

Beste heer Nick Goessen

Naar aanleiding van uw vragen over de Hollomon-Jaffe-parameter het volgend.

Tijdens de lezing zal ik hier niet op ingaan. Ben immers bijna 12 jaar uit de running en voel mij dan ook geen specialist op dit gebied.

Ik ben zo vrij geweest om contact op te nemen met Jan-Willem Rensman van Fluor in Haarlem

Hieronder staan de antwoorden van Jan-Willem in het blauw.

Ik ga ervan uit dat de vragen zo voldoende zijn beantwoord.

De vraag over EN ISO 13480-4 zal ik wel tijdens de lezing proberen te beantwoorden.

Met vriendelijke groeten,

Fred Neessen

Beste Fred,

Ter voorbereiding op jouw presentatie heb ik een aantal inhoudelijke vragen en aandachtspunten genoteerd die ik graag toegelicht zou zien.

Binnen **EN 13445-4** wordt bij warmtebehandeling (PWHT) verwezen naar **Tabel 11.1-1**.

Daarbij wordt aangegeven dat bijzonderheden in het hogere bereik van de houdtijd en/of temperatuur een negatieve invloed kunnen hebben op mechanische eigenschappen zoals rekgrens, treksterkte en taaiheid. Ook het cumulatieve effect van meerdere hittecycli dient te worden meegenomen.

Dit effect wordt beschreven met de **Hollomon-Jaffe-parameter (P)** volgens de formule:

$P = T_s \times (20 + \log t) \times 10^{-3}$. (is waarde 20 voor alle materialen gelijk?)

In principe niet, maar in de praktijk wordt voor ferritisch koolstofstaal, laaggelegeerd, en hooggelegeerd staal toch vaak 20 genomen. Je hebt een heleboel data nodig om aan te tonen dat voor bijv. X10CrMoVNb9-1 de constante anders is. Dit is serieus statistisch werk. De code zegt 20, dus is het 20.

Verder geeft de norm aan dat:

- Zonder voorafgaande overeenkomst tussen de fabrikant van het drukapparaat en de materialenproducent, mag de feitelijke ontlaattoemperatuur van NT- of QT-materiaal niet lager mag zijn dan de toelaatbare temperatuur volgens Tabel 11.1-1.
- **Even voor de referentie, de tabel:**

Table 11.1-1 — Post weld heat treatment

Material Group	Material ¹⁾	Temperature (°C)	Nominal thickness (mm) ²⁾	Holding time (min)	P _{crit} (see Clause 11.1)
1.1	Unalloyed steel with R _{eff} ≤ 275 MPa	550-600	≤ 35 ³⁾ > 35 ≤ 90 > 90	30 e _n - 5 40+0,5*e _n	17,5
1.2	Unalloyed steel with R _{eff} > 275 ≤ 360 MPa				
	• delivery condition M	530-580			17,3
	• delivery condition QT	550-600 ⁴⁾			17,5
	• delivery condition N (except 16Mo3)	550-600	≤ 35 ³⁾	30	17,5
	• 16Mo3, 18MnMo4-5, 18Mo5	550-620	> 35 ≤ 90	e _n - 5	17,5
1.3	Normalized fine grain steels with R _{eff} > 360 MPa	550-600	> 90	40 + 0,5 * e _n	17,3
2.1	Thermo-mechanically treated fine grain steels with 360 MPa < R _{eff} ≤ 460 MPa	530-580			17,3
3.1	Quenched and tempered steels with R _{eff} > 360 ≤ 690 MPa				
	• 15NiCuMoNb5-6-4 NT and QT	580-620 ⁴⁾	≤ 15	30	17,5
	• 20MnMoNi4-5 ⁵⁾	550-620 ⁴⁾	> 15 ≤ 60	2 * e _n	17,5
	• R _{eff} > 360 ≤ 500 MPa ⁶⁾	530-580 ⁴⁾	> 60	120	-
	• R _{eff} > 500 ≤ 690 MPa			6)	
4.1	Low vanadium alloyed Cr-Mo-(Ni) steels with Mo ≤ 0,7 % , V ≤ 0,1 % , Cr ≤ 0,3% and Ni ≤ 0,7 %				
	• 18MnMoNi5-5	580-640 ⁴⁾	≤ 15 ⁵⁾ > 15 ≤ 60 > 60	30 2 * e _n 120	-
	• 15MnCrMoNiV5-3			6)	
5.1	Cr-Mo-steels with 0,75 % < Cr ≤ 1,5 % and Mo ≤ 0,7 % and free of V				
	• 25CrMo4, 26CrMo4-2			7)	
	• 13CrMoSi5-5	620-680 ⁴⁾	≤ 15	30	18,7
	• All others	⁸⁾	> 15 ≤ 60 > 60	2 * e _n 60 + e _n	18,5
5.2	Cr-Mo-steels with 1,5 % < Cr ≤ 3,5 % and 0,7% < Mo ≤ 1,2 % and free of V				
	• 10CrMo9-10, 11CrMo9-10 ⁹⁾	660-720 ⁴⁾	≤ 15 > 15 ≤ 60 > 60	30 2 * e _n 60 + e _n	19,2
	• 12CrMo9-10	660-720 ⁴⁾ ¹⁰⁾	≤ 125 > 125	2,4 * e _n 225+0,6*e _n	19,3
5.3	Cr-Mo-steels with 3,5 % < Cr ≤ 7 % and 0,4 % < Mo ≤ 0,7 % and free of V				
	• X11CrMo5, X12CrMo5	680-750	≤ 15	30	19,5
	• X16CrMo5-1	700-750	> 15 ≤ 60 > 60	2 * e _n 60 + e _n	-
5.4	Cr-Mo-steels with 7 % ≤ Cr ≤ 10 % and 0,7 % < Mo ≤ 1,2 % and free of V	740-780	≤ 12 > 12 ≤ 60 > 60	30 2,5 * e _n 90 + e _n	-

Table 10.1-1 (continued)

Material Group	Material ¹⁾	Temperature (°C)	Nominal thickness (mm) ²⁾	Holding time (min)	P _{crit} (see Clause 11.1)
6.1	High vanadium Cr-Mo-(Ni) with 0,3 % < Cr ≤ 0,75 % and Mo ≤ 0,7 % and V ≤ 0,35 %	680-730	all	90 + e _n (180 minimum)	-
6.2	High vanadium Cr-Mo-(Ni) with 0,75 % < Cr ≤ 3,5 % and 0,7 % < Mo ≤ 1,2 % and V ≤ 0,35 %	690-710 ⁴⁾	≤ 125	2,4 * e _n	19,4
	• 12CrMoV12-10		> 125	225+	
	• 13CrMoV9-10			0,6*e _n	
6.3	High vanadium Cr-Mo-(Ni) with 3,5 % < Cr ≤ 7,0 % and Mo ≤ 0,7 % and 0,45 % < V ≤ 0,55 %	6)			
6.4	High vanadium Cr-Mo-(Ni) with 7,0% < Cr ≤ 10 % and 0,7 % < Mo ≤ 1,2 %				
	• X10CrMoVNb9-1	730-780 ¹¹⁾	≤ 30 > 30 ≤ 60 > 60	60 120 2 * e _n	20,5
	• X20CrMoV11-1	730-770 ¹¹⁾	≤ 12 > 12 ≤ 60 > 60	30 2,5 * e _n 90 + e _n	-
8.1	Austenitic stainless steels with Cr ≤ 19 %	Generally not applicable ⁶⁾			
8.2	Austenitic stainless steels with Cr > 19 %				
9.1	Ni alloyed steels with Ni ≤ 3,0 %	530-580	≤ 35 ³⁾	30	-
9.2	Ni alloyed steels with 3,0 % < Ni ≤ 8,0 % ^{4) 12)}		> 35 ≤ 90 > 90	e _n - 5 40 + 0,5*e _n	
9.3	Ni alloyed steels with 8,0 % < Ni ≤ 10 %		7)		
10.1	Austenitic ferritic stainless steels with Cr ≤ 24 %	Generally not applicable ⁶⁾			
10.2	Austenitic ferritic stainless steels with Cr > 24 %				

Table 10.1-1 (continued)

1)	Heat treatment conditions of base material: M = thermomechanically rolled; N = normalised; NT = normalised and tempered; QT = quenched and tempered
2)	Nominal thickness e_n is that required by 11.2.2.
3)	For thickness ≤ 35 mm post weld heat treatment is optional and normally only necessary in special cases (e.g. to reduce the danger of stress corrosion cracking or hydrogen-induced cracking (sour gas)).
4)	If higher temperatures are used, conditions given in subclause 11.5.3 apply.
5)	For thickness ≤ 15 mm PWHT is optional.
6)	If PWHT is considered necessary, the PWHT time and temperature shall take into account recommendations from the material manufacturer as well as the welding consumable manufacturer to achieve the required material properties.
7)	Normally welded with austenitic filler metal; in view of possible carbon diffusion PWHT should be avoided.
8)	No post weld heat treatment is required if all the following conditions are fulfilled: – tubes with nominal diameter < 120 mm; – nominal wall thickness < 13 mm
9)	No post weld heat treatment required if all the following conditions are fulfilled: – tubes with nominal diameter < 120 mm – nominal wall thickness < 13 mm – design temperature > 480 °C
10)	In case of intermediate stress relieving (ISR): 630 °C – 650 °C
11)	Intermediate cooling of the weld below the M_f temperature (typically 90 °C – 100 °C) should take place before PWHT to ensure full transformation into martensite.
12)	After the welding of the 3,5 % Ni steels with a thickness over 35 mm, it is permitted to weld, without new heat treatment, components that are not subject to pressure provided the following conditions are met: – the weld dimensions (weld thickness or corner joint throat) are less or equal to 12 mm; – a preheat temperature of minimum 100 °C is applied during the welding operation.

- Een PWHT-temperatuur hoger dan de ontlaattoemperatuur kan leiden tot aantasting van de mechanische eigenschappen. **<= zie beneden.**
- In Tabel 11.1-1 een **Pcrit-waarde** is gedefinieerd, die niet mag worden overschreden zonder aantoning van de mechanische eigenschappen (bijv. 10CrMo9-10 HAZ: P-crit 19,2 en X10CrMoVNb9-1: Pcrit 20,5).

Graag zou ik hierop de volgende vragen beantwoord zien:

- Waarom is dit punt zo belangrijk en hoe kritisch is dit in de praktijk?
- **Bij het overschrijden van de Pcrit door gloeien (een te hoge HJ heat input) bestaat de kans dat de trekeigenschappen onder de minimumwaarde van de materiaalnorm komen door over-tempering. Ook gaat de kerftaaiheid achteruit. In de praktijk is Pcrit echter heel conservatief gekozen. Het is dus meer een voorzorg dat de fabrikant door middel van testen bewijst dat de materialen nog altijd aan de norm (materiaalstandaard) voldoen. De kans is zeer klein dat de test faalt bij een lichte overschrijding. Er zijn veel publicaties over dit onderwerp (zie aangehecht). De PED en de geharmoniseerde designnormen zijn gebaseerd op BEWEZEN minimum materiaaleigenschappen, en niet zoals ASME, op een statistische 2x STD. Dev. ondergrens.**
- Welke waarden moeten precies in de Hollomon-Jaffe-formule worden meegenomen? Geldt dit alleen voor de PWHT, of moeten ook eerdere warmtebehandelingen

(ontlaattemperaturen en tijd) tijdens de materiaalproductie (bijv. buis- of plaatfabricage) worden meegenomen?

Of bij een reparatie in bijvoorbeeld; X10CrMoVNb9-1, moet hier ook de bedrijfsuren in worden meegenomen?

Mijns inziens hoeft de tempering tijdens plaatproductie niet te worden meegenomen, men gaat uit van een materiaal zoals geleverd volgens de materiaalstandaard (ook EN 10216 naadloze buis maar ook EN 10217 gelaste buis) als startpunt. PWHT/tempering voor gelaste buizen die door een leverancier wordt gemaakt die niet als “materiaal” maar als “component” worden geleverd zou wel moeten worden meegenomen. Alle warmtebehandelingen tijdens productie of reparatie zijn relevant. Ook moet de opwarmtijd en afkoeltijd worden meegenomen, daar zijn ook formules voor. Warmte-inbreng door bedrijf is altijd uitgesloten. Meestal levert dit geen significante bijdrage in te HJ parameter als je dit uitrekent, behalve voor materialen hoog in het kruipgebied. Maar in de code is al een zekere materiaaldegradatie meegenomen voor materialen in het kruipgebied.

- En wat is het verschil tussen de **Hollomon-Jaffe-parameter** en de **Larson-Miller-parameter**?
- **Hollomon-Jaffe is ontwikkeld voor tempering en stress relief en Larson-Miller is voor kruip. Beide zijn thermisch geactiveerde processen en in de praktijk zijn de formules hetzelfde en worden ze door elkaar gebruikt. Zie aangehechte paper voor een historische context van tempering parameters.**

Verderop staat ook nog dit:

Dit is echt onzin. Dit moet je overlaten aan de materiaalproducent. Die weet het beste hoe je zijn materiaal het best moet behandelen. Je kunt prima een lage tempering temperatuur hebben, en tijdens fabricage een hogere tempering / PWHT temperatuur, en alsnog de beste eigenschappen van je materiaal krijgen. Dit is echt “old thinking”, en ik heb dat ook een tijd geloofd. Zie aangehechte paper over de Myth of tempering temperature. Het gaat erom dat je met de totale warmte-inbreng het optimale materiaal krijgt.