

## Hvad er forskellen på EN 1.4404 og EN 1.4571?

Af Ebbe Rislund, Troels Mathiesen og J. Vagn Hansen  
Afdelingen for Korrosion og Metallurgi, FORCE Technology

### **Indledning**

De to stål EN 1.4404 og EN 1.4571 er to varianter af en standard "syrefast" stål (EN 1.4401).

Formålet med varianterne er primært, at man ønsker at kunne forarbejde stålene uden at miste korrosionsbestandighed som følge af strukturændringer i den varmepåvirkede zone, og de to varianter er udtryk for to metoder til at opnå samme resultat. Den ene metode knytter sig til ældre og mindre avanceret stålværksteknologi sammenlignet med den anden.

Målet for begge er at undgå udskillelse af kromkarbider, eksempelvis ved svejsning.

Hvorledes kromkarbiderne medfører, at korrosionsbestandigheden falder er beskrevet i afsnittet: "Uddybende redegørelse for baggrunden for at vælge enten EN 1.4404 eller EN 1.4571" bagerst i denne rapport.

Hvor stort problemet med tab af korrosionsbestandighed bliver i praksis afhænger af hvor meget kulstof, som kan reagere med krom, og hvor lang tid det har til reaktionen.

Sammenhængen er sådan, at jo mindre kulstof der kan reagere med krom, desto mere frihed opnår man med hensyn til procestiden til eksempelvis svejsning, varmformgivning og varmebehandling.

De to varianter kemiske sammensætning er vist i tabel 1.

Stål	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	N	Andet
EN 1.4404	≤0.03	≤1.00	≤2.00	≤0.045	≤0.015	16.50-18.50	2.00-2.50	10.00-13.00	≤0.11	
EN 1.4571	≤0.08	≤1.00	≤2.00	≤0.045	≤0.015	16.50-18.50	2.00-2.50	10.50-13.50		Ti: 5 x C-0.70

Tabel 1. Kemisk sammensætning af de to stål.

Den basale forskel på de to stål er, bortset fra marginale forskelle i nikkellindholdet, følgende:

EN 1.4404 er et lavkulstofstål med et kulstofindhold på maksimalt 0,03% C.

EN 1.4571 er et titanstabiliseret stål med et kulstofindhold på maksimalt på 0,08% C, men med et titanindhold på 5 gange det aktuelle kulstofindhold – altså nok til at binde det meste kulstof som titankarbider. I praksis kan det stabiliserede stål betragtes som en legering med maksimalt 0,02% C.

Der findes diagrammer,<sup>1</sup> som viser, at der i praksis kan arbejdes i temperaturområdet 600 – 900°C i sammenlagt ca. 8 timer ved 0,03%C og mere end 10 – 20 timer ved 0,02% C.

Denne forskel er uden betydning for svejsningen, der ikke kræver så lange opvarmningstider.

I forbindelse med usædvanligt langvarige varmebehandlinger kan der, som det ses, være en forskel på de to typer stål.

### ***Svejsesegenskaber, her er der meget lille forskel***

De to typer stål har samme svejsesegenskaber. Generelt kan der anvendes samme type tilsatsmateriale, hvilket typisk vil sige lavkulstofholdigt. Der kan dog, som det er beskrevet nedenfor, være kritiske korrosionsforhold, hvor risikoen for interkrystallinsk korrosion gør det nødvendigt at anvende et niobstabiliseret tilsatsmateriale til EN 1.4571.

I forbindelse med gasbeskyttelse af rodsiden, den såkaldte baggas, kan der være specielle forhold omkring EN 1.4571. Hvis man bruger kvælstofholdig beskyttelsesgas, som f.eks. Formiergas, vil der fremkomme en gylden overflade på svejsesømmens rodside. Årsagen er dannelse af titannitrid, som giver den gule farve. Korrosionsmæssigt er der ikke set negative konsekvenser af titannitriden.

Det blev i indledningen nævnt, at EN 1.4571 er udtryk for en mindre avanceret teknologi. Derfor kan der forekomme et generelt højere urenhedsindhold i stabiliserede stål fra visse værker, hvilket bl.a. kan medføre lidt flere små slaggepartikler på svejsesømmene.

### ***EN 1.4404 er lidt bedre til spåntagende bearbejdning***

De hårde titankarbider medfører større slid på værktøjer og lavere bearbejdningshastigheder ved mekanisk forarbejdning end tilfældet for EN 1.4404.

### ***Mekanisk formgivning har snævrere grænser for EN 1.4571***

Indholdet af karbider påvirker materialets duktilitet, således at det titanstabiliserede EN 1.4571 er mindre velegnet til koldformning bl.a. dybtrækning og bukning. Dels er forlængelsesegenskaberne ringere, og dels kan eventuelle store karbider give mikrobrud i overfladen.

### ***De fysiske og mekaniske egenskaber er næsten ens***

De fysiske egenskaber for de to stål er generelt ens. Kun på et punkt er der en mærkbar forskel, nemlig i varmeudvidelseskoefficienten. Udvidelsen er op til ca. 5% større for EN 1.4571 end for EN 1.4404.

Rustfrit ståls kulstofindhold har en positiv indflydelse på styrken, især ved forhøjet temperatur. Kulstofindholdet i EN 1.4404 holdes lavt, medens det får lov at forblive højt i EN 1.4571. Som følge heraf er styrken i udglødet tilstand også højere i EN 1.4571. Tabel 2 viser som eksempel  $R_{p0,2}$  ved forskellige temperaturer for de to stål samt det tilsvarende standardstål EN 1.4401.

Stål	Max. kulstofindhold %	$R_{p0,2}$ ved 20°C N/mm <sup>2</sup>	$R_{p0,2}$ ved 200°C N/mm <sup>2</sup>	$R_{p0,2}$ ved 500°C N/mm <sup>2</sup>
EN 1.4404	0,03	190	137	100
EN 1.4401	0,07 (0,05)	205	147	110
EN 1.4571	0,08	210	167	129

Tabel 2. Styrkeforhold for syrefaste stål.

Tabellen viser, at forskellen mellem de to stål bliver større jo højere temperaturen er. Tallet for kulstofindholdet i parentes er det normale niveau for EN 1.4401. Man kan således se, at styrkeforholdene følger kulstofindholdet.

For koldeformeret materiale er styrkeforholdene stort set de samme, da de afhænger mere af deformeringsgraden end af sammensætningen for så nært beslægtede stål.

### ***Kun lille forskel i korrosionsegenskaberne***

Korrosionsegenskaberne af et rustfrit stål er primært bestemt af indholdet og fordelingen af legeringselementerne krom og molybdæn. Indholdet af urenheder og intermetalliske faser er ligeledes afgørende for stålets korrosionsbestandighed. I denne sammenhæng kan EN 1.4404

betegnes som en lidt renere og mere homogen stål kvalitet end EN 1.4571, hvilket samlet set betyder, at EN 1.4404 er en anelse mere korrosionsbestandigt end EN 1.4571. Det er imidlertid kun i få anvendelser, at denne forskel er af betydning.

Titan anses for at have negativ indvirkning på stålets korrosionsbestandighed overfor de lokale korrosionsformer, såsom grubetæring og spændingskorrosion. Derimod har titan ingen indvirkning på bestandigheden overfor spaltekorrosion. Det skal dog tilføjes, at de nævnte effekter af titan betragtes som marginale, og erfaringsmæssigt er uden betydning i praksis med hensyn til lokalkorrosion. En enkelt undtagelse er forholdene ved interkrystallinsk korrosion, hvor risikoen generelt er større for EN 1.4571 kvaliteten. I særlige tilfælde, hvor dette stål har gennemgået en uheldig varmebehandling ved svejsning og efterfølgende udsættes for et surt stærkt oxiderende miljø (f.eks. salpetersyre), kan der forekomme en særlig form for interkrystallinsk korrosion ("knife-line attack"). Af samme årsag anses EN 1.4404 som bedre egnet til korrosive miljøer med stærkt oxiderende betingelser.

#### ***EN 1.4571 er uegnet til højglanspolering***

I modsætning til EN 1.4404 er den titanstabiliserede EN 1.4571 kvalitet uegnet til højglanspolering. Dette skyldes tilstedeværelsen af hårde titankarbidpartikler, som forårsager ridser ved mekanisk polering.

Da titankarbid er vanskeligere at opløse end selve grundmaterialet, er elektroplering ligeledes en uegnet proces for EN 1.4571. Elektroplering af EN 1.4571 vil typisk medføre en "spættet" overflade, hvorimod der kan opnås en perfekt spejlblank overflade med EN 1.4404.

Problemerne med såvel mekanisk- som elektroplering af stabiliseret stål kan være stærkt varierende afhængig af det faktiske kulstofindhold og temperaturforløbet under stålfremstilling og varmebehandling.

Emner til polering bør man derfor fortrinsvis fremstille i EN 1.4404. Alternativt bør man specificere krav til karbidindholdet enten i form af maksimalt kulstofindhold og karbidstørrelse eller i form af en udfaldsprøve på den aktuelle polering.

## **Uddybende redegørelse for baggrunden for at vælge enten EN 1.4404 eller EN 1.4571**

### ***Målet er at undgå udskillelse af kromkarbider ved svejsning***

Ved opvarmning af et rustfrit stål til 600-900°C begynder legeringselementerne krom og kulstof at reagere med hinanden. Reaktionsproduktet kromkarbider indeholder først og fremmest krom og kulstof, og er karakteriseret ved, at kromindholdet er meget højt i forhold til kulstofindholdet. Krom bundet i karbider er ikke til rådighed for korrosionsbestandighed, og kan således betragtes som fjernet fra stålet. Da karbiderne, som nævnt, skal bruge meget krom, betyder det, at ved udskillelse af kromkarbider tages kromet fra naboområderne. Smalle materialezoner langs korngrænserne kan således komme til at indeholde så lidt krom, at de ikke længere er korrosionsbestandige. Udskillelse af kromkarbider er således lig med tab af korrosionsbestandighed. Specielt temperaturområdet 600-900°C er kritisk som følge af utilstrækkelig diffusion dvs. tilførsel af krom fra kornenes indre til korngrænserne, hvor det mangler på grund af karbidannelsen.

Når man svejser et rustfrit stål kommer temperaturen i smeltebadet op på ca. 2000°C. Et stykke fra smeltegrænsen bliver stålet ikke varmt. Derfor findes der et område, hvor temperaturen forløber fra stuetemperaturen og op til de høje temperaturer i smelten. Dette område er kendt som den varmepåvirkede zone. Det er i den varmepåvirkede zone, at temperaturen kan befinde sig længst i det kritiske område, og således her at tabet af korrosionsbestandighed kan forekomme.

Jo højere kulstofindhold der er i et stål, des hurtigere og i større omfang udskilles kromkarbiderne. Således kan et stål med 0,08% kulstof kun tåle at være opvarmet til 800°C i ca. ½ minut, før der kommer karbidudskillelser. Det er således indlysende, at det vil være en fordel at reducere kulstofindholdet for at undgå karbidudskillelse i forbindelse med svejsning af stålene.

Moderne stålværksteknologi gør det muligt at fjerne kulstof fra det rustfrie stål - eksempelvis ved AOD og VOD metoderne. Derfor ligger grænsen for kulstofindhold i standardstål på ca. 0,045%, selvom normen tolererer op til 0,07%. De 0,045% giver margin nok til, at man kan svejse i rimelige godstykkelser med veludførte procedurer uden at få problemer med karbidudskillelser. Hvis der skal arbejdes i større godstykkelser, arbejdes med større varmeinput eller have plads til reparation af svejsningen, må kulstoffet længere ned.

Her kommer de to specialvarianter på banen.

Med de moderne metoder kan man reducere kulstofindholdet yderligere, således at man eksempelvis får en såkaldt lavkulstofversion med et maksimalt indhold på 0,03% kulstof. Her er tolerancen mange timer i det farlige temperaturområde, før der skilles karbider ud. Tidligere var det svært at opnå de lave kulstofindhold ved at fjerne kulstof. Derfor anvendte man en metode, hvor man i stedet for at fjerne kulstoffet, maskerer det ved at lade det reagere med titan. Når kulstoffet først er bundet til titan, kan det ikke reagere med krom – stålet er "titanstabiliseret". I svejsemæssig henseende opfører et titanstabiliseret stål sig som om, at kulstofindholdet var omkring 0,02% - altså meget lavt.

<sup>1</sup> Reference eksempelvis: Korrosionsbestandigt rustfrit stål- Hvordan? E. Rislund Industriens Forlag 1996.