als gevolg van deze zettingen kunnen de klemkrachten van eerder aangedraaide bouten afnemen.

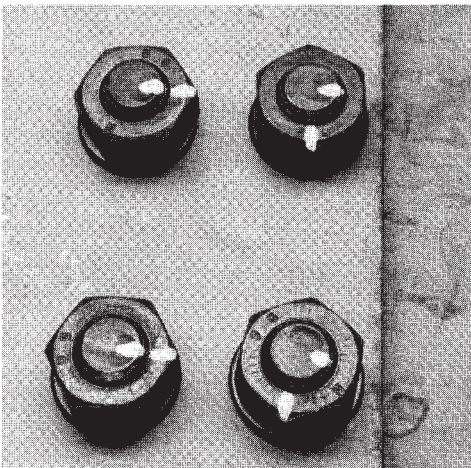
Om deze onderlinge beïnvloeding zoveel mogelijk op te heffen, moet worden aangeraden een groep bouten tenminste tweemaal tot het vastgestelde moment aan te draaien. Ook als met afgestelde moeraanzetters wordt aangedraaid, moet het aandraaien tenminste tweemaal worden uitgevoerd. Zekerheidshalve kan worden gesteld, dat elke verbinding tenminste tweemaal moet worden aangedraaid tot het vastgestelde moment.

Aanwijzingen met betrekking tot het aandraaien over een zekere hoek

Bij het aandraaien over een zekere hoek is men volkomen vrij in de keuze van het type aandraaigereedschap dat men gebruiken wil.

Zoals reeds is gesteld, gaat het aandraaien met behulp van pneumatische moeraanzetters snel. Kiest men voor het aandraaien met behulp van een moeraanzetter dan is het aan te bevelen een moeraanzetter met voldoende capaciteit te gebruiken. Is de capaciteit van een moeraanzetter niet voldoende, dan moet die te lang hameren om de bouten voldoende aangedraaid te krijgen. Het op volle capaciteit over een lange tijd hameren vergt niet alleen langere arbeidstijd, maar veroorzaakt tevens een grotere slijtage van de moeraanzetter. Het aandraaien van moeren moet niet langer duren dan 5 à 10 seconden per bout; is dit wel het geval dan is de capaciteit van de moeraanzetter onvoldoende. Verder moet rekening worden gehouden met het feit dat door het gebruik de capaciteit van de moeraanzetter achteruit zal gaan, zodat het goed is als een nieuwe moeraanzetter een zekere overcapaciteit heeft.

Voordat de voorgeschreven aandraaihoek wordt aangebracht, moet de stand van de moer ten opzichte van de boutsteel worden gemarkeerd.



afb. 82



afb. 83

Het merken kan geschieden door bijvoorbeeld een verfstreep op de moer en de steel aan te brengen (zie afbeelding 82) of door met een beitel in de steel en in de moer een merkteken te slaan (zie afbeelding 83).

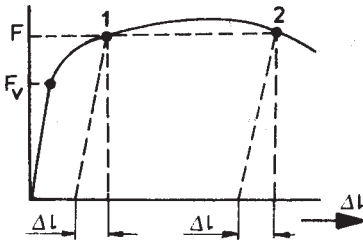
Ook bij het aandraaien over een zekere hoek is het smeren van bouten zinvol. Door de aanwezigheid van een smeermiddel zal het moment dat nodig is om de vereiste hoek aan te draaien kleiner zijn dan wanneer geen smeermiddel of een minder effectief smeermiddel aanwezig is. Dit heeft tot gevolg dat de wringspanning in de boutsteel kleiner zal zijn en dat de vereiste hoek makkelijker kan worden aangebracht en dus ook met lichter aandraagereedschap kan worden volstaan.

In tabel 5 is een overzicht gegeven van de hoofdzaken met betrekking tot de verschillende aandraaimethoden.

Controle van de aanwezige klemkracht

Voor de controle wordt verwezen naar hetgeen is gesteld op blz. 46 t/m 48.

Als aanvulling kan daarop nog worden gesteld dat door het meten van de boutverlenging wel bepaald kan worden of bouten voldoende zijn aangedraaid maar niet of het aandraaien te ver is doorgezet.





De bouten die bijvoorbeeld worden aangedraaid tot de punten 1 en 2 (zie afbeelding 84) geven bij losdraaien dezelfde elastische lengteverandering. In geval 2 is misschien aan de vervormingen van de schroefdraad te zien dat te ver is aangedraaid.

afb. 84

Opmerking

Met het oog op bezwijken tengevolge van vermoeiing is het bij bouten die op trek worden belast van grote betekenis dat door het aandraaien in de bouten een klemkracht van voldoende grootte wordt opgewekt. De vraag kan echter worden gesteld of het aandraaien tot in het plastisch gebied van de bouten niet te hoog is en daardoor de kans op vermoeiing van de bouten groter. Om op deze vraag een antwoord te krijgen zijn een aantal bouten die zich in pakketjes bevonden dynamisch op trek belast. Een deel van de bouten is vooraf aangedraaid tot de juiste voorspankracht, een ander deel is tot in het plastisch gebied van de bouten aangedraaid. Bij het dynamisch op trek belasten van deze op verschillend niveau aangedraaide bouten is bij de bouten die tot in het plastisch gebied waren aangedraaid géén lagere vermoeiingssterkte geconstateerd. Het tot in het plastisch gebied aandraaien van bouten kan dus ook zonder bezwaar gebeuren voor bouten die door de uitwendige belasting dynamisch op trek worden belast.

tabel 5 De hoofdzaken met betrekking tot de verschillende aandraaimethoden

Momentmethode	Hoekmethode	Moment-hoekmethode
<p>Fabrieksnieuwe bouten, liefst van één serie.</p> <p>Gehard stalen onderlegging aan aandraaizijde.</p> <p>Momentsleutel of moeraanzetter met instelbaar moment.</p> <p>Welk moment en hoe afstellen?</p> <p style="text-align: center;">➔</p> <p style="text-align: center;">boutkrachtmeter</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> $F_{v \max} = 0,5 F_{u_t}$ </div> <p>($F_{v \max}$ = maximale klemkracht) (F_{u_t} = trekbreekkracht)</p> <p>Elke verbinding tenminste tweemaal aandraaien.</p>	<p>Handvast aandraaien, bijvoorbeeld tot de momenten:</p> <p>M16, M20 → $M_v = 50 \text{ Nm}$ M22, M24 → $M_v = 100 \text{ Nm}$ M27, M30 → $M_v = 200 \text{ Nm}$</p> <p>Een groep bouten tenminste tweemaal aandraaien.</p> <p>Na handvast aandraaien géén speling tussen de constructiedelen?</p> <p>Merken, zowel de meer als de steel</p> <div style="text-align: center;">  <p>merkstreep</p> </div> <p>Vrij in keuze soort aandraai-gereedschap.</p> <p>Voor de grootte van de draahoecken zie tabel 2 blz. 14.</p>	<p>Fabrieksnieuwe bouten, liefst van één serie.</p> <p><u>Moment:</u></p> <p style="text-align: center;">┆┆┆ zie momentmethode ↓ boutkrachtmeter</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> $0,6 F_v \leq F_{\text{bout}} \leq 0,85 F_v$ </div> <p>Elke verbinding tenminste tweemaal aandraaien.</p> <p><u>Aandraaihoek:</u></p> <p>Merken, zowel de meer als de steel</p> <div style="text-align: center;">  <p>merkstreep</p> </div> <p>Vrij in keuze soort aandraai-gereedschap ➔</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> $70^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ </div>

Opmerking: Zie voor hydraulisch aanspannen met trekvijszels blz. 62.

In deze serie verschenen eerder:

- Stabiliteit voor de staalconstructeur
- Koudgevormde profielen
- Richtlijnen voor het berekenen en detailleren van geboute hoekverbindingen
- Toelaatbare lasfouten – statisch
- Brandveiligheid staalconstructies
- Vermoeiing van bouten en van geboute verbindingen
- Ontwerpmethodiek voor vlakke raamwerken