SKRUVFÖRBAND ÅTDRAGNINGSMOMET

Björn Malmqvist • www.sbi.se
Skapad 2010-11-29

Att det är svårt och långt ifrån optimalt att styra förspänningskraften via ett angivet moment vet alla som försökt att reda ut de faktorer som påverkar förspänningskraften i ett skruvförband. Därför är kunskapen om de parametrar som styr förspänningskraften viktiga för att optimera resultatet i skruvförbandets förspänningskraft.

I och med införandet av Eurokodsystemet och den tillhörande utförandestandarden EN 1090-2 ges fl era val av metoder vid montage av skruvförband i stålkonstruktioner. Ett av dessa val är att utföra procedurprov för de aktuella skruvförbanden där man styr åtdragningsparametrarna för att optimera förspänningskraften i skruvförbandet.

Historik

Inom den svenska stålbyggnadsbranschen är det tydligt att känsla och tumregler många gånger har varit vägledande vid montering och kontroll av skruvförband i stålkonstruktioner trots att BSK 99 och BSK 07 varit styrande vid utförandet. BSK har dock varit begränsad i sitt val av metoder och utförande vid montering och kontroll av skruvförbandens förspänningsnivå. Läs mer om detta under rubriken ”Kombinerade metoden”. För den norska stålbyggnadsmarknaden blir det med all sannolikhet lättare att anpassa monteringstekniken för skruvförband enligt Eurokodsystemet eftersom de monterings- och kontrollfunktioner av skruvförband som återgavs i den tidigare norska stålbyggnadsstandarden NS 3464:2000 i många avseenden är lika med de metoder som är angivna i EN 1090-2. Med all sannolikhet har man tagit till vara den kunskap och teknologi som funnits inom offshoreindustrin.

Eurokoder

Övergången till Eurokodsystemet och införandet av de styrande dimensioneringsstandarderna för stålkonstruktioner, EN 1993-1-1 ”Allmänna regler för byggnader” och EN 1993-1-8, ”Knutpunkter och förband” har inneburit en förändringsprocess och nytänkande inom stålbyggnadssektorn vid montage av ingående skruvförband. För applikationer med skruvförband har utförandestandarden EN 1090-2 ”Tekniska krav på utförande av stålkonstruktioner” öppnat nya och fler tekniska möjligheter vid montering och kontroll av skruvförband i stålkonstruktioner. Med utförande enligt EN 1090-2 kan vi bättre säkerställa den förspänningskraft som vi vill uppnå i enlighet med kraven på utförandet. En av de monteringsmetoder för skruvförband som anges i EN 1090-2 bilaga H är en så kallad procedurprovning, där förspänningskraften inkalibreras med de monteringsverktyg som monteringen kommer att utföras med. Denna metod optimerar förspänningskraften i skruvförbandet.

Styrande standarder

De produktstandarder som gäller för skruvar med tillhörande mutter och brickor till stålkonstruktioner skall uppfylla kraven enligt standarderna EN 15048-1 för icke förspända förband och EN 14399-1 för förspända förband. De mekaniska egenskaperna för fästelement av kolstål och legerade stål anges i standarderna EN-ISO 898-1:2009 för skruvar och EN-ISO 898-2:1992 för muttrar.

Icke förspända förband

Skruvar till icke förspända förband i stålkonstruktioner kan väljas fritt ur flera produktstandarder såsom t.ex. ISO 4014 och 4017 med flera eller ur produktstandarderna angivna i EN 14399-3 till och med EN 14399-10 för förspända förband. Ett villkor för att skruv med tillhörande mutter skall uppfylla kravet på lämplighet för icke förspända förband är att ett dragprov utförs med skruv och tillhörande mutter och där brotthållfasthetsvärdet angivet i EN 15048-1 skall uppfylla min. kravet för den aktuella kombinationen vid provet. Detta innebär att det inte räcker med att skruv och mutter var för sig uppfyller de angivna kraven på brotthållfasthet, utan skruv med påmonterad mutter skall uppfylla min brottlastnivå enligt föreskrifterna i standarden. Provet skall utföras enligt EN 15048-2. Förändrade krav på de mekaniska fordringarna är att skruvar skall ha slagseghet 27 Joule vid minus 20°. Detta krav är en förändring gentemot tidigare för skruvar till icke förspända skruvförband i stålkonstruktioner. Detta medför att det inte längre går att använda skruvar i stålkonstruktioner enligt den äldre

utgåvan av standarden ISO 898-1. Skruvar till icke förspända förband vara märkta med tillverkarens varumärke, hållfasthetsklass och tillägg med ”SB” för ”Structural Bolting”.

Förspända förband

De skruvprodukter som levereras enligt EN 14399 är samtliga i kombination med tillhörande mutter och skall vara utprovade av sin lämplighet för förspända förband enligt EN 14399-2. Detta prov utförs som ett procedurprov där kraften ställs i relation till det tillförda momentet och vinkelroteringen av muttern. Provet ger de rätta förutsättningarna för att uppnå rätt förspänningskraft i skruvapplikationen. Fästelement för förspända förband enligt EN 14399 uppfyller även kraven för icke förspända förband och kan enligt EN 1090-2 användas i båda applikationerna. Samtliga skruvprodukter enligt produktstandarderna i EN 14399-3 till EN 14399-10 har en slagseghet av 27 Joule vid minus 20°. De två vanligast förekommande skruvsystemen för förspända förband är: EN 14399-3; HR- systemet. HR-systemet finns både i 8.8 och 10.9 utförande. EN 14399-4; HV-systemet. HV-systemet finns i hållfasthetsklass 10.9

Skruv med tillhörande mutter enligt EN 14399-10 HRC-systemet.

HV-systemet är i det närmaste jämförbart med det som vi känner till som skruv enligt DIN 6914 och mutter enligt DIN 6915. Övriga skruvsystem enligt EN 14399 är HRC-systemet EN 14399-10 som har en kalibrerad förspänning i form av en splinestopp som vrids av vid rätt förspänning. Detta system kräver speciell utrustning vid monteringen samt efterbehandling av den avvridna toppen efter slutfört montage. Muttertypen till denna skruvkombination kan fås med mutter enligt HR-systemet, det vill säga 0,9 x nominell gängdiameter i höjd eller med en mutter som är lika med 1,0 x nominell gängdiameter och då med beteckningen HRD. Denna höga mutter är känd i sin äldre beteckning på den svenska stålbyggnadsmarknaden som DIN 6915H.

Samhörande produkter

EN 14399 är klar och tydlig med att produkter från olika delar av standarden inte får blandas. Om så sker kan inte produkten säljas som CE märkt enligt reglementet vilket kan utgöra ett hinder vid offentlig upphandling. Anledning till att skruvar och muttrar ur olika system inte får blandas är för att de utprovats av sin lämplighet enligt EN 14399-2. Detta medför att om kombinationer ur olika produktstandarder blandas så förändras skruvkombinationens egenskaper och provningsvärdena som följer produkten är ej längre gällande.

Brickor

Produktkraven för brickor till icke förspända förband anges i EN 15048-1. Brickor till förspända förband anges i produktstandarderna EN 14399-5 och EN 14399-6. Brickan angiven i produktstandarden EN 14399-6 är en bricka med fas i hålet. Denna bricka skall alltid användas närmast skruvhuvudet med fasen vänd mot skruvskallen för att radien på skruvstammens övergång till skruvhuvudet skall gå fri. Ytterligare en typ av bricka finns angiven i EN 14399-9 för mätning av förspänningskraften. Läs mer om denna bricka under rubriken monteringsmetoder DTI-metoden.

Monteringsverktyg

Monteringsverktygens kondition och anpassning till montaget är en mycket viktig del för att uppnå rätt resultat i förspänningen. Ett monteringsverktyg/momentnyckel med rätt utförd kalibrering och kalibreringsintervall borde vara en självklarhet hos varje seriöst montageteam. Detta är ett krav i EN 1090-2. Beroende på vilket monteringsförfarande som väljs så förändras kraven på monteringsverktygens noggrannhet. Monteringsverktygens noggrannhetsgrad och repeterbarhet skall vara i överensstämmelse med EN ISO 6789. Om montering utförs enligt den kombinerade metoden skall momentnyckeln ha en noggrannhet av ±

10% och en kontrollintervall av ett år. Vid val av momentmetoden skall noggrannheten på monteringsverktyget vara inom ± 4% och en kontroll utföras varje vecka. Detta innebär att man får ha någon form av momentlikare på arbetsplatsen.

Monteringsmaskiner

Vid större montage är noggranna segdragningsmaskiner att föredra, både ur kraftaspekt och monteringshastighet. Dessa maskiner är visserligen en betydligt dyrare investering än momentnycklar men betalar sig på sikt. Att använda slående mutterdragare utan momentstyrning och som inte är anpassade för den aktuella applikationen är ej förenligt med de krav som ställs på styrningen av förspänningskraften enligt EN 1090-2.

Förspänningskraft

Vid montering av skruvar med tillhörande mutter och brickor så är det förspänningskraften (klämkraften) mellan plåtarna som eftersträvas. Det räcker således inte bara att tillföra ett moment om man inte vet vad detta moment ger för klämkraft i förbandet. Förspänningskraften kan variera kraftigt om man inte har koll på alla de parametrar som det tillförda momentet och en eventuell vinkeldragning ger. Av det tillförda monteringsmomentet går c:a 50%, åt till att övervinna friktionen mellan den roterande delens anliggningsyta och brickan/monteringsplåten. Cirka 40% går åt till att övervinna friktionen i gängan mellan skruv och mutter. Det innebär att endast c:a 10% av det tillförda momentet åstadkommer den önskade förspänningskraften. Genom olika friktionsstyrande medel kan detta ökas, men knappast mer än till c:a 20%. Med denna vetskap är det enkelt att förstå att förspänningskraften för samma åtdragningsmoment, men med olika friktionsstyrande medel, kan öka till det dubbla med påföljd att vi får ett monteringsbrott. Därför är kunskapen om monteringsmomentet och friktionens påverkan på förspänningskraften mycket viktig för att montaget skall bli utfört till rätt förspänningsnivå.

Förspänningskraft-resultatspridning

Små förändringar inom varje påverkande del av de parametrar som alstrar förspänningskraften gör att det förekommer spridningseffekter i förspänningskraften. Den totala spridningseffekten av förspänningskraften kan uppgå till ±10% trots att ett bra friktionsstyrande medel används. Vid applikationer utan friktionsstyrande medel så kan denna spridningseffekt uppgå till mer än ± 25%. Med monteringsverktyg med bra repeterbarhet och vid genomförd procedurprovning kan denna spridning reduceras. Bidragande orsaker till spridningseffekterna är bland annat, monteringsverktygets repeterbarhet, skruvens och mutterns mekaniska egenskapers spridning, gängfriktion, anliggningsytornas friktionsegenskaper samt det friktionsstyrande medlets egenskaper. Om monteringen utförs med den kombinerade metoden tillkommer dessutom vinkelns noggrannhetsgrad.

Slutsats

Med denna vetskap är det lätt att förstå att det historiskt sett har förekommit skruvbrott vid montering av skruvförband på grund av felaktiga och overifierade monteringsverktyg tillsammans med att kunskapen om friktionskoefficientens inverkan på förspänningskraften inte varit tillräcklig. Detta har i många förekommande fall orsakat skruvbrott, felaktiga förspänningsnivåer eller strippning på gängor mellan mutter och skruv trots att skruvar och muttrar med fullgod kvalité och teknisk dokumentation använts i skruvapplikationen.

Förspänningsnivå – förspända förband

Vid montering av skruvförband är det den nominella min. förspänningskraften Fp,c som eftersträvas för att skruv med tillhörande mutter skall vara förspända till minst 70 % av den nominella brottkraften enligt de designade kraven i Eurokodsystemet. Förspänningskraften Fp,c fås genom formeln 0,7 Fu,b As där Fu,b är den nominella brottspänningen för skruven, vilket ger 800 N/mm2 för 8.8 skruvar respektive 1000 N/mm2 för 10.9 skruvar. As är spänningsarean för skruven. De nominella värdena kan ibland skapa förvirring om vad som är min brottspänning. Detta på grund av att min. kraven för

Tabell 1. Fp,c värden i kN

Hållfasthetsklass	Skruvdiameter i mm							
	12	16	20	22	24	27	30	36
8.8	47	88	137	170	198	257	314	458
10.9	59	110	172	212	247	321	393	572

brottspänningen enligt ISO 898-1:2009 är angivna till 830 N/mm2 för skruvar av hållfasthetsklass 8.8 över dimension M16 och 1040 N/mm2 för 10.9 skruvar. Den nominella minsta förspänningskraften Fp,c som skall uppfyllas enligt EN 1090-2 oavsett monteringsmetod anges i *tabell 1.*

k-klasser

Den metod som kan väljas för montageutförande av förspända i EN 1090-2 är beroende på vilken produktstandard som väljs vid beställningen av fästelementen, samt produktens levererade momentklass(k-klass) som anges av tillverkaren. En beskrivning av k-klasserna enligt EN 14399-1 ges i *tabell 2*. Monteringsmetoderna enligt EN 1090-2 styrs utifrån produktvalet och momentklass (k-klass) enligt *tabell 2*. Inom k-klass K1 är intervallet mellan 0,10 till 0,16. Det moment som ger denna kraft för den aktuella k-klassen kan fås av tillverkaren eller skruvleverantören. Var noga med om ingående mutter har ett annat friktionsstyrande medel, typ bivax, som förändrar åtdragningsmomentet.

Tabell 2. k-klasser

k-klass	Leveransinformation
K0	Inga krav på *k*-faktor
K1	Område av individuella testvärden k_i
K2	Medelvärde av testvärden k_m Variationskoefficient av *k*-faktor V_k

Monteringsmetoder

För att erhålla förspänningskraftsvärdena finns fyra olika metoder vid åtdragning av förspända förband, se *tabell 3*. Utöver dessa metoder så kan procedurprov utföras enligt EN 1090-2 bilaga H. Oavsett vilken metod som väljes ställs krav på utförandets noggrannhet enligt EN 1090-2 :2008 8.5. All montering av skruvförband skall utföras på muttersidan. Om det på grund av omständigheter inte kan genomföras måste en procedurprovning utföras eller tilläggsprovningar från tillverkaren i enlighet med EN 14399-2 genomföras. Samtliga metoder kräver att monteringsverktygen uppfyller den angivna klassificeringen.

Tabell 3. Monteringsmetoder/ k-klasser

Monteringsmetod	*k*-klasser
Momentmetoden	K2
Kombinerade metoden	K2 eller K1
HRC åtdragningsmetoden	K0 med HRD mutter eller K2
DTI metoden	K2, K1 eller K0

Momentmetoden

Åtdragningen sker i två steg där det första steget av åtdragningen utförs med ett moment som ger 75 % av den angivna förspänningskraften Fp,c. Detta steg skall utföras på samtliga skruvar i förbandet innan steg två påbörjas. I steg två skall förbandet dras till ett moment som motsvarar 110 % av förspänningskraften. Detta monteringsteg kräver att monteringsverktyget uppfyller de givna kraven samt att förbandet har en K2-klass eller är klassat genom prov. Tester visar att 10 % i överspänning relaxeras med tiden, under förutsättning att inga övriga sättningar sker på grund av färgskikt, glödskal eller andra ytdefekter i det sammanfogade stålmaterialet. Om så sker så är relaxationens storlek beroende på dessa parametrars inverkan. EN 1090-2 anger att hänsyn har tagits till relaxationen av förspänningskraften vid utförandet men säger samtidigt att om utförande enligt momentmetoden utförs så kan en efterdragning vara nödvändig vilket kan tyckas vara motsägelsefullt.

Kombinerade metoden – vinkeldragningsmetoden

Den kombinerade metoden är den åtdragningsmetod av förspända förband som i stora delar är lika med den metod som anges i BSK 99 och 07. Denna metod ger en plastisk förlängning av skruven. Åtdragningen enligt den kombinerade metoden sker i två steg där det första steget av åtdragningen utförs med ett moment som ger 75 % av den angivna förspänningskraften Fp,c . I steg två skall muttern vinkelvridas till en angiven vinkel beroende på klämlängden i förbandet, se *tabell 4*. Innan vinkelvridningen av muttern utförs märks mutterns läge med krita eller liknande. Det är viktigt att inte skruven roterar eftersom det orsakar en felaktig vinkelvridning av förbandet.

Tabell 4.

Klämlängd "t" inklusive passplåtar. Skruvdiameter = d	Vridning från utgångsläge Grader °	Varv
t < 2d	60	1/6
2d ≤ t < 6 d	90	1/4
6d ≤ t ≤ 10 d	120	1/3

Utförande enligt BSK 99 och 07 och i den kombinerade metoden enligt EN 1090-2 ger markant högre värden än den föreskrivna förspänningskraften Fp,c = 0,7Fu,bAs. Åtdragningen enligt den kombinerade metoden ger en nivå på förspänningen som överstiger Rp 0,2 in i det plastiska området. Förspänningen medför en liten spridning av förspänningskraften där man utnyttjar skruvens töjningsegenskaper som är utprovade enligt EN 14399-2. Denna metod är väl beprövad och har många fördelar om den utförs på rätt sätt. Det finns dock vissa risker förenat med utförandet om man kombinerar skruv och mutter ur olika skruvsystem vilket försämrar skruvens töjningssträcka i den gängade delen. Den gängade delen på en stålbyggnadsskruv är den del av skruven som förlängs vid belastningen. En faktor som medfört att skruvens töjningsegenskaper vid vinkelvridning in i det plastiska området försämras är att skruv ur produktstandarden EN 14399-4 kombineras med mutter av högt utförande ur produktstandarden EN 14399-10 HRD. Detta medför vid ogynnsamma fall att skruvens gängade del får en förkortad töjningssträcka på mer än 50 % vilket medför att skruvens töjningsegenskaper vid vinkelvridning i det plastiska området klart försämras. Denna kombination är dessutom ett avsteg ifrån standarden och CE märkningskraven där vinkelvridningen är utprovad med skruv och mutter ur en och samma produktstandard.

Töjningsområde av skruv 14399-4 med hög mutter DIN 6915H eller 14399-10 HRD vid max tillåten påskruvning av mutter.

Töjningsområde av skruv 14399-4 med tillhörande mutter, CE-märkt kombination vid max tillåten påskruvning av mutter.

HRC-metoden

HRC metoden utförs med skruvar och muttrar från produktstandarden EN 14399-10; HRC-systemet. Det unika med denna typ av skruv och mutterkombination är att den har så kallad kalibrerad förspänning i form av en splinestopp som vrids av vid uppnådd förspänning. Montering med detta system kräver speciell utrustning vid monteringen och en efterbehandling av den avvridna toppen efter slutfört montage. Till detta skruvsystem finns två typer av muttrar med olika höjd. Muttertypen till skruvkombination HRC levereras med mutter enligt HR-systemet, det vill säga 0,9x nominell gängdiameter. Muttertyp två som också kan väljas från skruvsystemet EN 14399-10, är en mutter av typ HRD. HRD-muttern har en höjd av 1 x no-

minell gängdiameter. Om HRDmuttern skall användas, anges kklassen till K0 för momentklassen. Om monteringsförhållandena är sådana att den speciellt avsedda maskinen för montaget av skruvar enligt HRC-metoden inte kan användas, skall montaget utföras enligt momentmetoden med k-klass 2 eller enligt DTI-metoden.

DTI-metoden

DTI står för ”Direct Tension Indicators” som är en produktstandard enligt EN 14399-9. Standarden beskriver en bricka som är speciellt utformad för att ange förspänningskraften genom att brickans upphöjda områden komprimeras, se figur. Denna bricka och metod kan anvädas för montage av alla skruvförband angivna i EN 14399. Viktigt är att ingående brickor monteras enligt EN 1090-2 bilaga J. Brickans märkning skall ange om den är avsedd för skruvar av hållfasthetsklass 8.8 eller 10.9. DTI brickor placeras normalt under den icke roterande delen vilket oftast är under skruvskallen. DTI metoden utförs i två steg. Steg ett utförs i form av att åtdragningen sker på alla skruvar i förbandet tills dess att brickornas upphöjda delar börjar komprimeras. Steg två av åtdragningen utförs till dess att komprimeringen av de upphöjda komprimerats till avsedd höjd som skall motsvara förspänningskraften $F_{p,c} = 0,7F_{u,b}A_s$. För att mäta mellanrummet mellan brickans homogena material och upphöjningarna användes ett toleransbladmått. Utförandet skall ske enligt de måttangivelser och mätdon som anges i bilaga J till EN 1090-2.

Procedurprov

Utöver de fyra alternativ av monteringsmetoder som beskrivit i artikeln kan en kalibrering av förspänningskraften enligt bilaga H i EN 1090-2 utföras. Denna metod är en så kallad procedurprovning, där förspänningskraften inkalibreras till rätt nivå med de monteringsverktyg som monteringen kommer att utföras med. Denna metod optimerar förspänningskraften i skruvförbandet. Vid procedurprovningen utvärderas momentvärdet i relation till förspänningskraften för den aktuella skruvkombinationen och batchen samt friktionsfaktorn. De aktuella maskinerna för montaget ställs in till önskad nivå för att ge rätt förspänningskraft från det tillförda momentet. Provningen utvärderas och sammanställs i en rapport enligt EN 1090-2 bilaga H 9. Erfarenhetsmässigt visar detta utförande på exaktare värden av förspänningskraften eftersom det är hela montagekedjan inklusive monteringsverktygen som inkalibreras till rätt förspänningskraft.

Sammanfattning av åtdragningsmetoder

Valet av metod enligt EN 1090-2 är givetvis helt beroende på vilken applikation och storlek på montaget som skall utföras. Den tyska stålbyggnadsmarknaden använder sig nästan till 100 % av momentmetoden där man förspänner till $0,63F_{u,b}A_s$. De få tillfällen då man använder sig av den kombinerade metoden är vid avancerad montering av vindkraftverk och turbiner. Förändringar och nytänkande är ju alltid svåra att genomföra och det är lättare att köra på i samma gamla hjulspår men de olika möjligheterna till val av åtdragningsmetoder och produktstandarder enligt EN 1090-2 skall ses som möjligheter till att få rätt förspänningskraft och ekonomiska montage av skruvförband i våra stålkonstruktioner.

Läs och ladda ner Björn Malmqvists artikel här! (195 kB)

Fakta

Åtdragning av mekaniska förband behandlas i kapitel 8 i SBI:s handbok för tillämpning av SS-EN 1090-2.

Läs mer

Bult & Fästteknik AB

Stålbyggnation på Bult & Fästteknik