

Dokument: SASAK-RAP-KV-AKS-FI-0009-00

# **Kvalitetskriterier for mekanisk sammenføring**

SASAK  
Projekt 6 - Kvalitetskriterier

Hans Knudsen

FORCE Instituttet, April 2001

# **MEKANISK SAMMENFØJNING**

## **BOLTNING OG NITNING**

- 1) Kvalitetsstyring og kontrol
  - 1.1) Kvalitetsstyring generelt
  - 1.2) Acceptkriterier/reparation
  - 1.3) Kontrolmetoder
  - 1.4) Produktionsmæssige konsekvenser
  - 1.5) Dokumenterede gode råd om design
- 2) Krav til produktionsfaciliteter
  - 2.1) Udstyr
  - 2.2) Adkomstforhold, arbejdsforhold
- 3) Normer og standarder
- 4) Økonomiske konsekvenser
- 5) Uddannelse

## 1) Kvalitetsstyring og kontrol

### 1.1) Kvalitetsstyring generelt

Der findes ikke specifikke kvalitetskrav til mekanisk sammenføjning svarende til EN 729 for svejsning. I stedet kan anvendes de generelle standarder for kvalitetsstyringsystemer :

- ISO 9001 Krav ved udvikling, konstruktion, produktion, installation og service
- ISO 9002 Krav ved produktion, installation og service.

eller den kommende revision af standarden ISO 9001:2000.

Disse standarder danner rammen for beskrivelsen af kvalitetsstyringssystemet i en kvalitets håndbog som normalt indeholder en generel del og de nødvendige procedurer/instruktioner. For mekanisk samling bør der være en række procedurer/instruktioner. Der er ikke krav til, at der skal være procedurer/instruktioner til alle aktiviteter, men som hovedregel kan man sige, at hvis mangelen på en bestemt procedure /instruktion har negativ indflydelse på produktets kvalitet, så skal der være en procedure/instruktion. Ud fra denne vurdering kan procedurer/instruktioner for flg. områder overvejes:

- Udførelse og check af beregninger.
- Produktionsforberedelse inklusiv vurdering af adkomstforhold.
- Udførelse af boltning / nitning.
- Identifikation og sporbarhed af bolte-/nittematerialer.
- Vedligehold af boremaskiner, hulstansemaskiner, nitteudstyr.
- Kalibrering af momentnøgler og instrumenter til måling dimensioner, f.eks. skydelære, huldorne, målelære.
- Dimensionskontrol af huller - diameter og placering.

Udførelse og check af beregninger vil kun være aktuel for virksomheder, der har denne aktivitet, mens en typisk underleverandør, der får udleveret tegningerne fra kunden, kan nøjes med de andre procedurer/instruktioner.

### 1.2) Acceptkriterier/reparation

Ved nitning i aluminium findes ligesom ved stål en række kriterier accept af udførelsen. Disse kan være beskrevet i lærebøger eller udviklet i virksomheder. Desuden indeholder relevante standarder acceptkriterier. I Eurocode 9, ENV 1999-1-1:1998 for aluminiumskonstruktioner er der på side 149 anført flg. :

- Nitten må ikke sidde være ”løs” og skal fylde hullet helt ud. Dette gælder også for undersænkede hoveder.
- Hoveder på nitten skal være centreret over skaftet og være i tæt kontakt med det sammen-nittede materiale. I praksis medfører det at luftgab mellem de sammennittede materialer omkring nitten ikke er tilladt.
- Almindelige nitter og specielle nitter skal fremstilles ved smedning i kold tilstand, og der skal bruges procedurer og værktøjer ved nitningen, som anbefalet af leverandøren.
- ”Løse” eller ødelagte nitter fjernes ved udboring eller maskinel bearbejdning, og ny nitter isættes.

Acceptkriterierne i DS 419 : 1999, side 66 kræver desuden, at der skal anvendes metoder og udstyr, således at den færdige nitning svarer til forudsætningerne i beregningerne. Desuden anføres det, at der bør udføres prøvenitninger med de samme materialetykkelser, huldiametre og udstyr, som den endelige nitning.

Ved fremstilling af fly udføres nitning også i stort omfang, og udover de kendt nittetyper fra øvrig produktion er der udviklet forskellige specifikke nitter til flyproduktion. Kvalitetsstyring her er generelt mere krævende, men antallet af procedurer/instruktioner vil svare til omfanget som nævnt i afsnit 1.1. I stedet for prøvenitninger, som anført i DS 419, stilles der normalt krav om fremstilling af en prototype, før en egentlig produktion indledes. Prototypen kan undersøges med en passende afprøvning, for at fastslå om f.eks. de anvendte nitter er gode nok og om den udførte nitning er acceptabel. Hvis prototypen holder, skal de etablerede procedurer/instruktioner sikre at den egentlige fremstilling gennemføres tilfredsstillende.

Acceptkriterier ved boltning omfatter følgende:

- Boltensamling udføres som specificeret med boltetype, skiver og tilspænding.
- Tolerancer for boltehuller iflg. de gældende krav. For strukturel anvendelse kan kravene findes i DS 419 tabel 7.4.2 og tabel 7.1 i ENV 1999-1-1:1998.
- Luftspalte mellem de sammenboltede materialer er ikke tilladt, idet beregningerne forudsætter tæt kontakt.

Konsekvenserne ved reparation eller udskiftning af bolte og nitter er i sagens natur forskellig for de 2 samleprocesser. En boltesamling vælges ofte, fordi den nemt kan adskilles igen. Hvis nittesamlinger skal adskilles medfører det ødelæggelse af den monterede nitte, og der er risiko for skader på selve produktet. Desuden kan det være nødvendigt at isætte en større nitte, hvis følgeskaderne er for store.

For svejsning er teoretiske og praktiske acceptkriterier afhængig af belastningsniveau defineret i DS 419. For boltning er der i samme standard defineret 5 kategorier for boltesamling, hvor kategorierne A, B og C er for forskydningspåvirkede boltesamlinger. For disse 3 kategorier er der ligesom ved svejsning defineret forskelligt kontrolomfang iflg. afsnit 8.4 og 8.5. Acceptkriterierne er de samme som nævnt ovenfor, men ved kategori A skal der foretages dimensionskontrol af mindst 5% af hullerne, og ved B og C udvides kontrollen til også at omfatte kontrol af boltespændingen på mindst 5% boltene og mindst 1 bolt i hver samling ved høj sikkerhedsklasse.

Ved nitning er der ikke tilsvarende niveauer for acceptkriterier afhængig af belastningsniveau. Her er der tale godkendt eller kasseret iflg. ovennævnte acceptkriterier for nitning.

Hvis en aluminiumskonstruktion er udmattelsespåvirket ændres acceptkriterier og kontrolomfang ikke iflg. DS 419 under fremstillingen. Til gengæld stilles der krav om periodevis kontrol efter ibrugtagning iflg. en kvalitetsspecifikation, der omfatter flg.:

- Kontrolomfang
- Kontrolintervaller
- Forberedelse til kontrol
- Kontrolmetode
- Kontrolprocedure
- Kvalitetskrav
- Dokumentation

### **1.3) Kontrolmetoder**

Under udførelsen af boltning og nitning kan der anvendes forskellige kontrolmetoder :

Nitning :

- Check af huldiametre og placering af huller.
- At der er anvendes de specificerede nitter.
- Visuel inspektion af eventuelle skader på nitten.
- Opmåling af nittehoved.
- Opmåling af spalteåbning mellem de sammennittede materialer.
- Korrosionsbeskyttelse er udført som specificeret af nitte og omkringliggende områder.

- Check af rækkefølge for udførelsen af nitningen, hvis denne er specificeret. For en række nitter kan der foreskrives flg. generelle rækkefølge for at sikre korrekt nitning : H 3 1 5 H 6 2 4 H, hvor H er en ”hæftning” med skrue eller tilsvarende, og numrene refererer til rækkefølgen.[3]

Nitning ved flyfremstilling kontrolleres på tilsvarende måde. Her er tolerancerne mindre, f.eks. toleranceintervallet for diameteren af det borede hul kan være 0,003” eller ca. 0,08 mm. Dette kan undersøges med en go/no-go huldorn, hvor den ene ende af dornen skal kunne føres ned i hullet, mens den anden ende er for stor. Da flydele ofte har komplicerede 3-dimensionelle former kan den korrekte placering af hullerne sikres ved at anvende en 3-dimensionel borelære eller opmærkerlære. Den anvendte lære skal vedligeholdes og håndteres i det etablerede kvalitetssystem. Ved flyfremstilling måles nitterne også efter nitningen er udført. Ved hammernitning kan man f.eks. måle diameteren af nittehovedet, og så fastlægge om målet er inden for største og mindste tilladte diameter. Desuden kan eventuelt luftgab måles med bladsøger. Luftgab er ikke tilladt lige omkring nitten. Dette gælder også for andre anvendelser end til flyfremstilling.

#### Boltning :

Ved boltesamlinger sikres det at den specificerede boltespænding ligesom ved stål opnås ved anvendelse af en momentnøgle, således at kontrollen foretages samtidig med udførelsen af boltningen. Momentnøgler skal derfor kalibreres med passende mellemrum.

Tilspændingen af bolte kan også kontrolleres med ultralyd. Længden af bolten bestemmes med ultralyd før og efter tilspænding, og forlængelsen omregnes til spænding. Denne metode kan anvendes generelt for alle metalliske boltematerialer, hvor lyd hastigheden kan bestemmes med passende nøjagtighed. Det gælder bolte, der er fremstillet af rustfrit stål og aluminium, som anvendes ved boltesamlinger i aluminium.

Flg. andre kontrolmetoder kan nævnes :

- Check af huldiameter og placering af huller.
- Check af udvendigt og indvendigt gevind med gevindlærer.
- Der er anvendt de specificerede bolte.
- At galvanisk isolering er udført som specificeret, når det er krævet.
- Korrosionsbeskyttelse er udført som specificeret af bolt og omkringliggende områder.
- Check af overfladeruhed med ruhedsmål af materiale omkring boltsamlingen iflg. specifikation.
- Evt. rækkefølge for boltning

#### 1.4) Produktionsmæssige konsekvenser

Umiddelbart giver det ikke de store problemer, at anvende boltning og nitning i forbindelse med samleprocessen, hvis virksomhederne råder over egnet udstyr.

- Boring af huller skal foretages inden adgang begrænses på et senere tidspunkt i produktionsprocessen. Der kan ikke som ved stål anvendes magnetboremaskiner på et senere tidspunkt i produktionsforløbet.
- Boring af huller skal udføres med passende nøjagtighed, således at samling med enten bolte eller nitter kan foregå uden yderligere tilpasning. Ved strenge krav bores komponenterne samtidig. Det kan eksempelvis være under montageforhold, hvor man vil være sikker på at tingene passer sammen første gang. Som en yderligere sikkerhed, kan man lave en prøvesamling inden slutmontage.

### **1.5) Dokumenterede gode råd om design**

For bolte og nitter bestemmes type/materiale, dimensioner og minimumsafstande iflg. den anvendte standard for beregninger, f.eks. DS 419.

Ved udformningen af boltesamlingen kan der desuden iagttages flg.:

- Ved boltesamlinger dimensioneres, således et eventuelt brud vil forekomme i bolten og ikke i gevindet.[3]
- Ved boltesamling uden møtrik og med gevind drejet i det ene emne anvendes passende indgrebslængde svarende til max.  $2,5 \cdot \text{diameter}$ . [3]
- I aluminium kan det være en fordel at erstatte et gevindhul med stor belastning med en foring i et stærkere materiale, f.eks. rustfrit stål.

Ved boltesamling mellem stål og aluminium henvises til håndbogsafsnittet om designregler, hvor der er vist eksempler godt og dårligt boltedesign.

## **2) Krav til produktionsfaciliteter**

## 2.1) Udstyr

Udstyr til boltning og nitning af aluminium bør behandles som øvrigt udstyr i et kvalitetsstyrings-system. Der bør være procedurer/instruktioner for vedligehold af udstyr til fremstilling af aluminiumskonstruktioner, og for kalibrering af måleværktøjer.

## 2.2) Adkomstforhold, arbejdsforhold

Generelt stilles der ikke store krav til plads under bolte- og nitteprocessen. Udstyr til både boltning og nitning kan være pneumatisk, og kræver derfor ikke meget plads. Til gengæld skal der være tilstrækkelig plads til at bruge momentnøglen.

Ved boltesamlinger med bolt og møtrik skal der være adgang fra begge sider. Dette gælder også for hammernitning, mens det er tilstrækkeligt med en side ved blindnitning og boltesamlinger med hulgevind.[1]

Mekanisk samling stiller ikke de samme specifikke krav til miljø, som ved svejsning, hvor der skal tages højde for temperaturer, fugtighed og vind. Til gengæld må det forudses, at der vil være krav under udførelsen af korrosionsbeskyttelse.[2]

## 3) Normer og standarder

Der findes en række forskellige standarder for aluminium. For den strukturelle anvendelse kan flg. nævnes:

- DS 419:2000 Norm for aluminiumkonstruktioner (ny revision, forslag ikke vedtaget)
- Eurocode 9 ENV 1999-1-1 Design of aluminium structures – Part 1-1 General rules and rules for buildings.
- BS 8118 Structural use of aluminium.
- ANSI/AWS D1.2 Structural Code – Aluminium

Alle 4 omhandler den strukturelle anvendelse af aluminium og svarer nogenlunde til hinanden. Det må på sigt forventes at Eurocode 9 erstatter henholdsvis den danske standard DS 419 og den britiske standard BS 8118, mens den amerikanske ANSI/AWS D1.2 fortsat vil være gældende.

I standarderne finder man krav til tolerancer for huller, og forholdsregler for udførelse af mekanisk samling.

For beholdere kan der henvises til en amerikansk ASME-standard og den tidligere britiske standard BS 5500, som nu hedder PD 5500:2000. Disse standarder behandler en række forskellige materialer, deriblandt også aluminium, men mekanisk samling er ikke behandlet specifikt for aluminium.

- ASME Boiler & Pressure Vessel Code - Section VIII Trykbeholdere
- PD 5500:2000 Specification for Unfired fusion welded pressure vessels.

Desuden findes der regler fra classeselskaberne. F. eks. har Det Norske Veritas 2 regelsæt, der specificerer anvendelsen af aluminium :

- High Speed and Light Craft, Del 3 Kap. 3 : Hull Structural Design, Aluminium Alloy.
- Rules for Classification of Ships Newbuildings.

Det sidste regelsæt er generelt for nybygninger, men giver også regler for anvendelsen af aluminium, men ligesom ved standarder for beholdere er mekanisk samling ikke behandlet specifikt, og det er kun de strukturelle standarder der behandler mekaniske samling i et rimeligt omfang.

#### **4) Økonomiske konsekvenser**

De økonomiske konsekvenser kan vurderes ud fra en sammenligning mellem stål og aluminium og mellem mekanisk samling og svejsning i aluminium.

Ser man på materialesiden vil mekanisk samling i aluminium være dyrere i stål i de samme dimensioner, idet der her stilles større krav til korrosionsegenskaberne og der skal anvendes dyrere materialer til den mekanisk samling, f.eks. rustfrit stål. Desuden vil der i en række situationer være krav til isolering for at undgå galvanisk tæring. Dette medfører igen udgifter til isoleringsmaterialer og forøgede montageudgifter. Der kan ikke umiddelbart opstilles nøgletal for en sammenligning mellem stål og aluminium ved mekanisk samling, men der må generelt regnes med større omkostninger.

Sammenlignes processerne mekanisk samling og svejsning i aluminium, kendes der ikke nøgletal, idet processerne ofte ikke anvendes til samme formål. Hvis der vælges mekanisk samling med bolte, fordi man ønsker at kunne demontere samlingen, vil det ikke være aktuelt at svejse emnet eller bruge

nitter. Tilsvarende udføres samlinger i f.eks. 0,5 – 1,0 mm godstykkelse med nitter, idet svejsning ikke er praktisk og økonomisk optimal.

I de tilfælde hvor både mekanisk samling og svejsning er egnet, viser erfaringerne, at svejseprocessen bliver foretrukket. Ligesom ved stål anses svejsning for at være både billigere og hurtigere. Samtidig elimineres på en nem måde mulighederne for korrosion i de spalter, der uvægerligt vil opstå ved bolte- og nittesamlinger, hvor det ville være nødvendigt, at foretage en fordyrende beskyttelse af spalteåbninger og bolt eller nitte. Dette ses også af et projekt fra flyindustrien, hvor man vil forsøge at fuldsvejs flyvinger, og dermed erstatte nitteprocessen med svejsning. Her vil svejsningen samtidig virke som en tætning af flyvinger, der i princippet er en stor brændstoftank. Ved nittede vinger er det nødvendigt, at foretage en omfattende indvendig sealing, der i praktisk og miljømæssigt henseende ikke er særlig heldig. Til gengæld er nittede flyvinger elastiske, og har vist deres levedygtighed gennem mange år.

## 5) Uddannelse

Her findes ingen specifikke krav vedrørende mekanisk samling, men træning og uddannelse af personale, der specificerer og udfører boltning og nitning kan passende beskrives i procedurer/instruktioner i kvalitetssystemet.

Teknisk uddannet personale vil generelt være kvalificeret til at arbejde med mekaniske samlinger. På beregningssiden vil uddannelse som maskin- eller bygningsingeniør ofte være tilstrækkelig, og hvis personale, der udfører boltning og nitning har en faglig uddannelse indenfor jern- og maskinindustrien vil det også være tilstrækkeligt, men skal dog ikke betragtes som et ”skal” krav. Vedrørende træning og uddannelse iflg. virksomhedens procedurer/instruktioner bør der som minimum indgå flg.:

- Kendskab til aluminium og dets egenskaber.
- Kendskab til fejl og fejlretning.
- Kendskab til firmaspecifikke mekaniske samleprocesser.

Det sidste punkt refererer til alle de mekaniske samleprocesser, hvor der er udviklet helt specielle samlingssystemer. Der bør virksomheden sørge for at metoderne er godt indarbejdede gennem passende træning, og i nogle tilfælde vil det være muligt, at leverandørerne af samlingssystemerne gennemfører kurser for deres kunder.[1]

## **Henvisninger**

- [1] SASAK-RAP-ME-AKS-MCI-0006-00 Anvendelse af skruer og nitter
- [2] SASAK-RAP-ME-AKS-FI-0007-00 Procedure for korrosionsbeskyttelse af mekaniske sammenføjninger.
- [3] Aluminium Konstruktions- og materiallära, MNC handbok nr. 12.  
(MaterialNormCentralen, Stockholm, Sverige)