



Ristiriitatapauksissa pätee englanninkielinen teksti

In case of interpretation disputes the English text applies

HITSAUS. METALLISTEN MATERIAALIEN HITSAUSSUOSITUKSET.

OSA 2: FERRIITTISTEN TERÄSTEN KAARIHITSAUS

Welding. Recommendations for welding of metallic materials.

Part 2: Arc welding of ferritic steels

Tämä standardi sisältää eurooppalaisen standardin EN 1011-2:2001 "Welding. Recommendations for welding of metallic materials. Part 2: Arc welding of ferritic steels" englanninkielisen tekstin.

Standardi sisältää myös englanninkielisen tekstin suomenkielisen käännöksen.

Eurooppalainen standardi EN 1011-2:2001 on vahvistettu suomalaisiksi kansalliseksi standardiksi.

This standard consists of the English text of the European Standard EN 1011-2:2001 "Welding. Recommendations for welding of metallic materials. Part 2: Arc welding of ferritic steels".

The standard also contains a Finnish translation of the English text.

The European Standard EN 1011-2:2001 has the status of a Finnish national standard.

English version

Welding – Recommendations for welding of metallic materials – Part 2: Arc welding of ferritic steels

Soudage – Recommandations pour le soudage des matériaux métalliques – Partie 2: Soudage à l'arc des aciers ferritiques

Schweißen – Empfehlungen zum Schweißen metallischer Werkstoffe – Teil 2: Lichtbogenschweißen von ferritischen Stählen

This European Standard was approved by CEN on 6 July 2000.

CEN members are bound to comply with the CEN/CENELEC Internal Regulations which stipulate the conditions for giving this European Standard the status of a national standard without any alteration. Up-to-date lists and bibliographical references concerning such national standards may be obtained on application to the Management Centre or to any CEN member.

This European Standard exists in three official versions (English, French, German). A version in any other language made by translation under the responsibility of a CEN member into its own language and notified to the Management Centre has the same status as the official versions.

CEN members are the national standards bodies of Austria, Belgium, Czech Republic, Denmark, Finland, France, Germany, Greece, Iceland, Ireland, Italy, Luxembourg, Netherlands, Norway, Portugal, Spain, Sweden, Switzerland and United Kingdom.



EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION
EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG

Management Centre: rue de Stassart, 36 B-1050 Brussels

Sisällys

	Sivu
Esipuhe	4
Johdanto	4
1 Soveltamisala	6
2 Viittaukset	6
3 Termit ja määritelmät	6
4 Tunnukset ja lyhenteet	8
5 Perusaine	8
6 Hitsattavuustekijät	8
7 Hitsauslisäaineiden käsittely	10
8 Hitsien yksityiskohdat	10
9 Tulppahitsit	12
10 Railonvalmistus	12
11 Päittäisrailojen hitsaussovitteet	12
12 Esikumennus	12
13 Siltahitsit	14
14 Tilapäiset kiinnitykset	14
15 Lämmöntuonti	14
16 Hitsausohje	14
17 Tunnistettavuus	14
18 Tarkastus ja testaus	14
19 Virheellisten hitsien korjaus	14
20 Muodonmuutosten korjaus	16
21 Jälkilämpökäsittely	16
Liite A (opastava) Hitsauksessa mahdollisesti syntyvät haitalliset ilmiöt, joita ei ole käsitelty muissa liitteissä	18
Liite B (opastava) Ohjeita hitsausliitosten muotoiluun, kun siihen ei ole sovellusstandardia	20
Liite C (opastava) Vetyhalkeilun estäminen	24
Liite D (opastava) Muutosvyöhykkeen sitkeys ja kovuus	76
Liite E (opastava) Jähmettymishalkeilun estäminen	92
Liite F (opastava) Lamellirepeilyn estäminen	96
Liite G (opastava) Viittaukset liitteissä	108
Liite ZA (opastava) Tämän standardin kohdat suhteessa EU:n direktiivien olennaisiin vaatimuksiin ja määräyksiin	110
Kirjallisuutta	112
Opastavia tietoja	
Vastaavat SFS-standardit kohtaan 2 Viittaukset	112

Contents

	Page
Foreword	5
Introduction	5
1 Scope	7
2 Normative references	7
3 Terms and definitions.....	7
4 Symbols and abbreviations	9
5 Parent metal	9
6 Weldability factors.....	9
7 Handling of welding consumables	11
8 Weld details	11
9 Welds in holes or slots.....	13
10 Preparation of joint face.....	13
11 Alignment of butt welds before welding	13
12 Preheating	13
13 Tack welds	15
14 Temporary attachments	15
15 Heat input	15
16 Welding procedure specification.....	15
17 Identification	15
18 Inspection and testing.....	15
19 Correction of non-conforming welds.....	15
20 Correction of distortion	17
21 Post weld heat treatment.....	17
Annex A (informative) Possible detrimental phenomena resulting from welding of steels, not covered by other annexes	19
Annex B (informative) Guidance on joint detail design (when there is no application standard).....	21
Annex C (informative) Avoidance of hydrogen cracking (also known as cold cracking).....	25
Annex D (informative) Heat affected zone toughness and hardness	77
Annex E (informative) Avoidance of solidification cracking	93
Annex F (informative) Avoidance of lamellar tearing.....	97
Annex G (informative) References in the annexes	109
Annex ZA (informative) Clauses of this European Standard addressing essential requirements or other provisions of EU Directives.....	111
Bibliography	113

Esipuhe

Tämän eurooppalaisen standardin on laatinut tekninen komitea CEN/TC 121 "Welding", jonka sihteeristöä hoitaa DS.

Tälle eurooppalaiselle standardille on annettava kansallisen standardin asema joko julkaisemalla standardin kanssa yhtäpitävä teksti tai ilmoittamalla sen voimaansaattamisesta viimeistään heinäkuun loppuun mennessä 2001. Samalla on kumottava tämän standardin kanssa ristiriitaiset kansalliset standardit.

Tämä eurooppalainen standardi on laadittu Euroopan komission ja Euroopan vapaakauppajärjestön CENille antaman toimiksiannon perusteella ja se tukee EU-direktiivien olennaisia vaatimuksia.

Tämän standardin suhde EU:n direktiiveihin määritetään opastavassa liitteessä ZA, joka on olennainen osa tätä standardia.

CEN/CENELEC -sisäisten sääntöjen mukaan seuraavat maat ovat veloitettuja vahvistamaan tämän eurooppalaisen standardin: Belgia, Espanja, Hollanti, Irlanti, Islanti, Iso-Britannia, Italia, Itävalta, Kreikka, Luxemburg, Norja, Portugali, Ranska, Ruotsi, Saksa, Suomi, Sveitsi, Tanska ja Tšekin tasavalta.

Johdanto

Tämä eurooppalainen standardi täydentää osaa 1. Tässä standardissa on useita liitteitä, jotka käsittelevät eri terästyyppejä, joita valmistetaan eurooppalaisten ferriittisten terästen standardien mukaan (ks. kohta 5).

Tämä standardi antaa yleiset ohjeet hyvälle hitsien tuotannolle ja valvonnalle, kun hitsataan ferriittisiä teräksiä. Standardi luettelee myös mahdollisia haitallisia ilmiöitä, joita voi esiintyä hitsauksessa, ja antaa neuvoja keinoista, joilla niiden syntyminen voidaan estää. Tämä standardi soveltuu yleensä kaikille ferriittisille teräksille riippumatta valmistettavasta tuotteesta, vaikka asiaankuuluva sovellutusstandardi voi sisältää lisävaatimuksia.

Foreword

This European Standard has been prepared by Technical Committee CEN/TC 121 "Welding", the secretariat of which is held by DS.

This European Standard shall be given the status of a national standard, either by publication of an identical text or by endorsement, at the latest by July 2001, and conflicting national standards shall be withdrawn at the latest by July 2001.

This European Standard has been prepared under a mandate given to CEN by the European Commission and the European Free Trade Association, and supports essential requirements of EU Directive(s).

For relationship with EU Directive(s), see informative Annex ZA, which is an integral part of this standard.

According to the CEN/CENELEC Internal Regulations, the national standards organizations of the following countries are bound to implement this European Standard: Austria, Belgium, Czech Republic, Denmark, Finland, France, Germany, Greece, Iceland, Ireland, Italy, Luxembourg, Netherlands, Norway, Portugal, Spain, Sweden, Switzerland and the United Kingdom.

Introduction

This European Standard supplements Part 1. It is issued with several annexes in order that it can be extended to cover the different types of steel which are produced to all the European steel standards for ferritic steels (see clause 5).

This standard gives general guidance for the satisfactory production and control of welds in ferritic steels. Details concerning the possible detrimental phenomena which can occur are given with advice on methods by which they can be avoided. This standard is generally applicable to all ferritic steels and is appropriate regardless of the type of fabrication involved, although the application standard can have additional requirements.

1 Soveltamisala

Tämä standardi antaa yleiset suositukset ferriittisten terästen (ks. kohta 5), paitsi ferriittisten ruostumattomien terästen, käsin, osittain mekanisoituun, täysin mekanisoituun ja automaattiseen kaarihitsaukseen kaikissa terästen tuotemuodoissa.

2 Viittaukset

Tämä eurooppalainen standardi sisältää päivättyjä ja päiväämättömiä viittauksia muihin julkaisuihin. Nämä velvoittavat viittaukset esitetään asiaankuuluviin kohdissa ja kyseiset standardit luetellaan tässä kohdassa. Päivättyjen viittausten myöhempiä muutoksia tai tarkistettuja painoksia sovelletaan osana tätä eurooppalaista standardia vain siinä tapauksessa, että ne on muutoksella tai tarkistuksella siihen sisällytetty. Päiväämättömien viittausten kohdalla sovelletaan viimeisintä painosta.

EN 288-2:1997¹⁾, *Specification and approval of welding procedures for metallic materials – Part 2: Welding procedure specification for arc welding*

EN 1011-1:1998¹⁾, *Welding – Recommendations for welding of metallic materials – Part 1: General guidance for arc welding*

EN 29692¹⁾, *Metal-arc welding with covered electrode, gas-shielded metal-arc – welding and gas welding – Joint preparations for steel (ISO 9692:1992)*

EN ISO 13916¹⁾, *Welding – Guidance for the measurement of preheating temperature, interpass temperature and preheat maintenance temperature (ISO 13916:1996)*

CR ISO 15608, *Welding – Guidelines for a metallic material grouping system (ISO/TR 15608:2000)*

3 Termit ja määritelmät

Tässä eurooppalaisessa standardissa pätevät standardissa EN 1011-1:1998 annettujen termien ja määritelmien lisäksi seuraavat termit ja määritelmät:

3.1 jäähtymisaika $t_{8/5}$: hitsipalon ja muutosvyöhykkeen aika, joka kuluu jäähtymisen aikana lämpötila-alueen 800...500 °C ohittamiseen

3.2 palkopituus: hitsauspuikolla hitsatun palon pituus

3.3 palkopituussuhde R_p : hitsauspuikolla hitsatun palon pituuden suhde hitsatun puikon pituuteen

3.4 muototekijä F_x : kuvaa liitosmuodon vaikutusta jäähtymisaikaan $t_{8/5}$. Kaksidimensionaalisessa lämmönjohtumisessa siitä käytetään tunnusta F_2 ja kolmidimensionaalisessa lämmönjohtumisessa tunnusta F_3

3.5 kolmidimensionaalinen lämmönjohtuminen: hitsauksessa tuotu lämpö johtuu sekä levyn pinnan tason suunnassa että kohtisuorassa sitä vastaan

3.6 transitiopaksuus d_t : levynpaksuus, jossa lämmönjohtuminen muuttuu kolmidimensionaalisesta kaksidimensionaaliseksi

3.7 kaksidimensionaalinen lämmönjohtuminen: hitsauksessa tuotu lämpö johtuu ainoastaan levyn pinnan suunnassa

3.8 ylläpitolämpötila T_m : hitsattavan alueen vähimmäislämpötila, joka ylläpidetään hitsauksen keskeytyessä.

¹⁾ Vastaavat SFS-standardit: Ks. Opastavia tietoja.

1 Scope

This European Standard gives guidance for manual, semi-mechanised, mechanised and automatic arc welding of ferritic steels (see clause 5), excluding ferritic stainless steels, in all product forms.

2 Normative references

This European Standard incorporates by dated or undated reference, provisions from other publications. These normative references are cited at the appropriate places in the text and the publications are listed hereafter. For dated references, subsequent amendments to or revisions of any of these publications apply to this European Standard only when incorporated in it by amendment or revision. For undated references the latest edition of the publication referred to applies (including amendments).

EN 288-2:1997, *Specification and approval of welding procedures for metallic materials – Part 2: Welding procedure specification for arc welding*

EN 1011-1:1998, *Welding – Recommendations for welding of metallic materials – Part 1: General guidance for arc welding*

EN 29692, *Metal-arc welding with covered electrode, gas-shielded metal-arc – welding and gas welding – Joint preparations for steel (ISO 9692:1992)*

EN ISO 13916, *Welding – Guidance for the measurement of preheating temperature, interpass temperature and preheat maintenance temperature (ISO 13916:1996)*

CR ISO 15608, *Welding – Guidelines for a metallic material grouping system (ISO/TR 15608:2000)*

3 Terms and definitions

For the purposes of this European Standard, the terms and definitions listed in EN 1011-1:1998 and the following apply:

3.1 cooling time $t_{8/5}$: the time taken, during cooling, for a weld run and its heat affected zone to pass through the temperature range from 800 °C to 500 °C

3.2 run out length: the length of a run produced by the melting of a covered electrode

3.3 run out ratio R_r : the ratio of the run out length to the length of electrode consumed

3.4 shape factor F_x : describes the influence of the form of a weld on the cooling time $t_{8/5}$. In the case of two-dimensional heat flow it is called F_2 and in the case of three-dimensional heat flow it is called F_3

3.5 three-dimensional heat flow: the heat introduced during welding which flows parallel and perpendicular to the plate surface

3.6 transition thickness d_t : plate thickness at which the transition from three-dimensional to two-dimensional heat flow takes place

3.7 two-dimensional heat flow: the heat introduced during welding which flows only parallel to the plate surface

3.8 preheat maintenance temperature T_m : the minimum temperature in the weld zone which should be maintained if welding is interrupted

4 Tunnukset ja lyhenteet

Taulukko 1 Tunnukset ja lyhenteet

Tunnukset/lyhenteet	Termit	Yksikkö
<i>CE</i>	Hiilikvivalentti (ks. C.2.1)	%
<i>CET</i>	Hiilikvivalentti (ks. C.3.2)	%
<i>D</i>	Halkaisija	mm
<i>d</i>	Aineenpaksuus	mm
<i>d_t</i>	Transitiopaksuus	mm
<i>F₂</i>	Liitosmuotokerroin kaksidimensionaaliselle lämmönjohtumiselle	–
<i>F₃</i>	Liitosmuotokerroin kolmidimensionaaliselle lämmönjohtumiselle	–
<i>HAZ</i>	Muutosvyöhyke	–
<i>HD</i>	Hitsiaineen vetypitoisuus (diffundoituvan vedyn pitoisuus)	ml/100 g tuotua hitsiainetta
<i>Q</i>	Lämmöntuonti	kJ/mm
<i>R_r</i>	Palkopituussuhde	–
<i>t_{8/5}</i>	Jäähtymisaika (lämpötilavälillä 800-500 °C)	s
<i>t</i>	Hitsauspuikon sulamisaika	s
<i>T_i</i>	Väli-palkolämpötila	°C
<i>T_m</i>	Ylläpitolämpötila	°C
<i>T_o</i>	Levyn alkulämpötila	°C
<i>T_p</i>	Esikuumennuslämpötila	°C
<i>T_t</i>	Iskusitkeyden transitiolämpötila	°C
<i>UCS</i>	Jähmettymishalkeilun herkkyysindeksi	–
<i>λ</i>	Lämmönjohtavuus	J/cm K s
<i>ρ</i>	Tiheys	kg/m ³
<i>c</i>	Ominaislämpö	J/kg K

5 Perusaine

Tämä standardi soveltuu ferriittisille teräksille lukuunottamatta ferriittisiä ruostumattomia teräksiä. Nämä teräkset käsittävät teknisen raportin CR ISO 15608 mukaiset perusaineryhmät 1...7. Teräksen tilauksen yhteydessä saattaa olla tarpeen määrittellä asioita koskien hitsattavuutta, mikä voi tarkoittaa lisävaatimuksia verrattuna asianomaiseen terässtandardiin.

6 Hitsattavuustekijät

Hitsausolosuhteet vaikuttavat suuresti hitsien ominaisuuksiin ja laatuun. Hitsattavuustarkastelussa on otettava huomioon seuraavat tekijät:

- liitosmuoto
- vetyhalkeilu
- muutosvyöhykkeen (HAZ) sitkeys ja kovuus
- jähmettymishalkeilu
- lamellirepeily
- korroosio.

4 Symbols and abbreviations

Table 1 Symbols and abbreviation

Symbols/Abbreviations	Terms	Units
CE	Carbon equivalent (see C.2.1)	%
CET	Carbon equivalent (see C.3.2)	%
D	Diameter	mm
d	Thickness of plate	mm
d_t	Transition thickness	mm
F_2	Shape factor for two-dimensional heat flow	–
F_3	Shape factor for three-dimensional heat flow	–
HAZ	Heat affected zone	–
HD	Diffusible hydrogen content	ml/100 g deposited weld metal
Q	Heat input	kJ/mm
R_r	Run out ratio	–
$t_{8/5}$	Cooling time (from 800 °C to 500 °C)	s
t	Melting time of an electrode	s
T_i	Interpass temperature	°C
T_m	Preheat maintenance temperature	°C
T_o	Initial plate temperature	°C
T_p	Preheat temperature	°C
T_t	Impact transition temperature	°C
UCS	Unit of crack susceptibility	–
λ	Thermal conductivity	J/cm K s
ρ	Density	kg/m ³
c	Specific heat capacity	J/kg K

5 Parent metal

This standard applies to ferritic steels excluding ferritic stainless steels. This includes steels referenced in groups 1 to 7 of CR ISO 15608. When ordering steel it may be necessary to specify requirements concerning weldability, which can involve specifying additional requirements to those given in the relevant steel standard.

6 Weldability factors

The properties and the quality of welds are particularly influenced by the welding conditions. Thus, the following factors should be taken into consideration:

- Joint design;
- Hydrogen induced cracking;
- Toughness and hardness of the heat affected zone (HAZ);
- Solidification cracking;
- Lamellar tearing;
- Corrosion.

Hitsaus voi vaikuttaa enemmän tai vähemmän kapean muutosvyöhykkeen mekaanisiin ominaisuuksiin, erityisesti kovuuteen ja sitkeyteen, verrattuna perusaineen ominaisuuksiin, mikä riippuu hitsausolosuhteista. Kokemus ja kokeet osoittavat, että muutosvyöhykkeen matalamman lujuuden lisäksi on otettava huomioon myös viereisten sitkeämpien vyöhykkeiden aiheuttama vaikutus jännitysjakautumaan, kun arvioidaan hitsausliitosten sitkeyttä ja turvallisuutta sekä murtumiskestävyyttä. Tämä voi vaikuttaa myös teräslajin valintaan.

7 Hitsauslisäaineiden käsittely

Jos hitsauslisäaineiden valmistaja suosittelee erityisiä toimenpiteitä varastoinnin ajaksi tai ennen käyttöä, valmistajan on käsiteltävä lisäaineet suositusten mukaisesti.

Lisäaineet on otettava pois paketistaan ennen kuivauskäsittelyä. Kuivauksen jälkeen lisäaineet on suojattava kostumiselta sopivalla tavalla. Jos käytetään lisäaineita, jotka on erikoispakattu, esim. tyhjöpakkaus, lisäaineen valmistajalta on pyydetävä lisäohjeita tällaisten lisäaineiden käsittelyyn ja kuivaukseen.

Jos hitsauksessa vaaditaan kontrolloitua vetypitoisuutta, on suositeltavaa, että hitsaajat säilyttävät hitsauspuikot käyttöpäikällä lämmitetyissä puikkosäiliöissä.

Hitsauslisäaineiden kuivaukseen tarkoitetuissa kuivauslaitteissa pitää olla tarvittavat lämpötilamittarit.

8 Hitsien yksityiskohdat

8.1 Päittäishitsit

Eripaksuisten osien päittäisliitokset on muotoiltava ja tehtävä niin, että vältetään suuren jännityskeskittymän syntyminen liitoskohtaan.

Standardi EN 29692 antaa suositeltavia railomuotoja puikko- ja kaasukaarihitsaukseen.

Päittäisliitoksissa voidaan käyttää osittain läpihitsattuja hitsejä, mikäli suunnitteluohjeet sallivat. Railomuodon ja hitsauslisäaineen valinnassa on otettava huomioon, että railossa saavutetaan määritetty hitsin paksuus.

Väsyttävästi kuormitetuissa olosuhteissa osittain läpihitsattujen hitsien tai kiinteän juurituen käyttö saattaa olla ei-toivottavaa.

Juuritukena voidaan käyttää myös rakenteen toista osaa, jos se on asianmukaista.

Jos tämä ei ole mahdollista, erillisen juurituen materiaalin pitää olla sellainen, että se ei aiheuta haitallisia vaikutuksia. Siitä pitää sopia suunnitteluohjeessa.

Kun käytetään kuparia juuritukimateriaalina, on huolehdittava, että se ei sula ja seostu hitsiaineeseen.

Kun käytetään irrallista tai kiinteätä juuritukea, liitos pitää tehdä niin, että hitsauksessa saavutetaan riittävä sulaminen ja tunkeuma.

Pysyvän juurituen kiinnittämiseen tarkoitetut ja hitsin osaksi tulevat siltahitsit pitää tehdä niin, että ne sopivat myöhemmin valmiin hitsin osaksi (ks. EN 1011-1:1998, kohta 14).

8.2 Pienahitsit

Jos muuta ei ole määritetty, ilmarako pienahitsin railopintojen välissä pitää olla mahdollisimman pieni. Rako lisää halkeiluvaaraa. Jos ei ole muuta määritetty, rako ei saa olla suurempi kuin 3 mm. Suuren ilmaraon kompensoimiseksi voi olla tarpeen pienahitsin paksuuden lisääminen.

Jos muuta ei ole määritetty, hitsausta ei saa aloittaa tai lopettaa kulmien lähellä, vaan hitsiä on jatkettava ympäri kulman.

The mechanical and technological properties, in particular the hardness and toughness of the heat affected zone in a narrowly delineated area, can be influenced to a greater or lesser degree, compared with the properties of the parent metal and depend on the welding conditions. Experience and tests indicate that not only the properties of the narrow affected zone of lower strength and better flexibility, but also the load distribution effect of the tougher adjacent zones should be taken into account when assessing the ductility and safety against fracture of welded joints as this could affect the choice of steel.

7 Handling of welding consumables

When special protection or other treatment during storage or immediately prior to use is recommended by the consumable manufacturer, these consumables should be treated in accordance with the conditions detailed by the manufacturer.

When drying or baking, consumables should be removed from their original containers. After removal from the oven, the consumables should be protected from exposure to conditions conducive to moisture absorption. In the case of welding consumables that have been specially packaged, e.g. vacuum or other moisture resistance means, advice from the consumable manufacturer should be sought as to further steps required for drying and baking.

If controlled hydrogen levels are required, it is recommended that welders be issued with electrodes in heated quivers or sealed containers.

Drying ovens, e.g. for welding consumables, shall be provided with means of measuring the oven temperature.

8 Weld details

8.1 Butt welds

Butt joints between parts of unequal cross-section should be made and subsequently shaped such that a severe stress concentration at the junction is avoided.

Some examples of joint preparations for use with metal-arc welding with covered electrodes and gas-shielded metal-arc welding are given in EN 29692.

Partial penetration butt joints may be permitted dependant on the design specification. Consideration should be given to the choice of weld preparation and welding consumables in order to achieve the specified throat thickness.

Under fatigue conditions, partial penetration joints or the use of permanent backing material may be undesirable.

Backing material may consist of another steel part of the structure when this is appropriate.

When it is not appropriate to use part of the structure as backing material, the material to be used shall be such that detrimental effects on the structure are avoided and shall be agreed in the design specification.

Care shall be taken when using copper as a backing material as there is a risk of copper pick-up in the weld metal.

Where temporary or permanent backing material is employed, the joint shall be arranged in such a way as to ensure that complete fusion of the parts to be joined is readily achieved.

Wherever the fabrication sequence allows, tack welds attaching permanent backing should be positioned for subsequent incorporation into the weld (see clause 14 of EN 1011-1:1998).

8.2 Fillet welds

Unless otherwise specified, the edges and surfaces to be joined by fillet welding shall be in as close contact as possible since any gap may increase the risk of cracking. Unless otherwise specified, the gap shall not exceed 3 mm. Consideration shall be given to the need to increase the throat of the fillet weld to compensate for a large gap.

Unless otherwise specified, welding should not start/stop near corners, instead, it should be continued around the corners.

9 Tulppahitsit

Halkeiluriskin takia tulpparailoja ei pitäisi täyttää hitsaamalla, jos suunnitteluohje ei vaadi sitä. Tulpparailot, jotka on vaadittu hitsattaviksi täyteen, saadaan hitsata täyteen vasta sitten, kun ensimmäinen palko on ensiksi tarkastettu (ks. kohta B.4).

10 Railonvalmistus

10.1 Yleistä

Suuret kolot tai muut virheet railossa pitää korjata hitsaamalla käyttäen hyväksytyä hitsausmenetelmää. Korjauskohdat pitää hioa sileiksi perusaineen pinnan tasoon.

Konepajapohjamaali (shop primer) voidaan jättää liitospinnoille, mikäli on osoitettu, ettei se vaikuta haitallisesti hitsaukseen.

10.2 Railopinnat

Jos käytetään mekaanista leikkausta, on otettava huomioon mahdollinen pintojen työstökarkeneminen ja varmistettava, ettei railopinnoissa tai railosärmissä ole halkeamia.

U- ja J-railojen valmistus tehdään yleensä koneistamalla. Railomuodon ja railon valmistusmenetelmän valinnassa on otettava huomioon valittu hitsausprosessi ja sen vaatimukset.

10.3 Hitsaamattomat pinnat

Jos leikattu pinta ei ole railopinta, mekaanisen tai termisen leikkauksen haurastavat vaikutukset eivät saa olla sellaiset, että ne vaikuttavat haitallisesti työkappaleeseen.

Sopivalla termisellä käsittelyllä voidaan vähentää paikallista karkenemista tai se voidaan poistaa kokonaan mekaanisella käsittelyllä. Karkenut pintakerros saadaan pois, kun poistetaan pinnasta ainetta 1...2 mm. Termisessä leikkauksessa karkenemista voidaan vähentää pienentämällä leikkauksenopeutta tai käyttämällä esikuumennusta. Jos on tarpeen, pitää ottaa yhteyttä terästoimittajaan, joka voi antaa neuvoja kovuuden pienentämiseksi.

U- ja J-railojen käyttö pienentää muodonmuutoksia verrattuna V- ja muihin vastaaviin viistettyihin railoihin. Kaksipuoliset railot ovat vastaavasti edullisempia kuin yksipuoliset railot, koska palot voidaan hitsata vuorotellen kummallekin puolelle. Railonvalmistuksen ja railosovitusten tarkkuus sekä sopiva hitsausjärjestys ovat myös tärkeitä, kun halutaan pitää muodonmuutokset pieninä.

11 Päittäisrailojen hitsaussovitteet

Jos muuta ei ole määritetty, esim. hitsausohjeessa tai sovellusstandardissa, päittäisliitosten juurisärmät ja juuripinnat eivät saa olla toistensa suhteen eri tasossa enempää kuin 25 % ohuemman osan aineenpaksuudesta levypaksuuksilla vähintään 12 mm tai enempää kuin 3 mm levynpaksuuksilla alle 12 mm.

Tietyille käyttökohteille ja hitsausprosesseille saattaa olla tarpeen tiukemmat toleranssit.

HUOM. Direktiivin 97/23/EC tarkoitusta varten sovellusstandardilla tarkoitetaan asiaankuuluvaa tuotestandardia.

12 Esikuumennus

Lämpötilojen mittauspaikkojen pitää olla yhdenmukaiset standardin EN ISO 13916 kanssa paitsi, että mittauskohdan etäisyys pitää olla kaikilla aineenpaksuuksilla vähintään 75 mm hitsin keskilinjalta.

Erityistä huomiota on kiinnitettävä esikuumennuksen tarpeellisuuteen, kun lämmöntuonti on hitsauksessa pieni, esim. silta-hitsien hitsaus.

9 Welds in holes or slots

Due to the risk of cracking, holes or slots should not be filled with weld metal unless required by the design specification. Holes or slots that are required to be filled with weld metal shall only be filled after the first run has been found to be acceptable (see also B.4).

10 Preparation of joint face

10.1 General

Any large notches or any other errors in joint geometry which might occur shall be corrected by applying a weld deposit according to an approved welding procedure. Subsequently, they shall be ground smooth and flush with the adjacent surface to produce an acceptable finish.

Prefabrication primers (shop primers) may be left on the joint faces provided that it is demonstrated they do not adversely affect the welding.

10.2 Fusion faces

When shearing is used, the effect of work hardening should be taken into account and precautions shall be taken to ensure that there is no cracking of the edges.

Single- and double-U and single-J weld preparations usually have to be machined. In assessing the methods of preparation and type of joint, the requirements of the chosen welding process should be taken into account.

10.3 Un-welded faces

Where a cut edge is not a fusion face, the effect of embrittlement from shearing, thermal cutting or gouging shall not be such as to adversely affect the workpiece.

Local hardening can be reduced by suitable thermal treatment or removed by mechanical treatment. The removal of 1 mm to 2 mm from a cut face normally eliminates the hardened layer. When using thermal cutting, local hardening can be lessened by a reduction in usual cutting speed or by preheating before cutting. If necessary the steel supplier should be consulted for recommendations on achieving a reduction in hardness.

U and J weld preparations as compared with V and bevel weld preparations serve to reduce distortion by virtue of the smaller amount of weld metal required. Likewise, double preparations are better than single preparations in that the weld metal can be deposited in alternate runs on each side of the joint. In the control of distortion, accuracy of preparation and fit-up of parts are important considerations, as well as a carefully planned and controlled welding procedure.

11 Alignment of butt welds before welding

Unless specified otherwise (e.g. in a welding procedure specification or an application standard), the root edges or root faces of butt joints shall not be out of alignment by more than 25 % of the thickness of the thinner material for material up to and including 12 mm thick, or by more than 3 mm for material thicker than 12 mm.

For certain applications and welding processes, closer tolerances may be necessary.

NOTE: For the purposes of Directive 97/23/EC, an application standard means a relevant product standard.

12 Preheating

The points of temperature measurement shall be in accordance with EN ISO 13916 except that for all thicknesses the distance for measurement shall be at least 75 mm from the weld centre line.

Particular attention should be paid to the need for preheating when making low heat input welds, e.g. tack welds.

13 Siltahitsit

Siltahitsien pituus suositellaan olevan vähintään 50 mm. Aineenpaksuuksilla alle 12 mm siltahitsin vähimmäispituus pitää olla neljä kertaa ohuemman osan aineenpaksuus. Kun aineenpaksuus on yli 50 mm tai teräksen myötölujuus on yli 500 N/mm², pitäisi harkita siltahitsien koon ja pituuden lisäämistä, mikä voi edellyttää hitsausta kahdella palolla. Kun hitsataan lujia teräksiä, on syytä harkita pehmeämmän ja/tai sitkeämmän lisäaineen käyttöä.

14 Tilapäiset kiinnitykset

Jos tilapäisten kiinnitysten tai aloitus-/lopetuspalojen poistamiseen käytetään termistä menetelmää, palat on irrotettava niin, että syntyvä muutosvyöhyke pystytään poistamaan vielä hiomalla.

15 Lämmöntuonti

Lämmöntuonti lasketaan standardin EN 1011-1:1998 kohdan 19 mukaisen kaavan avulla. Puikkohitsauksessa levityслиikkeen laajuus saa olla enintään kolme kertaa sydänlangan halkaisija.

Monilankahitsauksessa saadaan lämmöntuonti laskemalla yhteen kunkin langan lämmöntuonti.

16 Hitsausohje

Hitsausohjeen pitää olla yhdenmukainen standardin EN 288-2 kanssa ja siinä pitää mainita seuraavat asiat:

- a) Tuotantohitsaus tai asennushitsaus.
- b) Suurin yhdistetty aineenpaksuus (ks. kohta C.2.4), jos sovelletaan liitteen C kohtaa C.2, ja aineenpaksuus, jos sovelletaan liitteen C kohtaa C.3.
- c) Lämmöntuonti (ks. kohta 15).
- d) Vetyasteikko (ks. kohdat C.2.3 ja C.3.2).
- e) Siltahitsit (ks. kohta 13).

17 Tunnistettavuus

Jos sopimus vaatii kovaleimasimien käyttöä merkintöihin, pitää antaa ohjeet niiden paikasta ja koosta. Radiografisessa tarkastuksessa käytettävät merkinnät on otettava huomioon erikseen.

18 Tarkastus ja testaus

Koska vetyhalkeamia voi syntyä hitsauksen jälkeenkkin, yleensä vaaditaan, että lopputarkastus pitää tehdä vasta vähintään 16 tunnin kuluttua. Aikarajaa voidaan lyhentää, kun on kyseessä ohuet aineenpaksuudet ja teräksen myötölujuus on alle 500 N/mm², tai pidentää, kun on kyseessä yli 50 mm:n aineenpaksuus ja teräksen myötölujuus on yli 500 N/mm². Aikaraja pitää mainita tarkastuspöytäkirjoissa.

Tällaista aikarajaa ennen lopputarkastusta ei tarvita hitseille, joille on tehty vedynpoistohehkutus tai jännityksenpoistohehkutus.

Jos TIG-hitsaukselle ja muille uudelleensulattaville prosesseille vaaditaan jälkilämpökäsittely, se on tehtävä ennen lopputarkastusta.

Hitsejä, jotka on tarkastettava ja hyväksyttävä, ei saa maalata tai muuten käsitellä ennen hyväksymistä.

19 Virheellisten hitsien korjaus

Kaikki hitsit, jotka eivät täytä suunnitteluohjeen vaatimuksia, pitää korjata.

HUOM. Virheellisten hitsien korjaustarpeen määrittämiseksi voidaan käyttää murtumismekaniikkaa tai muita arviointimenetelmiä.

13 Tack welds

It is recommended that the minimum length of a tack weld should be 50 mm, but for material thicknesses less than 12 mm the minimum length of a tack weld shall be four times the thicker part. For materials of thickness greater than 50 mm or of yield strength over 500 N/mm² consideration should be given to increasing the length and size of tack welds, which may involve the use of a two run technique. Consideration should also be given to the use of lower strength and/or higher ductility consumables when welding higher alloy steel.

14 Temporary attachments

If a thermal process is used to remove a temporary attachment or run on/off pieces after welding, sufficient attachment or run on/off piece shall be left to allow subsequent removal of the heat-affected material by careful grinding.

15 Heat input

Heat input is calculated from the weld travel speed (see clause 19 of EN 1011-1:1998). When weaving with manual metal-arc welding, the weave width should be restricted to three times the diameter of the core rod.

For multi-wire arc welding, the heat input is calculated as the sum of the heat input for each individual wire using the individual current and voltage parameters.

16 Welding procedure specification

The welding procedure specification shall comply with EN 288-2 and shall include the following:

- a) whether shop or site welding;
- b) maximum combined thickness (see C.2.4), if annex C.2 is applied; plate thickness, if annex C.3 is applied;
- c) heat input (see clause 15);
- d) hydrogen scale (see C.2.3 and C.3.2);
- e) tack welds (see clause 13).

17 Identification

Where the use of hard stamp marks is required by the contract, guidance on their location and size shall be given. Indentations used for marking in radiographic examination require equal consideration.

18 Inspection and testing

Due to the risk of delayed cracking, a period of at least 16 h is generally required before the final inspection is made of as-welded fabrications. The minimum time may be reduced for thin materials below 500 N/mm² yield strength or increased for materials of thickness greater than 50 mm or of yield strength over 500 N/mm². Whatever period is used it shall be stated in the inspection records.

Welds that have been heat-treated to reduce the hydrogen content or which have been stress relieved, need no additional time interval following the heat treatment before final inspection is made.

Tungsten inert gas welding (TIG) and other re-melting processes, if required for post weld treatment, shall be performed before final inspection.

Welds which are to be inspected and approved shall not be painted or otherwise treated until they have been accepted.

19 Correction of non-conforming welds

All welds which do not conform to the design specification shall be corrected.

NOTE: Fracture mechanics or other assessment techniques may be used to determine whether a non-conforming weld needs to be corrected.

20 Muodonmuutosten korjaus

Kuumennuslämpötila kuumalla oikaisussa pitää mitata sopivalla menetelmällä ja lämpötilan pitää olla materiaalin toimittajan tai suunnitteluohjeen mukainen.

21 Jälkilämpökäsittely

Kun hitsien jälkilämpökäsittely on määritetty, mutta tuotestandardia ei ole, lämpökäsittelytiedot mainitaan suunnitteluohjeessa ottaen huomioon myös sen vaikutukset perusaineen, muutosvyöhykkeen ja hitsiaineen ominaisuuksiin.

20 Correction of distortion

The temperature of heated areas, measured by appropriate methods, should be in accordance with the recommendations of the material supplier or the design specification.

21 Post weld heat treatment

When post weld heat treatment of welds is required but no application standard exists, the heat treatment details shall be stated in the design specification taking account of the effect on the properties of the parent metal, *HAZ* and weld metal.

Liite A

(opastava)

Hitsauksessa mahdollisesti syntyvät haitalliset ilmiöt, joita ei ole käsitelty muissa liitteissä

Mahdollinen haitallinen ilmiö	Syitä	Estämistoimenpiteitä
Myöstöhalkeilu	Myöstön aikana voi tapahtua karbidien tai nitridien erkautumisia, jos myöstö ja/tai teräksen koostumus eivät ole oikeat. Tämä voi heikentää teräksen sitkeyttä niin, että jännitysten laukeaminen johtaa plastisen deformaation lisäksi halkeamien syntymiseen.	Vähennä jännitysten keskittymistä hitsin alueelle hiomalla hitsien reunaviivat juoheviksi. Vähennä karkearakeisen muutosvyöhykkeen laajuutta sopivalla palkojärjestyksellä. Käytä oikeaa lämpökäsittelyohjelmaa.
Korroosio a) Yleinen	Erot perusaineen ja hitsiaineen kemiallisessa koostumuksessa, raekoossa ja jännitystasossa voivat johtaa erilaiseen korroosionopeuteen. Useimmissa tapauksissa korroosio keskittyy hitsiaineeseen ja muutosvyöhykkeeseen.	Vältä suuria koostumuseroja perusaineen ja hitsiaineen välillä.
b) Jännityskorroosiohalkeilu	Syynä on kriittinen jännitysten, mikrorakenteen ja ympäristön yhdistelmä.	Vältä jännityskeskittymiä. Vähennä jäännösännityksiä. Vähennä kovuutta.

Annex A

(informative)

Possible detrimental phenomena resulting from welding of steels, not covered by other annexes

Possible detrimental phenomena resulting from welding	Causes	Counter measures
Stress relief heat treatment cracks	Carbide or nitride precipitation can occur during stress relief heat treatment if the stress relief heat treatment and/ or steel composition are unfavourable. This can reduce the ductility of the steel such that relaxation of stress leads not only to plastic deformation but also to crack formation.	Reduce stress concentrations by grinding the toes of welds. Minimize the amount of coarse grained HAZ by correct weld run sequence. Use optimum heat treatment procedures.
Corrosion a) General attack b) Stress corrosion cracking	Differences in chemical composition, grain size and stress levels between the weld and the parent material can lead to different corrosion rates. In most cases the weld and heat affected zone are attacked preferentially. Caused by a critical combination of stress, micro-structure and environment.	Avoid large differences in plate and weld metal compositions. Avoid stress concentrations. Minimize weld stress levels. Reduce hardness levels.

Liite B

(opastava)

Ohjeita hitsausliitosten suunnitteluun, kun siihen ei ole sovellusstandardia

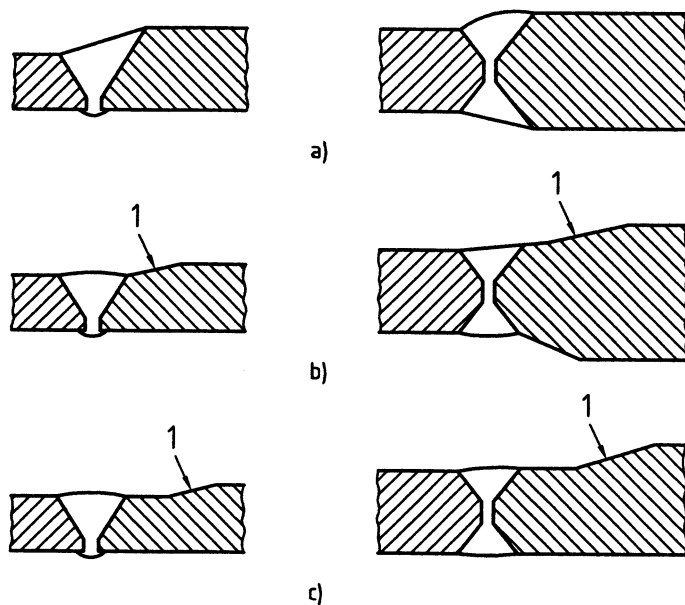
B.1 Yleistä

Tätä liitettä voidaan käyttää ohjeena, kun sovellusstandardia ei ole olemassa. Lisätietoja annetaan mm. standardeissa EN 1708-1:1999 ja EN 1708-2. Ohjeita lamellirepeilyn estämiseksi suunnittelun avulla annetaan liitteessä F.

B.2 Päittäisliitokset

Jos liitettävien osien aineenpaksuudet ovat erilaiset, se aiheuttaa paikallisesti jännitysten kasvua. Tämän lisäksi hitsin muoto itse aiheuttaa myös jännitysten keskittymistä hitsin alueelle. Kun liitettävien osien keskiviivat eivät ole samassa linjassa, liitoksessa tapahtuu kulmamuodonmuutosta. Jos näistä syntyviä jännityksiä ei voida hyväksyä, osat pitäisi muotoilla syntyvien jännitysten pienentämiseksi ennen hitsausta niin, että paksumpi osa ohennetaan enintään kaltevuuteen 1:4 saakka. Esimerkkejä liitosten muotoiluista on annettu kuvassa B.1, jossa tapaukset a) ja b) ovat tavallisempia kuin tapaus c), jossa muotoilu on tehty NDT-tarkastuksen helpottamiseksi.

Yhdeltä puolelta osittain läpihitsattuun hitsiin ei saa kohdistua taivutusrasitusta hitsin pituusakselin suhteen, koska se aiheuttaa vetorasitusta hitsin juuren puolelle. Tästä syystä osittain läpihitsattua hitsiä tulisi välttää ja käyttää ainoastaan silloin, kun suunnitelma sen sallii. Näissä olosuhteissa sovellusstandardi tai sopimus voi sallia sen käytön.



Selitykset

1 Ohennusviisteen kaltevuus: 1:4

- a) Kaltevuus hitsissä
- b) Kaltevuus paksummassa osassa
- c) Erikoismuotoilu NDT-tarkastuksen helpottamiseksi

Kuva B.1 Eripaksuisten osien päittäisliitoksia

B.3 Pienahitsit

Ellei pienahitsi ole ympärihitsattu tai on käytetty jatkopaloja pienahitsin teholliseksi pituudeksi pitäisi ottaa kokonaispituus vähennettynä pituudella kaksi kertaa kateettimitta. Joka tapauksessa tehollisen pituuden ei pitäisi olla vähempää kuin suurempi arvoista 25 mm tai neljä kertaa kateettimitta.

Annex B

(informative)

Guidance on joint detail design (when there is no application standard)

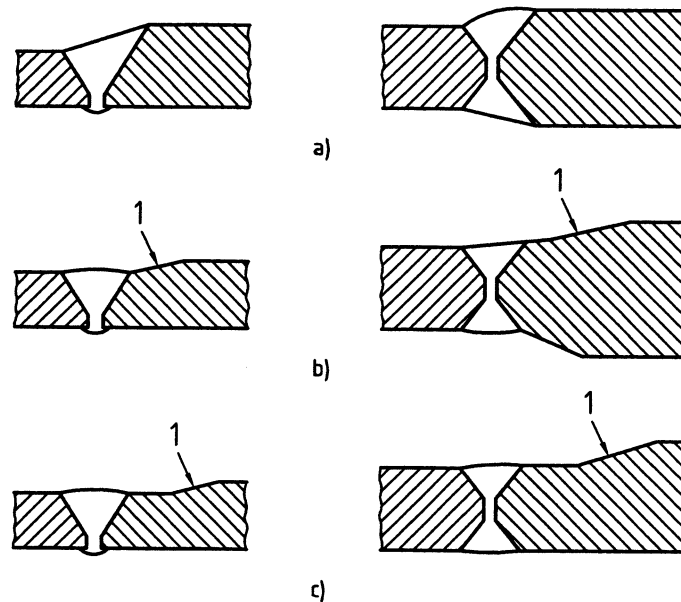
B.1 General

This annex may be used where no guidance from an application standard exists. Further information is given in other documents e.g. EN 1708-1:1999, EN 1708-2. Particular guidance on design to avoid lamellar tearing is given by Annex F.

B.2 Butt joints

Butt joints between parts of unequal cross-section, arranged in line, will result in a local increase in stress in addition to the stress concentration caused by the profile of the weld itself. If the centre planes of the two parts joined do not coincide, local bending also will be induced at the joint. If the stresses induced by these effects are unacceptable, then the parts should be shaped before welding by a slope of not greater than 1 in 4 so as to reduce the stresses. Examples of plain and shaped parts are shown in figure B.1, where a) and b) are the more common types with c) being a special configuration to facilitate non-destructive testing.

A partial penetration butt weld which is welded from one side only should not be subjected to a bending moment about the longitudinal axis of a weld. It would cause the root of the weld to be in tension. Therefore it should be avoided and only used when permitted by the design. Under such circumstances it may be allowed by an application standard or contract.



Key

1 Slope approximately 1 in 4

a) Slope in the weld

b) Slope in the thicker plate

c) Special configuration to facilitate non-destructive testing

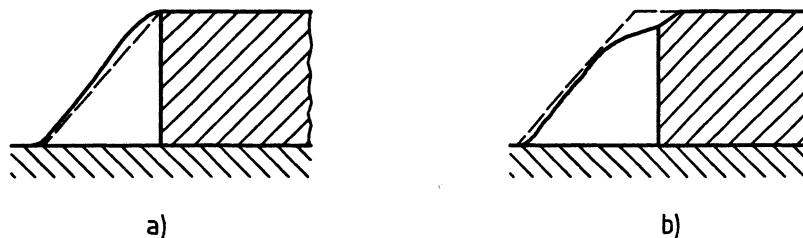
Figure B.1 Butt joints of unequal cross-section

B.3 Fillet welds

The effective length of an open ended fillet weld should be taken as the overall length less twice the leg length. In any case, the effective length should be not less than 25 mm or four times the leg length whichever is the greater.

Puristuskuormitetuissa pienahitseissa ei saa olettaa, että liitettyjen osien pinnat ovat kosketuksissa toisiinsa liitoksessa. Kriittisissä kohteissa olisi syytä harkita osittain läpihitsatun tai jopa läpihitsatun hitsin käyttöä.

Jos pienahitsin määritetty kateettimitta päällekkäisliitoksessa on sama kuin osan paksuus, ulkokulman sulaminen ei ole sallittu, koska se pienentää hitsin *a*-mittaa (ks. kuva B.2).



a) Hyväksyttävä

b) Ei ole hyväksyttävä, koska *a*-mitta on pienentynyt.

Kuva B.2 Pienahitsi päällekkäisliitoksessa

Yksittäiseen pienahitsiin ei saa kohdistua taivutusmomenttia liitoksen pituusakselin suhteen, koska tämä aiheuttaa vetojännitystä hitsin juureen.

Pienahitseissa, joissa liitettävien osien reunojen muodostaman kulma on vähemmän kuin 60° tai yli 120°, ei saa olettaa, että ne kykenevät välittämään kaikki lasketut kuormitukset, ellei sovellusstandardi niin salli.

Pienahitseissa, joissa osien reunojen muodostama kulma on 60...120° ja jotka ovat tasa- tai kupuhitsejä, lasketaan *a*-mitta kertomalla kateettimitta taulukon B.1 mukaisella kertoimella.

Taulukko B.1 Tasa- ja kupupienahitsien *a*-mitan määrittämisessä tarvittava kerroin pienarailon reunojen muodostaman kulman perusteella

Pienarailon reunojen muodostama kulma (°)	Kerroin
60...90	0,7
91...100	0,65
101...106	0,60
107...113	0,55
114...120	0,50

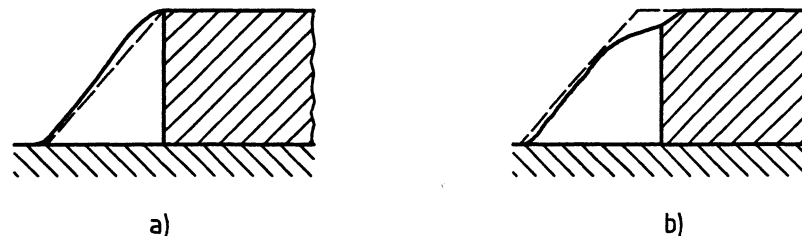
Valmistuksen, kuljetuksen ja asennuksen aiheuttamat jännitykset on otettava huomioon erityisesti sellaisissa pienahitseissä, jotka on suunniteltu kestäämään ainoastaan pieniä rasituksia käytön aikana.

B.4 Tulppahitsit

Jotta tulppahitsien hitsaus olisi mahdollista, tehtävän reiän halkaisija tai kolon leveys ei saisi olla pienempi kuin suurempi arvoista kolme kertaa aineenpaksuus tai 25 mm. Kolojen päät pitäisi pyöristää vähintään säteelle, joka on suurempi arvoista 1,5 kertaa aineenpaksuus tai 12 mm. Tulpparailon reunan etäisyys osan reunasta tai tulpparailojen reunojen etäisyys toisistaan ei pitäisi olla vähempää kuin kaksi kertaa aineenpaksuus eikä vähempää kuin 25 mm rei'ille (ks. myös kohta 9).

For fillet welded joints carrying a compressive load, it should not be assumed that the parts joined are in contact under the joint. For critical applications the use of a partial or even a full penetration butt weld should be considered.

Where the specified leg length of a fillet weld, at the edge of a plate or section, is such that the parent metal does not project beyond the weld, melting of the outer corner or corners, which reduces the throat thickness, is not allowed (see figure B.2).



- a) Desirable
- b) Not acceptable because of reduced throat thickness

Figure B.2 Fillet welds applied to the edge of a part

A single fillet weld should not be subjected to a bending moment about the longitudinal axis of the joint which would cause the root of the weld to be in tension.

Fillet welds connecting parts, where the fusion faces form an angle of more than 120° or less than 60°, should not be relied upon to transmit calculated loads at the full working stresses unless permitted to do so by the application standard.

The design throat thickness of a flat or convex fillet weld connecting parts, where the fusion faces form an angle between 60° and 120°, can be derived by multiplying the leg length by the appropriate factor as given in table B.1.

Table B.1 Factors for deriving design throat thickness of flat or convex fillet welds based on leg angle

Angle between fusion faces (degrees)	Factor
60 to 90	0,7
91 to 100	0,65
101 to 106	0,60
107 to 113	0,55
114 to 120	0,50

Due account should be taken of fabrication, transport, and erection stresses particularly for those fillet welds which have been designed to carry only a light load during service.

B.4 Holes and slots

In order to provide access for welding, the diameter of a hole or the width of a slot should be not less than three times the material thickness or 25 mm, whichever is the greater. Ends of slots should be rounded with a radius or not less than 1,5 times the material thickness or 12 mm whichever is the greater. The distance between the edge of the part and the edge of the hole or slot, or between the adjacent slots or holes, should be not less than twice the thickness and not less than 25 mm for holes (see also clause 9).

Liite C

(opastava)

Vetyhalkeilun (usein kutsuttu myös kylmähalkeamaksi) estäminen

C.1 Yleistä

Tämä liite antaa suositukset keinoista, joilla voidaan estää vetyhalkeilu.

Tämän liitteen valmistelussa otettiin huomioon, että on olemassa monia tapoja esikumennuksen määrittämiseen vetyhalkeilun estämiseksi seostamattomien terästen, hienoraeterästen ja niukkaseosteisten terästen hitsausliitoksissa. Näitä tapoja on esitelty esimerkiksi IIW-dokumenteissa IX-1602-90 ja IX-1631-91. Tähän liitteeseen on otettu kaksi tällaista tapaa, tapa A ja tapa B. Tapa A kohdassa C.2 perustuu laajaan kokemukseen ja tulosaineistoon, joka koskee pääosiltaan hiilimanganiteräksiä, vaikkakaan ei pelkästään. Tapa B kohdassa C.3 perustuu puolestaan kokemukseen ja tulosaineistoon, joka koskee pääosiltaan niukkaseosteisia lujia teräksiä, vaikkakaan ei pelkästään. Tätä eroa menetelmien kehittämisessä voidaan käyttää ohjeena niiden käyttökohteille.

Kohdassa C.4 esitettyä tapaa pitää käyttää kuumalujille teräksille ja matalien käyttölämpötilojen teräksille.

Suositukset soveltuvat ainoastaan valmistukseen, jossa vallitsee normaalit jäykkyysolosuhteet. Jos jäykkyysolosuhteet ovat suuremmat, tarvittava esikumennus voi olla korkeampi tai voidaan tarvita muita toimenpiteitä estämään vetyhalkeilua.

Kohdat C.2 ja C.3 pätevät silloin, kun perusaineen lämpötila on yli 0 °C. Kun hitsausta tehdään tämän lämpötilan alapuolella, voidaan tarvita erityistoimenpiteitä.

Tässä liitteessä esitetyille tavoille vaihtoehtoisia tapoja, jotka antavat esim. matalampia esikumennuslämpötiloja, voidaan käyttää, jos niiden toimivuudesta on näyttöä. Näytön arvioinnissa pitäisi ottaa huomioon kaikki tässä liitteessä mainitut tekijät.

C.2 Tapa A vetyhalkeilun estämiseksi seostamattomien terästen, hienoraeterästen ja niukkaseosteisten terästen hitsauksessa

C.2.1 Perusaine

Kohta C.2 käsittää seostamattomat teräkset, hienoraeteräkset ja niukkaseosteiset teräkset, joiden kemiallisille koostumuksille ovat seuraavat pätevyysrajat:

— hiili:	0,05...0,25 %
— pii:	max 0,8 %
— mangaani:	max 1,7 %
— kromi:	max 0,9 %
— kupari:	max 1,0 %
— nikkeli:	max 2,5 %
— molybdeeni:	max 0,75 %
— vanadiini:	max 0,20 %

Turvallinen ja samalla taloudellinen esikumennuslämpötila vetyhalkeilun estämiseksi riippuu erityisesti siitä, miten tarkasti perusaineen koostumus ja hiiliekvivalentti CE tiedetään, sekä lisäksi hitsiaineen koostumuksesta (ks. kohta C.2.9).

Perusaineen hiiliekvivalentti (CE) lasketaan seuraavan kaavan avulla:

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \quad (\%) \quad (C.1)$$

Kohta C.2 soveltuu teräksille, joiden hiiliekvivalentti (CE) on alueella 0,30...0,70.

Annex C

(informative)

Avoidance of hydrogen cracking (also known as cold cracking)

C.1 General

This annex gives recommendations for the avoidance of hydrogen cracking.

In preparing this annex, full account was taken of the fact that many methods have been proposed for predicting preheat temperatures to avoid hydrogen cracking in non-alloyed, fine grained and low alloy steel weldments. Examples are given in IIW documents IX-1602-90 and IX-1631-91. Two methods are included in this annex as C.2 and C.3. Method A given in C.2 is based on extensive experience and data which is mainly, but not exclusively, for carbon manganese type steels. Method B given in C.3 is based on experience and data which is mainly, but not exclusively, for low alloy high strength steels. The differences in origin and experience used to develop these two methods can be used as a guide as to their application.

The method described under C.4 shall be used for creep resisting and low temperature steels.

The recommendations apply only to normal fabrication restraint conditions. Higher restraint situations may need higher preheat temperature or other precautions to prevent hydrogen cracking.

Clauses C.2 and C.3 refer to welding of parent metal at temperatures above 0 °C. When welding is carried out below this temperature it is possible that special requirements will be needed.

Alternative procedures to those derived from this annex may be used, for example lower preheat temperatures, provided they are supported by evidence of their effectiveness. The evidence should include all the factors also considered for the welding procedures as given in this annex.

C.2 Method A for the avoidance of hydrogen cracking in non-alloyed, fine grained and low alloy steels

C.2.1 Parent metal

Clause C.2 covers non-alloyed, fine grained and low alloy steels.

The range of chemical composition in percentage by weight of the main alloy constituents is:

— Carbon	0,05 to 0,25
— Silicon	0,8 max.
— Manganese	1,7 max.
— Chromium	0,9 max.
— Copper	1,0 max.
— Nickel	2,5 max.
— Molybdenum	0,75 max.
— Vanadium	0,20 max.

The determination of safe, but economic, preheating levels for the prevention of hydrogen cracking is critically dependent on an accurate knowledge of parent metal composition and carbon equivalent, *CE*, and on the weld metal composition (see C.2.9).

Carbon equivalent (*CE*) values for parent material are calculated using the following formula:

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \text{ in } \% \quad (C.1)$$

Clause C.2 is applicable to steels with a carbon equivalent (*CE*) in the range 0,30 to 0,70.

Jos tämän kaavan seosaineista ainoastaan hiili ja mangaani on annettu hiili- ja hiilimanganiterästen sulatustodistuksessa, laskettuun arvoon on lisättävä 0,03, joka ottaa huomioon lisäksi jäännösaineet. Jos hitsataan toisiinsa teräksiä, joilla on erilaiset hiilielkvivalenttien arvot, tai eri teräslajeja, käytetään korkeinta hiilielkvivalentin arvoa.

Tämä hiilielkvivalentin laskentakaava ei sovellu booriseosteisille teräksille.

C.2.2 Vetyhalkeiluun vaikuttavat tekijät

Vetyhalkeiluun vaikuttaa monta tekijää: teräksen koostumus, hitsausmenetelmä, hitsauslisäaine ja jännitykset. Jos aika $t_{8/5}$ (jäähtymisaika lämpötilavälillä 800...500 °C) on hitsauksessa liian lyhyt, muutosvyöhykkeellä voi tapahtua liiallista karkenemista. Jos vetyä on liian paljon, halkeamia voi syntyä spontaanisti karenneelle vyöhykkeelle jäännösjännitysten vaikutuksen alaisena, kun hitsi on jäähtynyt lähelle huoneenlämpötilaa. Hitsausolosuhteet voidaan halkeilun estämiseksi valita niin, että muutosvyöhyke jäähtyy riittävän hitaasti ja hitsipalon koko on riittävä suhteessa aineenpaksuuteen sekä, jos tarpeen, että käytetään esikuumennusta ja valvotaan välipalkolämpötilaa. Vetyhalkeilun estämiseksi voidaan edellisen lisäksi myös hidastaa jäähtymisnopeutta jäähtymisen loppuvaiheessa lämpötilavälillä 300...100 °C, mikä edistää vedyn poistumista liitoksesta. Tähän tarkoitukseen voidaan käyttää hitsauksen loputtua jälkikuumennusta (vedynpoistokuumennusta) lämpötilassa, joka on yleensä sama kuin esikuumennuslämpötila.

Hitsin vetypitoisuutta voidaan pienentää käyttämällä vetykontrolloituja hitsausprosesseja ja hitsauslisäaineita sekä tiettyyn rajaan saakka käyttämällä myös edellä mainittua jälkikuumennusta.

Nämä samat asiat soveltuvat myös vetyhalkeilun estämiseen hitsiaineessa, jossa vaikka karkeneminen on yleensä pienempää, niin vetypitoisuus korkeampi ja jännitykset todennäköisesti korkeampia kuin muutosvyöhykkeessä. Yleensä hitsausmenetelmän valinta niin, että estetään vetyhalkeilu muutosvyöhykkeellä, riittää estämään vetyhalkeilun myös hitsiaineessa. Kuitenkin tietyissä olosuhteissa, kuten hyvin jäykät olosuhteet, matalahiilielkvivalenttinen teräs, suuret aineenpaksuudet tai niukkaseosteinen hitsiaine, vetyhalkeilu hitsiaineessa voi tulla hallitsevaksi.

Tehokkain keino estää vetyhalkeilu on vähentää vedyn tuontia lisäaineesta hitsiaineeseen. Taulukossa C.1 on annettu esimerkkejä, miten eri tekijöillä voidaan vaikuttaa niin, että esikuumennusta ei tarvita. Erityisesti siinä on huomioitava niukka-vetyisen lisäaineen käytön edut.

Taulukko C.1 Esimerkkejä yhdistetyistä aineenpaksuuksista (ks. kohta C.2.4), jotka voidaan hitsata ilman esikuumennusta

Hitsiaineen vetypitoisuus ^a (ml/100 g)	Suurin yhdistetty aineenpaksuus			
	CE: 0,49		CE: 0,43	
	Lämmöntuonti: 1,0 kJ/mm		Lämmöntuonti: 1,0 kJ/mm	
		2,0 kJ/mm		2,0 kJ/mm
	mm	mm	mm	mm
> 15	25	50	40	80
10 ≤ 15	30	55	50	90
5 ≤ 10	35	65	60	100
3 ≤ 5	50	100	100	100
≤ 3	60	100	100	100

^a Mitattu standardin ISO 3690 mukaan.

Hitsausolosuhteet, joilla estetään vetyhalkeilu hiilimanganiteräksissä, on esitetty graafisessa muodossa kuvassa C.2 ilmaistuna hiilielkvivalentin avulla teräksille, joita tämä standardi koskee. Nämä olosuhteet soveltuvat kaiken tyyppisille liitoksille, jos se on käytännössä vain mahdollista.

If, of the elements in this formula, only carbon and manganese are stated on the mill sheet for carbon and carbon manganese steels, then 0,03 should be added to the calculated value to allow for residual elements. Where steels of different carbon equivalent or grade are being joined, the higher carbon equivalent value should be used.

This carbon equivalent formula may not be suitable for boron-containing steels.

C.2.2 Factors affecting cracking

The occurrence of hydrogen cracking depends on a number of factors; composition of the steel, the welding procedure, welding consumables and the stress involved. If the $t_{8/5}$ time (cooling time from 800 °C to 500 °C) associated with welding is too short, excessive hardening can occur in the heat affected zone. When the hydrogen in the weld is above a critical level the hardened zone can crack spontaneously under the influence of residual stress after the weld has cooled to near ambient temperature. Welding conditions may be selected to avoid cracking by ensuring that the heat affected zone cools sufficiently slowly, by control of weld run dimensions in relation to metal thickness, and if necessary, by applying preheat and controlling interpass temperature. Procedures for avoiding hydrogen cracking, as well as selecting cooling times through the transformation temperature range to avoid hardened and susceptible microstructures, may involve controlling cooling in the lower temperature part of the thermal cycle, typically from 300 °C to 100 °C, thereby beneficially influencing the evolution of hydrogen from the welded joint. In particular, this can be achieved by the application of a post heat on completion of welding which is typically a maintenance of the preheat temperature.

The hydrogen content of the weld can be controlled by using hydrogen controlled welding processes and consumables, and also to some extent, by the application of post-heat as described previously.

Similar considerations apply to hydrogen cracking in the weld metal, where although hardening will be on a reduced scale, actual hydrogen and stress levels are likely to be higher than in the heat affected zone. In general, welding procedures selected to avoid heat affected zone hydrogen cracking will also avoid cracking in the weld metal. However, under some conditions such as high restraint, low CE steels, thick sections, or alloyed weld metal, weld metal hydrogen cracking can become the dominant mechanism.

The most effective assurance of avoiding hydrogen cracking is to reduce the hydrogen input to the weld metal from the welding consumables. The benefits resulting from a growing number of possibilities where no preheat temperature > 20 °C is required, can – as shown by examples in table C.1 – be increased by using filler materials with lower hydrogen content.

Table C.1 Examples of maximum combined thickness (see C.2.4) weldable without preheat

Diffusible hydrogen content ^a ml/100 g of deposited metal	Maximum combined thickness			
	CE of 0,49		CE of 0,43	
	Heat input:		Heat input:	
	1,0 kJ/mm	2,0 kJ/mm	1,0 kJ/mm	2,0 kJ/mm
	mm	mm	mm	mm
> 15	25	50	40	80
10 ≤ 15	30	55	50	90
5 ≤ 10	35	65	60	100
3 ≤ 5	50	100	100	100
≤ 3	60	100	100	100

^a Measured in accordance with ISO 3690.

Welding conditions for avoiding hydrogen cracking in carbon manganese steels have been drawn up in graphical form in figure C.2 for the normal range of compositions, expressed as carbon equivalent, covered by this standard and these conditions should be followed for all types of joint whenever practicable.

Olosuhteet ottavat huomioon myös erot käyttäytymisessä erilaisten terästen kesken, joilla on sama hiilikvivalentti, sekä normaalit erot sulatus- ja tuoteanalyysien kesken. Ne pätevät sekä muutosvyöhykkeelle että hitsiaineelle valtaosassa hitsauslaitteita (ks. myös kohta C.2.9).

C.2.3 Hitsauslisäaineiden vetypitoisuus

C.2.3.1 Yleistä

Valmistajan olisi kyettävä osoittamaan, että hän on käyttänyt hitsauslisäaineita lisäainevalmistajan suositusten mukaisesti ja että lisäaineet on varastoitu ja kuivattu asiaankuuluvalla tavalla.

C.2.3.2 Vetyasteikot

Käytettävä vetyasteikko riippuu periaatteessa hitsiaineen diffundoituvan vedyn määrästä. Vetyasteikot on annettu taulukossa C.2. Arvojen pitää olla lisäainevalmistajan antaman tiedon mukaiset määritettynä asiaankuuluvan standardin mukaan, jos sellainen on olemassa, yhdessä lisäaineiden toimitusolosuhteiden ja käsittelyjen kanssa.

Taulukko C.2 Vetyasteikot

Hitsiaineen vetypitoisuus ml/100 g	Vetyasteikko
> 15	A
$10 \leq 15$	B
$5 \leq 10$	C
$3 \leq 5$	D
≤ 3	E

C.2.3.3 Vetyasteikon valinta

Seuraavassa annetaan yleiset ohjeet vetyasteikon valintaa varten eri hitsausprosesseilla ja lisäaineilla.

Emäspäälysteisille hitsauspuikoille voidaan käyttää asteikkoja B...D, mikä riippuu tarkemmin lisäainevalmistajan luokittelusta lisäaineelle. Rutiili- ja selluloosapäälysteisille puikoille käytetään asteikkoa A.

Täytelangoille voidaan käyttää asteikkoja B...D, mikä riippuu tarkemmin myös lisäainevalmistajan luokittelusta lisäaineelle. Jauhekaarihitsauksen jauhe-lankayhdistelmille voidaan käyttää asteikkoja B...D, joista tyypillisin on C. Asteikon valinnassa on tarve arvioida erikseen kyseinen yhdistelmä. Lisäainevalmistaja voi luokitella myös jauheen, mutta tämä ei välttämättä takaa, että kyseinen jauhe-lankayhdistelmä täyttää saman luokittelun.

MIG/MAG-hitsauksen umpilangoille ja TIG-hitsauksen langoille voidaan käyttää asteikkoa D, ellei tuote ole erityisesti arvioitu täyttävän asteikon E vaatimuksen. Asteikko E voi soveltua myös joillekin täytelangoille ja emäspäälysteisille puikoille, mikä vaatii kuitenkin erityistä arviointia. Näin matalien vetypitoisuuksien kohdalla on otettava huomioon myös suojakaasun ja atmosfääriin kosteuden vaikutus vetypitoisuuteen.

Plasmahitsaukselle vaaditaan erityistä arviointia.

C.2.4 Yhdistetty aineenpaksuus

Yhdistetty aineenpaksuus on perusaineiden aineenpaksuuksien summa, jossa aineenpaksuudella tarkoitetaan keskimääräistä aineenpaksuutta 75 mm:n matkalla hitsin keskilinjasta (ks. kuva C.1).

Yhdistettyä aineenpaksuutta käytetään lämmönjohtumisen tarkasteluun ja jäähtymisnopeuden määrittämiseen.

The conditions have been drawn up to take account of differences in behaviour between different steels of the same carbon equivalent (making allowances for scatter in hardness) and of normal variations between ladle and product analysis. They are valid for the avoidance of both heat-affected zone and weld metal cracking in the majority of welding situations (see also C.2.9).

C.2.3 Hydrogen content of welding consumables

C.2.3.1 General

The manufacturer should be able to demonstrate that he has used the consumables in the manner recommended by the consumable manufacturer and that the consumables have been stored and dried or baked to the appropriate temperature levels and times.

C.2.3.2 Hydrogen scales

The hydrogen scale to be used for any arc welding process depends principally on the weld diffusible hydrogen content and should be as given in table C.2. The value used should be stated by the consumable manufacturer in accordance with the relevant standard where it exists (or as independently determined) in conjunction with a specified condition of supply and treatment.

Table C.2 Hydrogen scales

Diffusible hydrogen content ml/100 g of deposited metal	Hydrogen scale
> 15	A
$10 \leq 15$	B
$5 \leq 10$	C
$3 \leq 5$	D
≤ 3	E

C.2.3.3 Selection of hydrogen scales

The following gives general guidance on the selection of the appropriate hydrogen scale for various welding processes.

Manual metal-arc basic covered electrodes can be used with scales B to D depending on the electrode manufacturer's classification of the consumable. Manual metal-arc rutile or cellulosic electrodes should be used with scale A.

Flux-cored or metal-cored consumables can be used with scales B to D depending on the manufacturer's classification of the wire. Submerged arc wire and flux consumable combinations can have hydrogen levels corresponding to scales B to D, although most typically these will be scale C but therefore need assessing in the case of each named product combination and condition. Submerged arc fluxes can be classified by the manufacturer but this does not necessarily confirm that a practical flux/wire combination also meets the same classification.

Solid wires for gas-shielded arc welding and for TIG welding may be used with scale D unless specifically assessed and shown to meet scale E. Scale E may also be found to be appropriate for some cored wires and some manual metal-arc basic covered electrodes, but only after specific assessment. On achieving these low levels of hydrogen, consideration should be given to the contribution of hydrogen from the shielding gas composition and atmospheric humidity from welding.

For plasma arc welding, specific assessment should be made.

C.2.4 Combined thickness

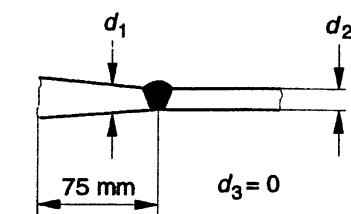
Combined thickness should be determined as the sum of the parent metal thicknesses averaged over a distance of 75 mm from the weld line (see figure C.1).

Combined thickness is used to assess the heat sink of a joint for the purpose of determining the cooling rate.

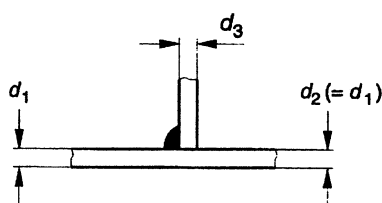
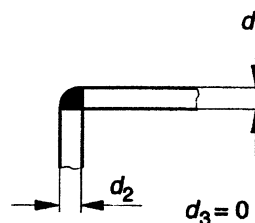
Jos aineenpaksuus kasvaa voimakkaasti juuri 75 mm:n jälkeen, voi olla tarpeen käyttää suurempaa yhdistetyn aineenpaksuuden arvoa.

Esikumennuslämpötila on korkeampi pienahitsille kuin päittäishitsille, vaikka aineenpaksuudet ovat samat, koska yhdistetty aineenpaksuus pienahitsissä on suurempi ja siten myös jäähtymisnopeus suurempi.

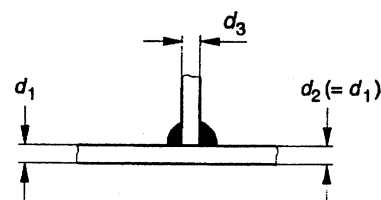
d_1 = keskimääräinen aineenpaksuus 75 mm:n matkalla



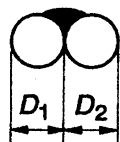
Mitat (mm)



Yhdistetty aineenpaksuus samanaikaisesti hitsatulle kaksoispienahitsille
 $= \frac{1}{2} (d_1 + d_2 + d_3)$



Yhdistetty aineenpaksuus = $d_1 + d_2 + d_3$



Yhdistetty aineenpaksuus = $\frac{1}{2} (D_1 + D_2)$

Halkaisija: max 40 mm

Normaalia pienempi lämmönjohtuminen, ks. kohta C.2.10b.

Kuva C.1 Yhdistetyn aineenpaksuuden määrittäminen

C.2.5 Esikumennuslämpötila

Käytettävä esikumennuslämpötila saadaan kuvista C.2a)...m) lämmöntuonnin ja yhdistetyn aineenpaksuuden leikkauspisteen yläpuolelta tai vasemmalta puolelta.

C.2.6 Välipalkolämpötila

Monipalkohitseissa käytetään yleensä suositeltavana vähimmäisvälipalkolämpötilana esikumennuslämpötilaa. Monipalkohitseissa välipalkolämpötila voi kuitenkin olla matalampi kuin esikumennuslämpötila, jos lämmöntuonti on seuraavien palkojen hitsauksessa korkeampi kuin pohjapalon hitsauksessa. Näissä tapauksissa välipalkolämpötila pitäisi määrittää kuvasta C.2a)...m) käyttäen tätä korkeampaa lämmöntuonnin arvoa. Suositukset välipalkolämpötiloiksi kuumalujien terästen ja matalien käyttölämpötilojen terästen hitsauksessa annetaan taulukoissa C.5 ja C.6.

C.2.7 Lämmöntuonti

Lämmöntuonti (kJ/mm) lasketaan kuvaa C.2 varten tämän standardin kohdan 15 ja standardin EN 1011-1:1998 mukaan.

C.2.8 Vetytitoisuuden alentaminen jälkikumennuksella

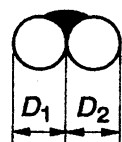
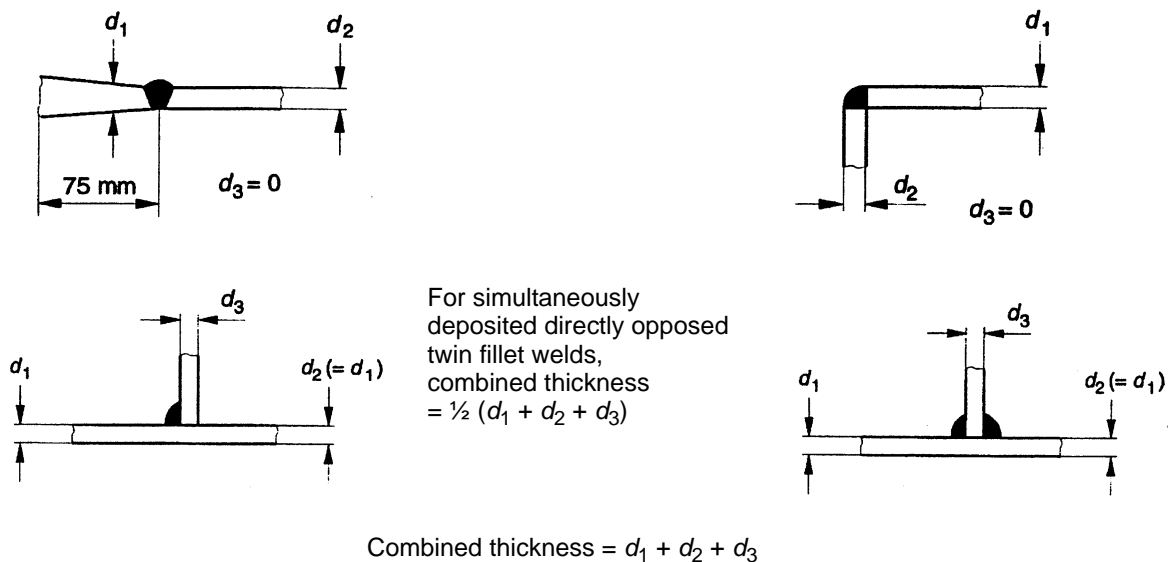
Kun vetyhalkeiluriski on suuri, vedyn poistumista liitoksesta voidaan lisätä pitämällä vähimmäisvälipalkolämpötilaa yllä tai nostamalla lämpötilaan 200...300 °C välittömästi hitsauksen jälkeen ennen kuin hitsin alue jäähtyy alle vähimmäisvälipal-

If the thickness increases greatly just beyond 75 mm from the weld line, it may be necessary to use a higher combined thickness value.

For the same metal thickness, the preheating temperature is higher in a fillet weld than in a butt weld because the combined thickness, and therefore the heat sink, is greater.

d_1 = average thickness over a length of 75 mm

Dimensions in millimetres



Combined thickness = $\frac{1}{2} (D_1 + D_2)$

Maximum diameter 40 mm

The limited heat sink has to be considered (see C.2.10b).

Figure C.1 Examples for the determination of combined thickness

C.2.5 Preheat temperature

The preheating temperature to be used should be obtained from figure C.2 a) to m) by reading the preheat line immediately above or to the left of the co-ordinated point for heat input and combined thickness.

C.2.6 Interpass temperature

The minimum recommended interpass temperature is frequently used as the preheat temperature for multi-run welds. However, multi-run welds may have a lower permitted interpass temperature than the preheat temperature where subsequent runs are of higher heat input than the root run. In these cases the interpass temperature should be determined from figure C.2 a) to m) for the larger run. Recommendations relating to maximum interpass temperature for creep resisting and low temperature steels are given in table C.5 and table C.6.

C.2.7 Heat input

Heat input values (in kJ/mm) for use with figure C.2 should be calculated in accordance with EN 1011-1:1998 and clause 15.

C.2.8 Hydrogen reduction by post-heating

When there is a higher risk of cold cracking, hydrogen release should be accelerated by either maintaining the minimum interpass temperature or raising the temperature to 200 °C to 300 °C immediately after welding and before the weld region

kolämpötilan. Jälkikuumennuksen kestoaika pitäisi olla vähintään 2 tuntia. Aika riippuu aineenpaksuudesta. Suuret aineenpaksuudet vaativat pitolämpötilan lämpötila-alueen yläpäästä ja myös pitemmän pitoajan.

Jälkikuumennusta voidaan soveltaa myös osittain täyteen hitsatuille pienahitseille, jotka joudutaan välillä antamaan jäähtymään.

C.2.9 Tiukennuksia vaativat olosuhteet

Kuvasta C.2 saatavien esikuumennuslämpötilojen on havaittu käytännössä antavan hyvän perustan turvalliselle hitsausohjeelle monissa rakenteissa. Vetyhalkeiluun vaikuttavat kuitenkin monet tekijät, jotka voivat joskus vaikuttaa voimakkaammin kuin kuvissa C.2a)...m). Seuraavat kappaleet käsittelevät joitakin tekijöitä, jotka voivat lisätä vetyhalkeiluriskiä enemmän kuin kuvassa C.2 on oletettu. Tällä hetkellä ei ole vielä mahdollista esittää kvantitatiivisesti tekijöitä, jotka voivat aiheuttaa muutoksia menetelmään. Tästä syystä seuraavia kappaleita on tarkasteltava ainoastaan opastavina.

Liitoksen jäykkyys on monimutkainen tekijä, johon vaikuttavat aineenpaksuus, railomuoto, liitosgeometria ja rakenteen jäykkyys. Kun aineenpaksuus on yli 50 mm tai kun hitsataan pohjapalkoja K-railoihin, voi olla tarpeen tehdä tiukennuksia ohjeeseen.

Tietyt ohjeet eivät ole välttämättä riittäviä estämään vetyhalkeilua hitsiaineessa, kun hitsataan teräksiä, joiden hiiliekvivalentti on matala. Tämä koskee erityisesti tilanteita, joissa aineenpaksuus on suuri (ts. yli noin 50 mm) ja lämmöntuonti on suuri.

Lujien ja seostettujen lisäaineiden tai hiilimanganiseosteisen lisäaineen, jossa mangaanipitoisuus on yli noin 1,5 %, käyttö voi johtaa suuriin jäännösjännityksiin. Tällaisten lisäaineiden hitsiaineet tulevat yleensä kovemmiksi ja halkeiluaremmiksi kuin perusaine.

Kokemus ja tutkimus ovat osoittaneet, että sulkeumapitoisuuden alentaminen teräksessä pienentämällä rikkipitoisuutta (mutta myös happipitoisuutta), voi lisätä teräksen karkenevuutta. Tämä voi käytännössä lisätä muutosvyöhykkeen kovuutta ja mahdollisesti myös hieman sen vetyhalkeiluriskiä. Tämän tarkka kvantitatiivinen esittäminen ei ole kuitenkaan vielä mahdollista.

Vaikka tarvittavat muutokset menetelmään edellä mainituissa hitseissä voidaan periaatteessa saada lämmöntuonnin, esikuumennuksen tai muiden vaikuttavien tekijöiden avulla, tehokkain tapa on kuitenkin alentaa vetypitoisuutta hitsiaineessa. Tämä voidaan saada aikaan joko suoraan alentamalla tuotua vetymäärää (käyttämällä niukkavetyisempää hitsausprosessia tai lisäainetta) tai lisäämällä vedyn poistumista hitsistä jälkikuumennuksen avulla hitsauksen jälkeen. Jälkikuumennusaika riippuu monesta tekijästä, mutta aika 2...3 tuntia on edullinen monissa tapauksissa. Lisäksi on suositeltavaa, että ohjeeseen tehtävät muutokset perustuisivat simulointikokeisiin.

C.2.10 Helpotuksia

Hitsausmenetelmään tehtävät helpotukset ovat sallittuja seuraavilla ehdoilla:

a) Yleinen esikuumennus

Jos esikuumennus tehdään koko kappaleelle tai yli kaksi kertaa laajemmalle alueelle kuin kohdassa 12 on määritetty, on yleensä mahdollista alentaa esikuumennuslämpötilaa tietyllä määrällä.

b) Lämmönjohtuminen rajoitettu

Jos lämmönjohtuminen on rajoitettu yhteen tai useampaan suuntaan (esim. lyhin lämmönjohtumisreitti on vähemmän kuin 10 kertaa pienahitsin kylkimitta) erityisesti paksuissa levyissä (esim. päällekkäisliitoksessa, jossa alalevyn ulkoneuma on vain hieman suurempi kuin pienahitsin kylkimitta), on mahdollista käyttää matalampaa esikuumennuslämpötilaa.

cools to below the minimum interpass temperature. The duration of post-heating should be at least 2 h and is a function of the thickness. Large thicknesses require temperatures at the upper end of the stated range as well as prolonged post-heating times.

Post-heating is also appropriate where a partially filled weld cross-section is to be cooled.

C.2.9 Conditions which may require more stringent procedures

The preheating conditions presented in figure C.2 have been found from experience to provide a satisfactory basis for deriving safe welding procedures for many welded fabrications. However, the risk of hydrogen cracking is influenced by several parameters and these can sometimes exert an adverse influence greater than accounted for in figure C.2 a) to m). The following paragraphs cover some factors which can increase the risk of cracking above that envisaged in drawing up the data in figure C.2. Precise quantification of the effects of these factors on the need for a more stringent procedure and on the change to the welding procedure required to avoid cracking cannot be made at the present time. The following factors should therefore be considered for guidance only.

Joint restraint is a complex function of section thickness, weld preparation, joint geometry, and the stiffness of the fabrication. Welds made in section thicknesses above approximately 50 mm and root runs in double bevel butt joints may require more stringent procedures.

Certain welding procedures may not be adequate for avoiding weld metal hydrogen cracking when welding steels of low carbon equivalent. This is more likely to be the case when welding thick sections (i.e. greater than about 50 mm) and with higher heat inputs.

The use of higher strength alloyed weld metal or carbon manganese weld metal with a manganese content above approximately 1,5 % can lead to higher operative stresses. Whether or not this causes an increased risk of heat-affected zone cracking, the weld deposit would generally be harder and more susceptible to cracking itself.

Experience and research has indicated that lowering the inclusion content of the steel, principally by lowering the sulfur content (but also the oxygen content) can increase the hardenability of the steel. From a practical point of view this effect can result in an increase in the hardness of the heat-affected zone, and possibly a small increase in the risk of heat-affected zone hydrogen cracking. Accurate quantification of the effect is presently not practicable.

Although modifications to the procedures to deal with welds involving the above factors can, in principle, be obtained through a change in heat input, preheating or other influencing factors, the most effective modification is to lower the weld hydrogen level. This can be done either directly, by lowering the weld hydrogen input to the weld (use of lower hydrogen welding processes or consumables), or by increasing hydrogen loss from the weld by diffusion through the use of higher post-heat for a period of time after welding. The required post-heat time will depend on many factors, but a period of 2 h to 3 h has been found to be beneficial in many instances. It is recommended that the required modifications to the procedures be derived by the use of adequate joint simulation weld testing.

C.2.10 Relaxations

Relaxations of the welding procedures may be permissible under the following conditions:

a) General preheating

If the whole component or a width more than twice that stated in clause 12 is preheated, it is generally possible to reduce the preheating temperature by a limited amount;

b) Limited heat sink

If the heat sink is limited in one or more directions (e.g. when the shortest heat path is less than 10 times the fillet leg length) especially in the thicker plate (e.g. in the case of a lap joint where the outstand is only marginally greater than the fillet weld leg length), it is possible to reduce preheating levels;

c) Austeniittinen lisäaine

Kun riittävä esikuumennus halkeamien estämiseksi on vaikea tehdä käytännössä, voidaan käyttää tiettyjä austeniittisia tai nikkelivaltaisia lisäaineita. Tällaisissa tilanteissa esikuumennus ei ole aina tarpeellinen, erityisesti jos hitsiaineen vetyttöisyys on hyvin matala.

d) Hitsaussovite

Jos pienarailojen sovitus on sellainen, että ilmarako railopintojen välissä on alle 0,5 mm, voi olla mahdollista tehdä helpotuksia hitsausmenetelmään.

C.2.11 Yksinkertaistetut hitsausolosuhteet puikkohitsaukseen

Jos suunnitelmassa on määritetty yksipalkoiselle pienahitsille vähimmäiskateettimitta, likimääräinen lämmöntuonti voidaan määrittää taulukosta C.3 esikuumennuksen määrittämistä varten kuvan C.2 avulla.

Nämä arvot soveltuvat käytännön tilanteisiin, kun valmistajan pitää tehdä kateettimitaltaan määrätyn kokoisia yksipalkoisia pienahitsejä. Käytännössä kateettimitta tulee suuremmaksi kuin vähimmäismitta, esim. alapienahitsissä, mistä syystä ei ole asianmukaista näiden hitsien suora muuntaminen *a*-mitoiksi.

Muissa tapauksissa lämmöntuontia säädellään hitsatun palkopituuden (ks. taulukko C.4) tai suoraan hitsausparametrien avulla.

Taulukko C.3 Lämmöntuonti yksipalkoisten pienahitsien puikkohitsauksessa

Vähimmäiskateettimitta mm	Lämmöntuonti puikkojen eri päällystetyypeillä ^a ja riittoisuuksilla		
	R ja RR < 110 % kJ/mm	B < 130 % kJ/mm	R ja RR > 130 % kJ/mm
4	0,8	1,0	–
5	1,1	1,4	0,6
6	1,6	1,8	0,9
8	2,2	2,7	1,3

^a Päällystetyypit standardin EN 499 mukaan.

c) Austenitic consumables

In some circumstances where sufficient preheating to ensure crack-free welds is impracticable an advantage can be gained by using certain austenitic or high nickel alloy consumables. In such cases preheat is not always necessary, especially if the condition of the consumable is such as to deposit weld metal containing very low levels of hydrogen;

d) Joint fit up

Close fit fillet welds (where the gap is 0,5 mm or less) may justify relaxations in the welding procedure.

C.2.11 Simplified conditions for manual metal-arc welding

Where single run minimum leg length fillet welds are specified in the design, table C.3 can be used to determine the approximate heat input values for use in determining preheat temperatures from figure C.2.

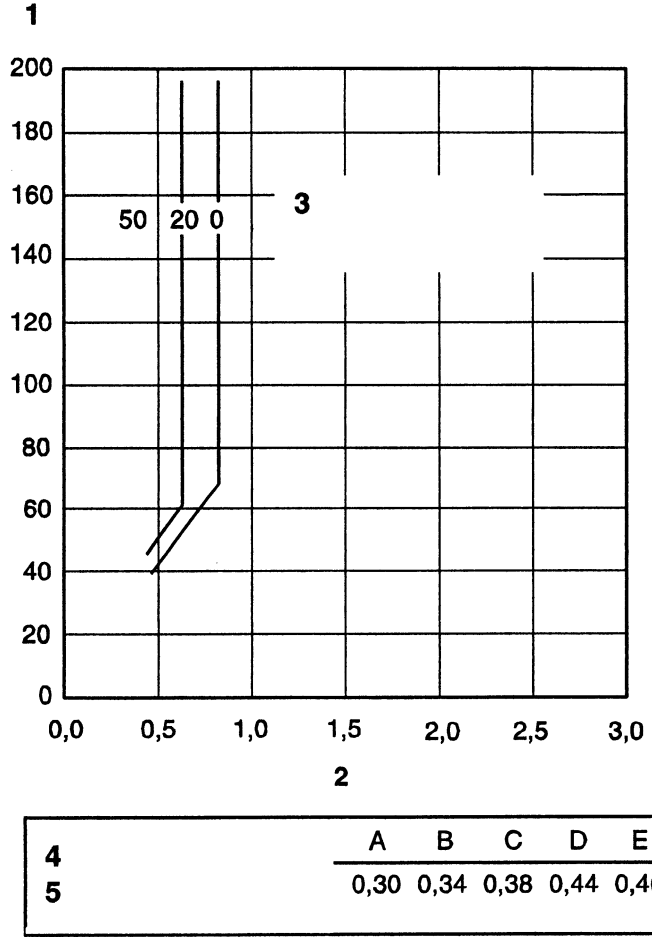
These values are appropriate for practical situations when a manufacturer is required to make single run fillet welds of specified dimensions related to the minimum leg length of the fillet welds. In practice, one leg will be longer than the minimum, as for example in a horizontal-vertical fillet weld and the data is therefore not appropriate for direct conversion to welds of specified throat dimension.

In other cases heat input should be controlled by control of electrode run out length (see table C.4) or directly through welding parameters.

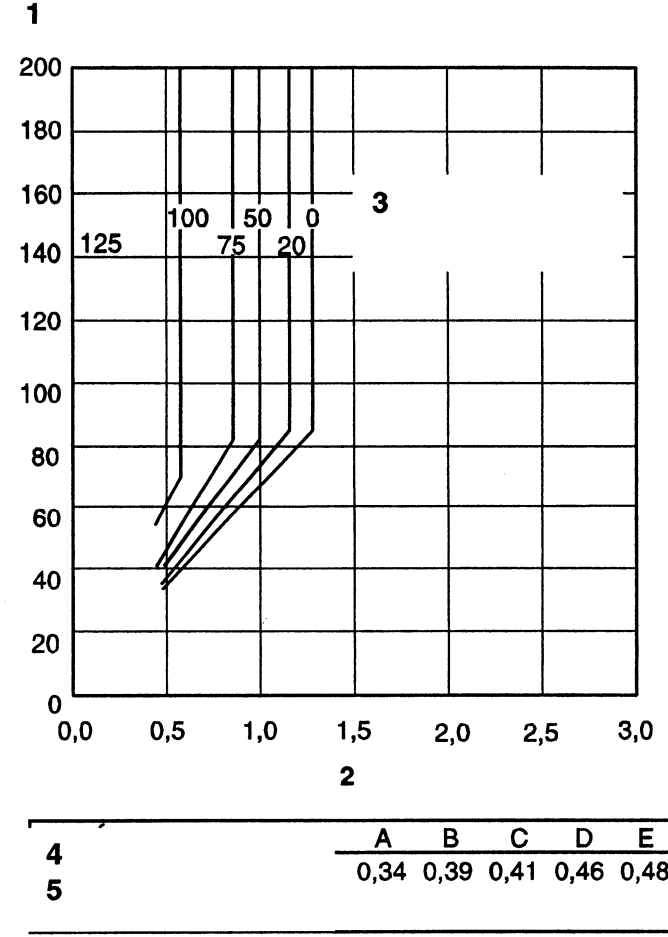
Table C.3 Values of heat input for manual metal-arc welding of single run fillet welds

Minimum leg length mm	Heat input for electrodes with different covering types ^a and electrode efficiencies		
	R and RR < 110 % kJ/mm	B < 130 % kJ/mm	R and RR > 130 % kJ/mm
4	0,8	1,0	–
5	1,1	1,4	0,6
6	1,6	1,8	0,9
8	2,2	2,7	1,3

^a Covering types in accordance with EN 499.



Kuva C.2 a)



Kuva C.2 b)

Selitykset

1 Yhdistetty aineenpaksuus (mm)

2 Lämmöntuonti (kJ/mm)

3 Vähimmäisesiikumennustilä (°C)

4 Vetyasteikko

5 Hiiliäkvivalentti, enintään

Kuva C.2 Hitsausolosuhteet teräksille eri hiiliäkvivalentin arvoilla

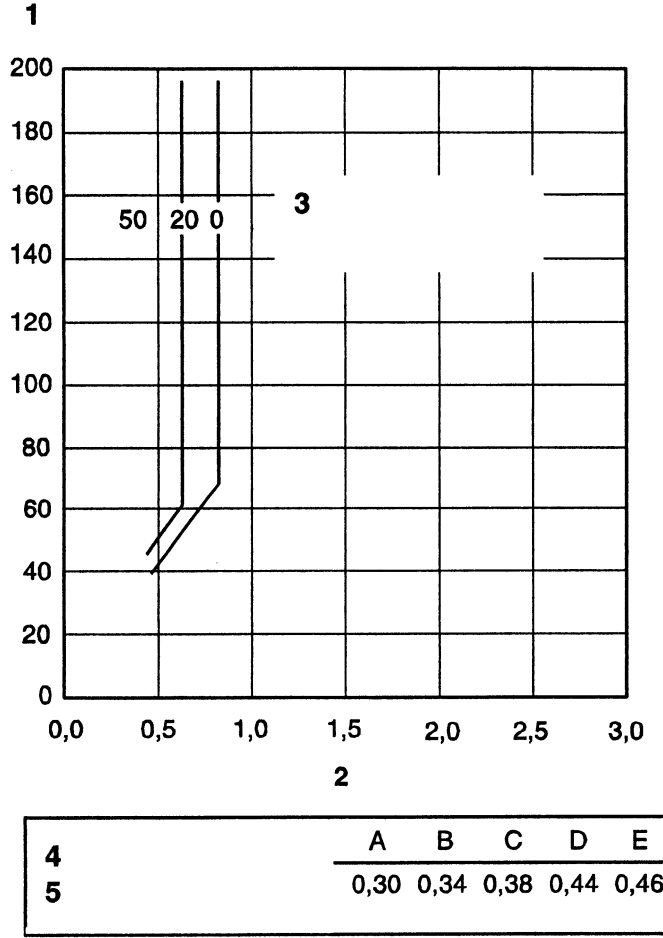


Figure C.2 a)

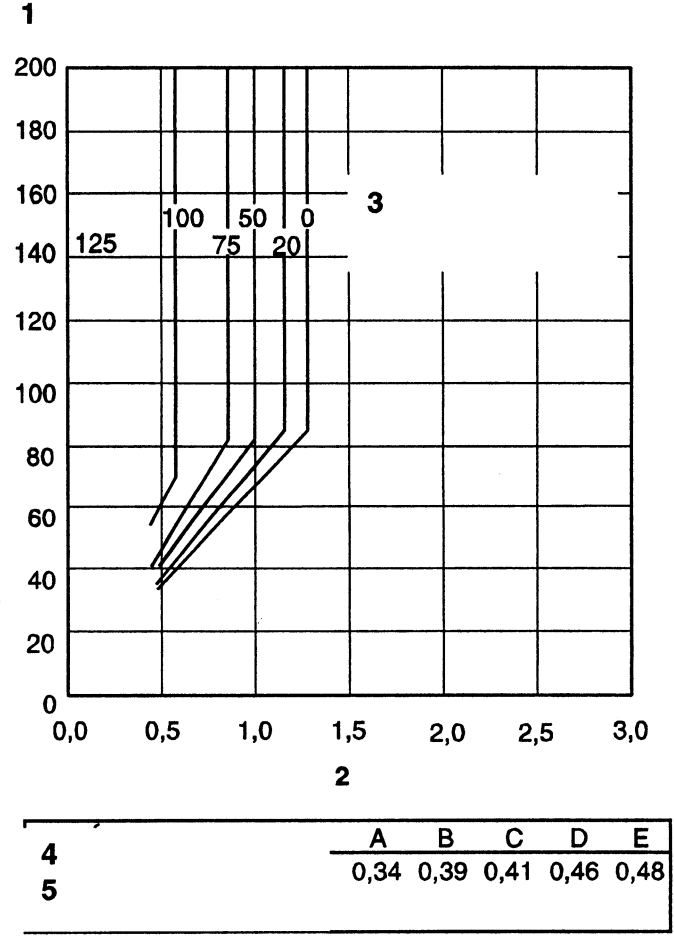


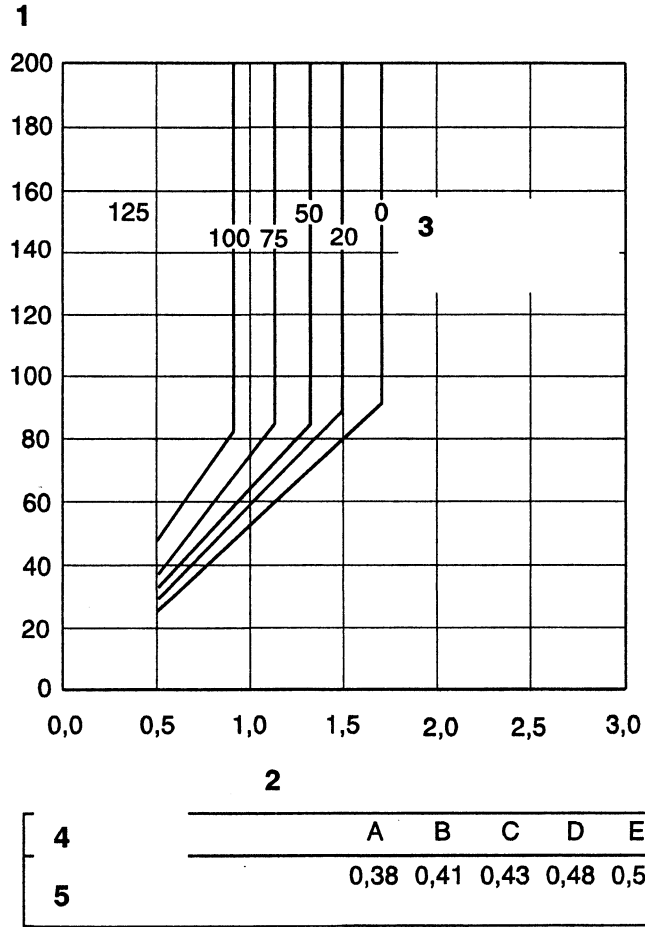
Figure C.2 b)

Key

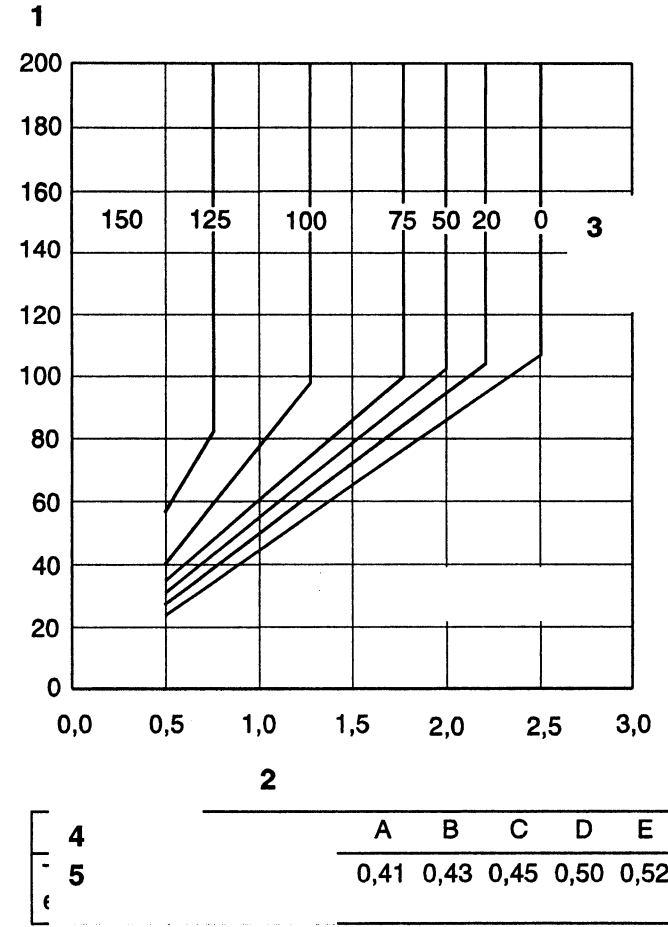
- 1 Combined thickness, mm
- 2 Heat input, kJ/mm
- 3 Minimum preheating temperature, °C

- 4 Scale
- 5 To be used for carbon equivalent not exceeding

Figure C.2 Conditions for welding steels with defined carbon equivalents



Kuva C.2 c)



Kuva C.2 d)

Selitykset

- 1 Yhdistetty aineenpaksuus (mm)
- 2 Lämmöntuonti (kJ/mm)
- 3 Vähimmäisesikuumennuslämpötila (°C)
- 4 Vetyasteikko
- 5 Hiiliekvivalentti, enintään

Kuva C.2 Hitsausolosuhteet teräksille eri hiiliekvivalentin arvoilla

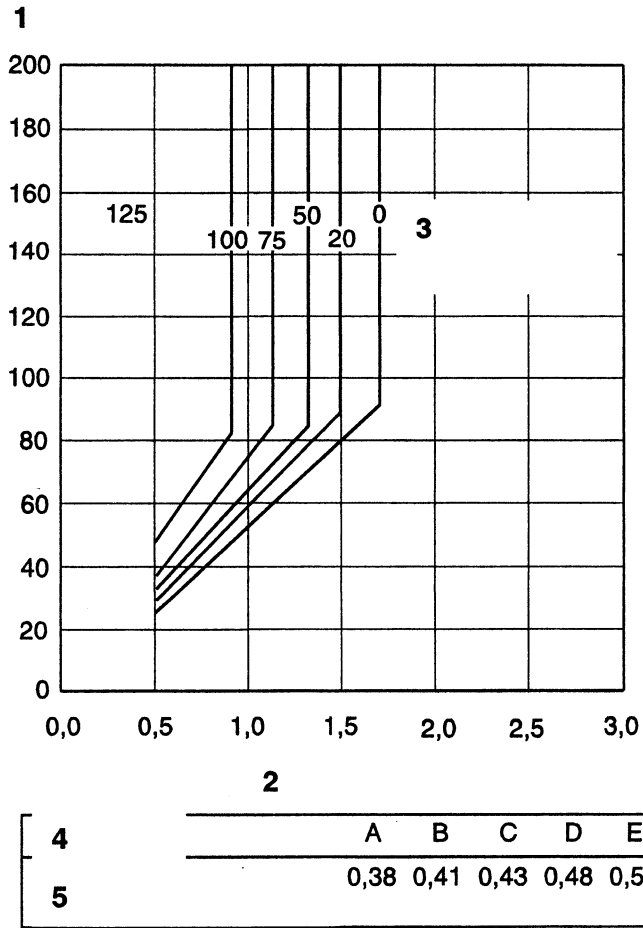


Figure C.2 c)

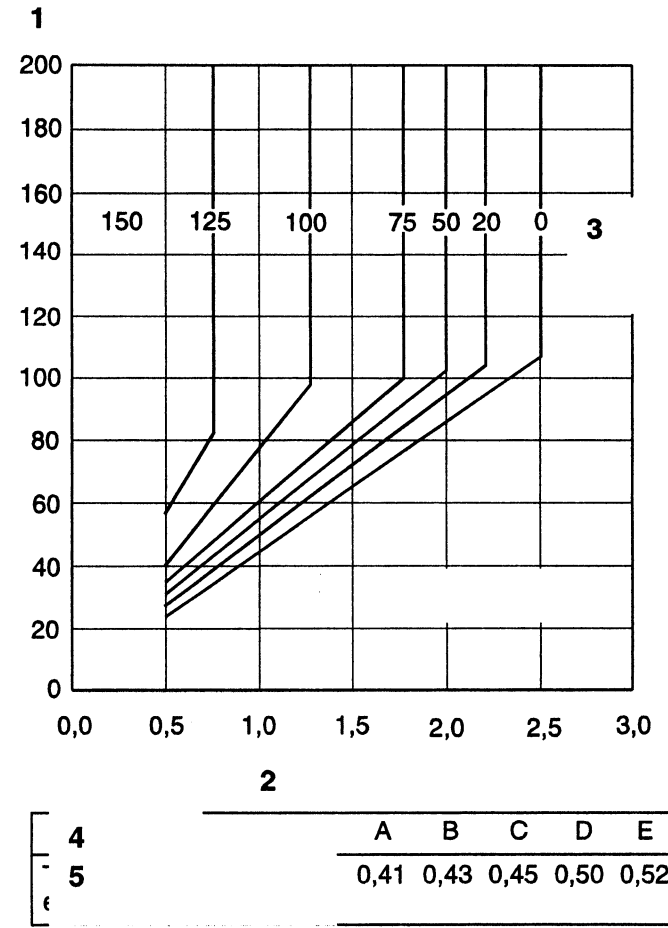


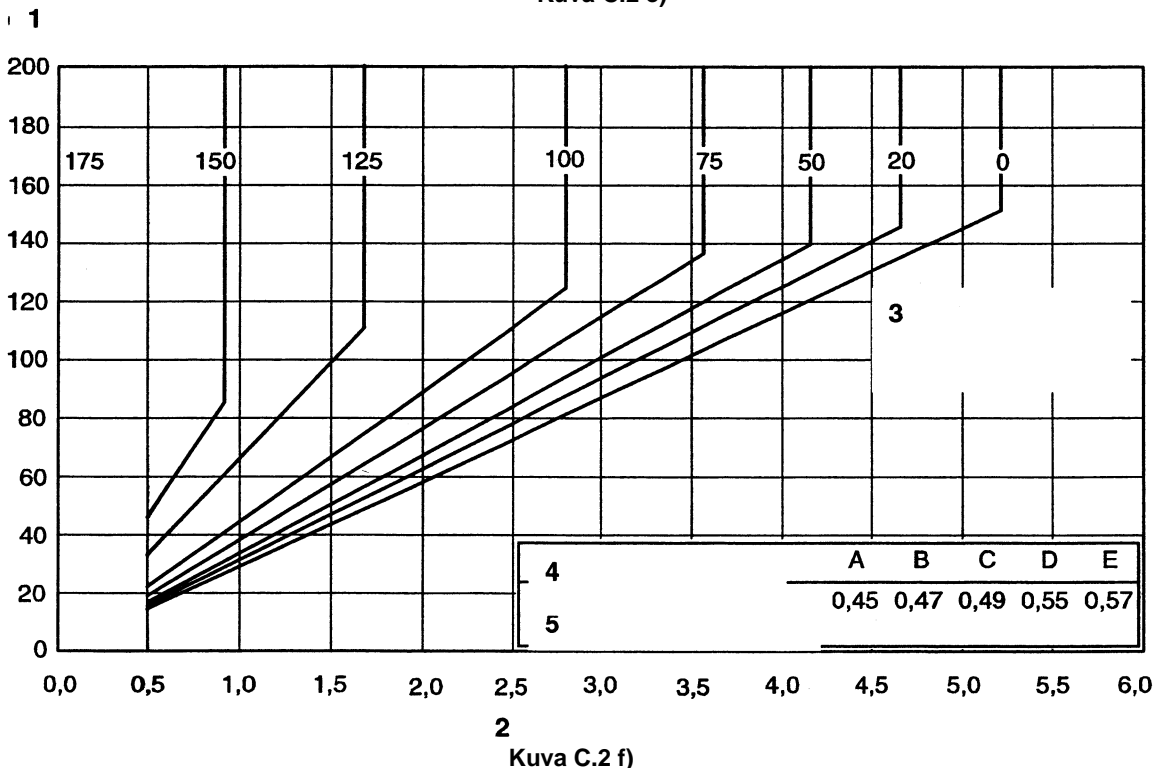
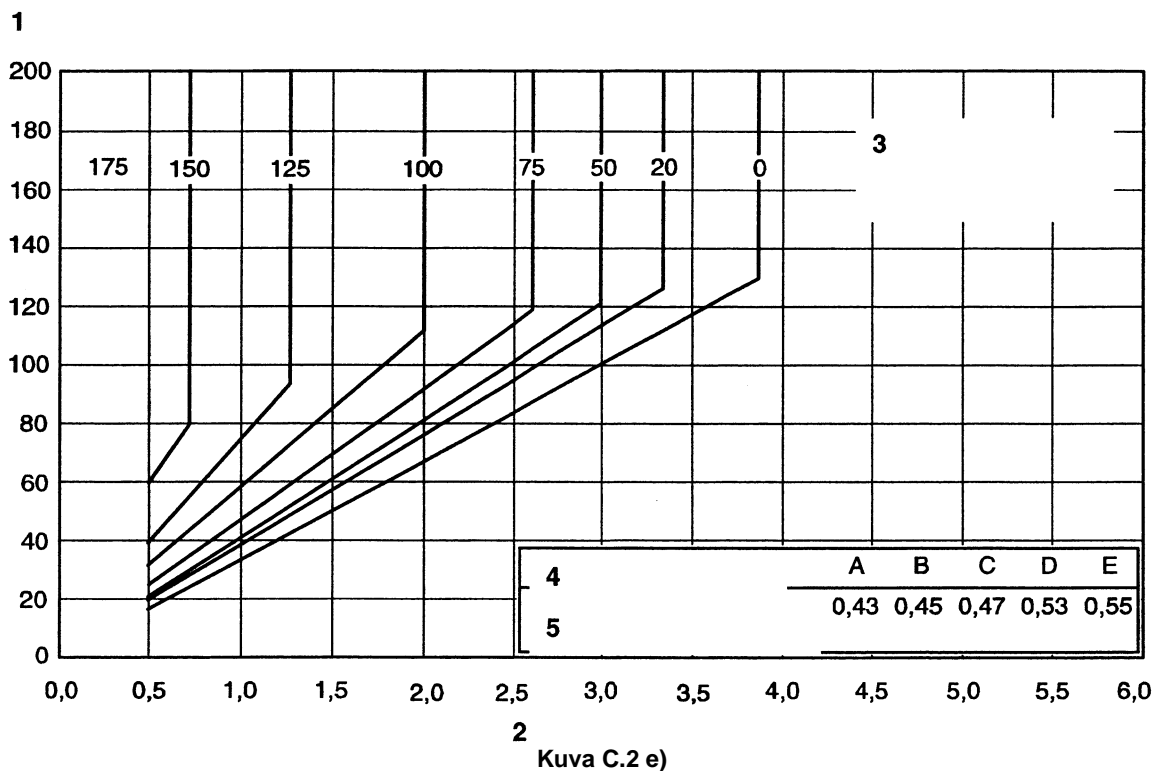
Figure C.2 d)

Key

- 1 Combined thickness, mm
- 2 Heat input, kJ/mm
- 3 Minimum preheating temperature, ° C

- 4 Scale
- 5 To be used for carbon equivalent not exceeding

Figure C.2 Conditions for welding steels with defined carbon equivalents



Selitykset

1 Yhdistetty aineenpaksuus (mm)

2 Lämmöntuonti (kJ/mm)

3 Vähimmäisesikuumennustempätilä (°C)

4 Vetyasteikko

5 Hiiliekvivalentti, enintään

Kuva C.2 Hitsausolosuhteet teräksille eri hiiliekvivalentin arvoilla

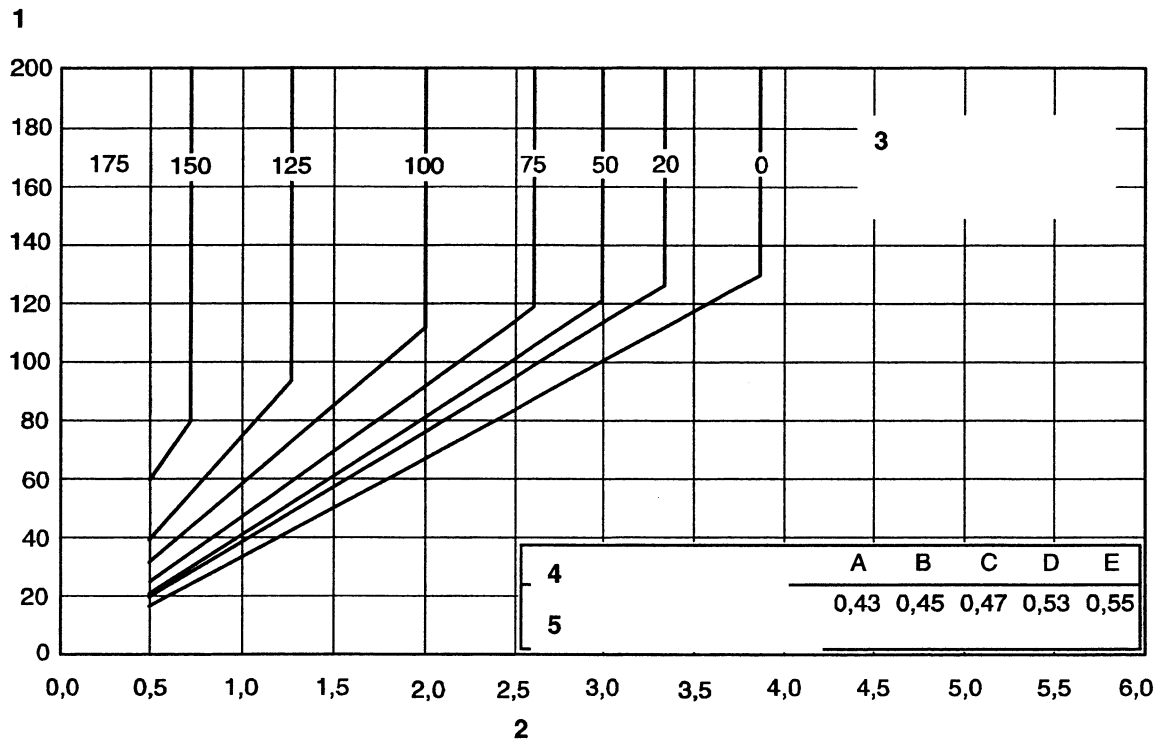


Figure C.2 e)

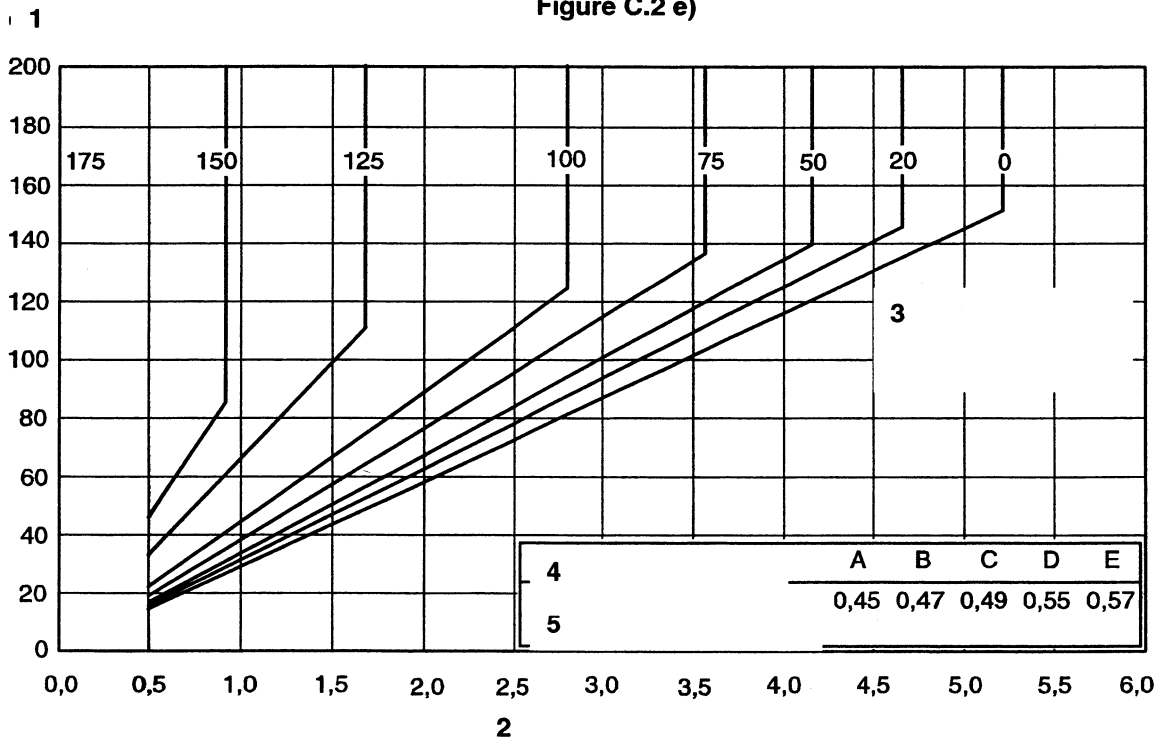


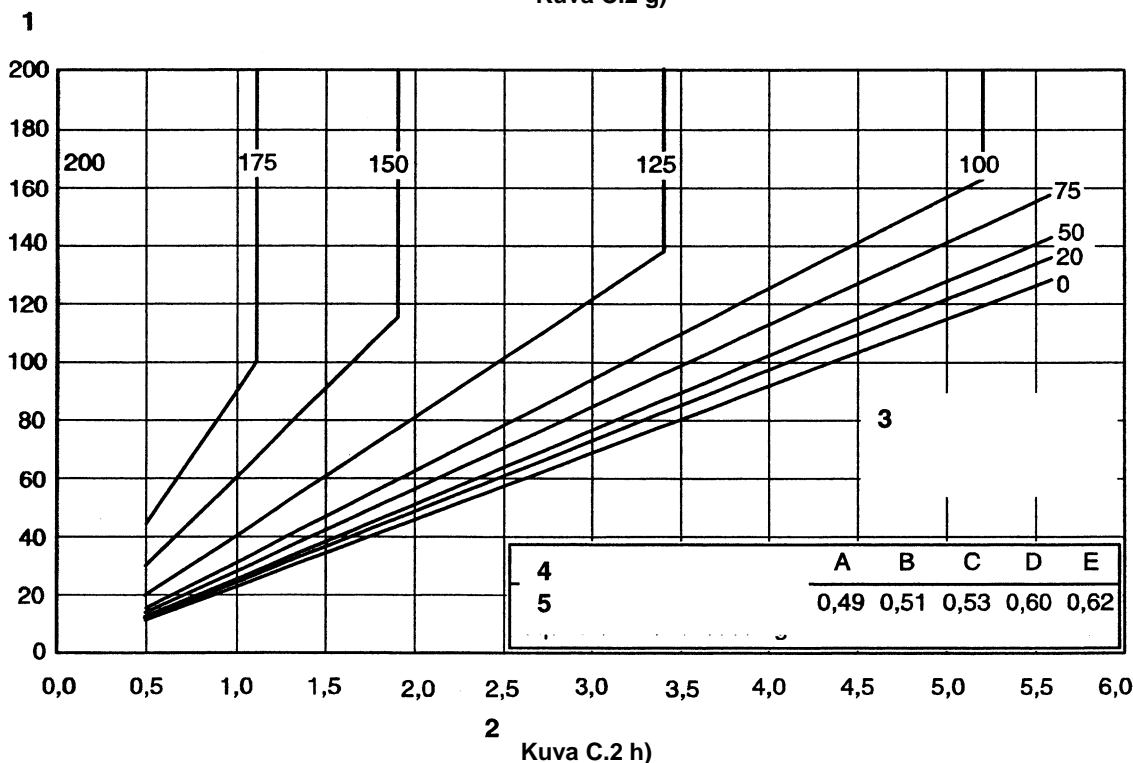
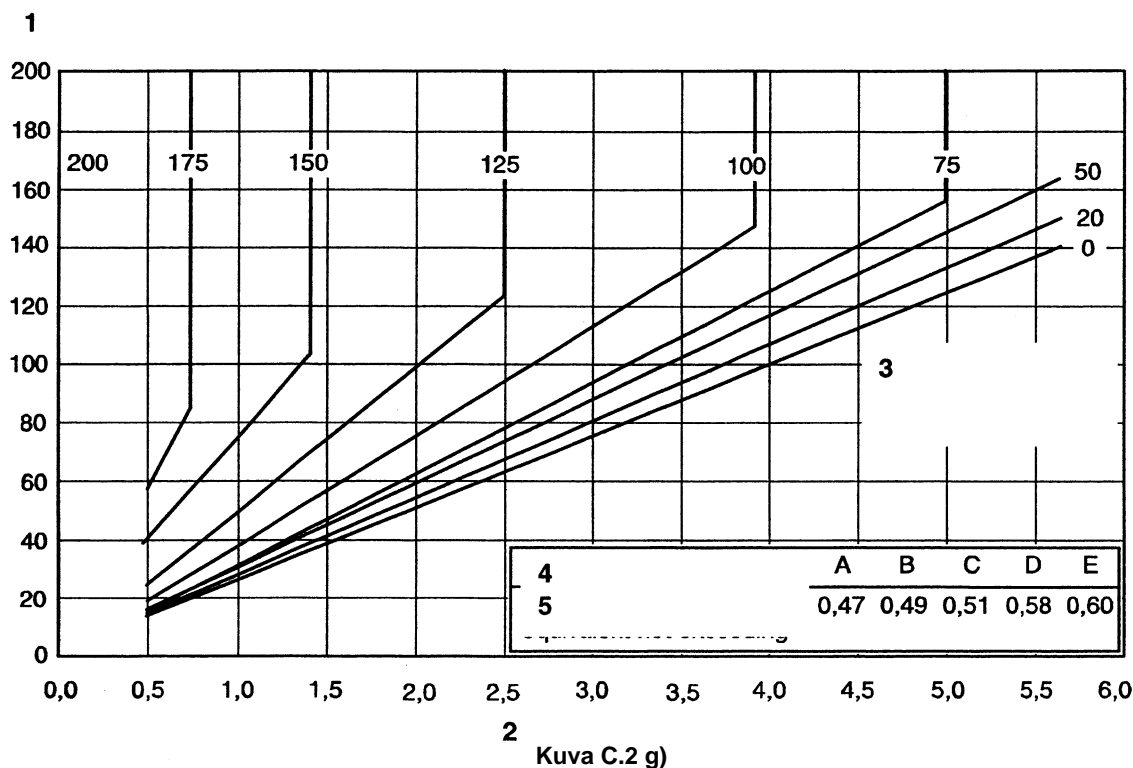
Figure C.2 f)

Key

- 1 Combined thickness, mm
- 2 Heat input, kJ/mm
- 3 Minimum preheating temperature, ° C

- 4 Scale
- 5 To be used for carbon equivalent not exceeding

Figure C.2 Conditions for welding steels with defined carbon equivalents



Selitykset

- 1 Yhdistetty aineenpaksuus (mm)
- 2 Lämmöntuonti (kJ/mm)
- 3 Vähimmäisesikuumennuslämpötila (°C)
- 4 Vetyasteikko
- 5 Hiilikvivalentti, enintään

Kuva C.2 Hitsausolosuhteet teräksille eri hiilikvivalentin arvoilla

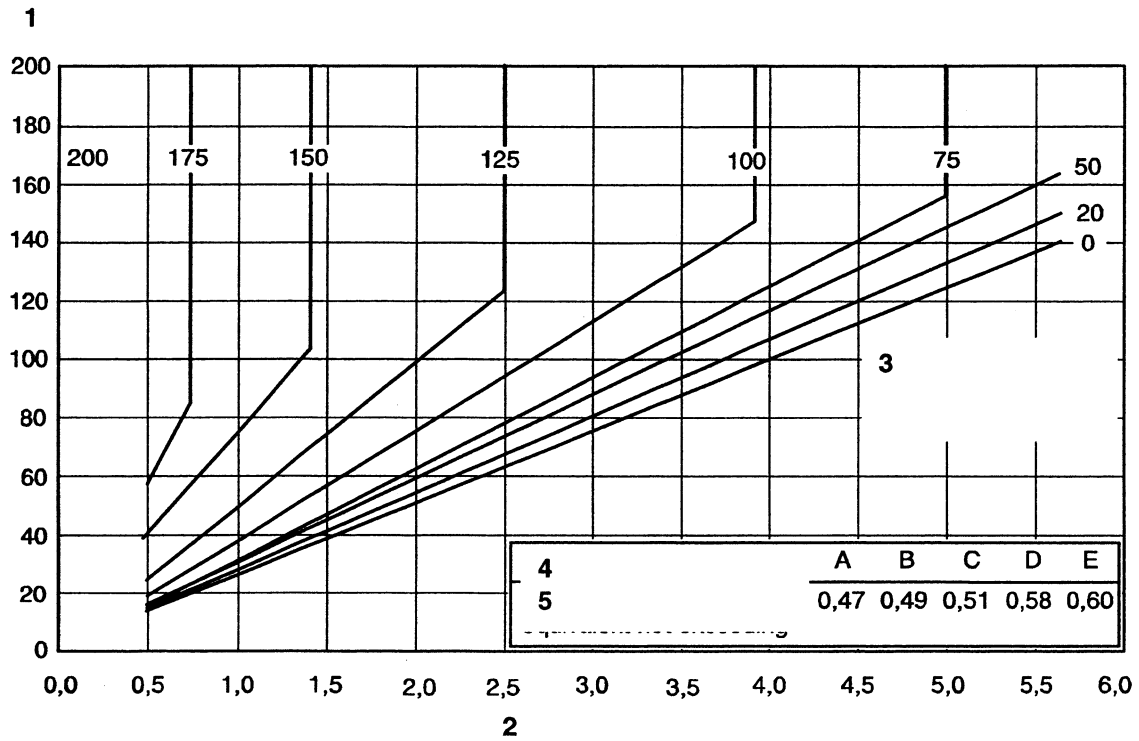


Figure C.2 g)

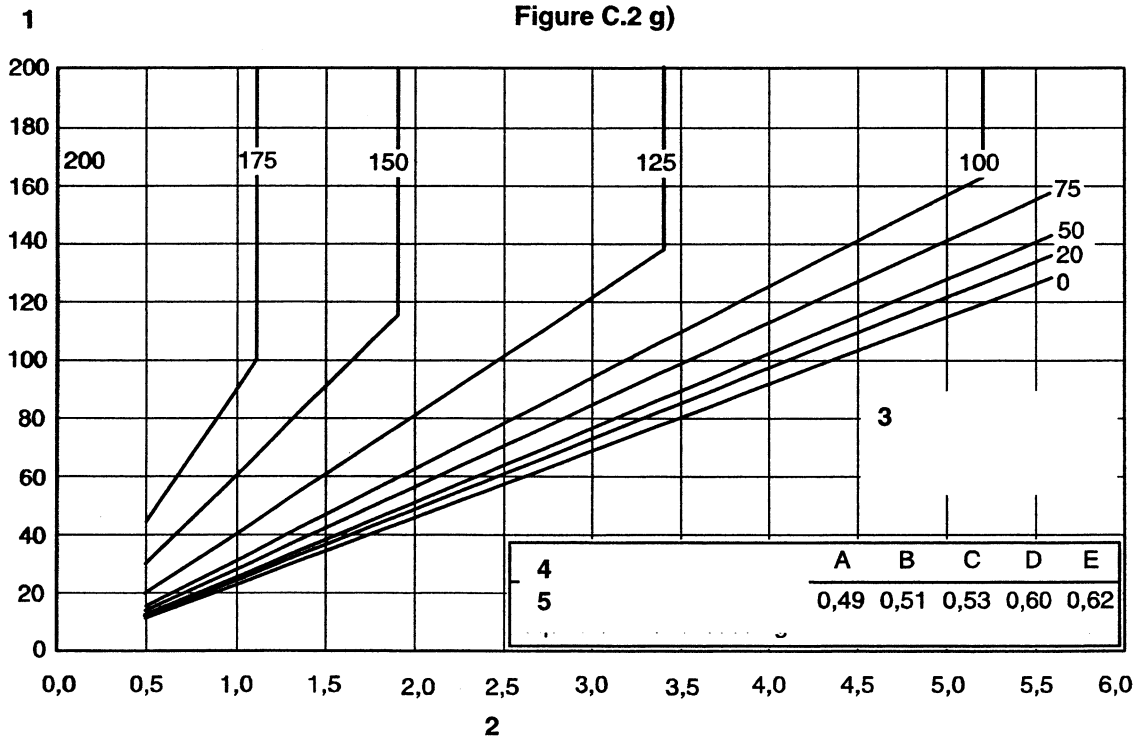
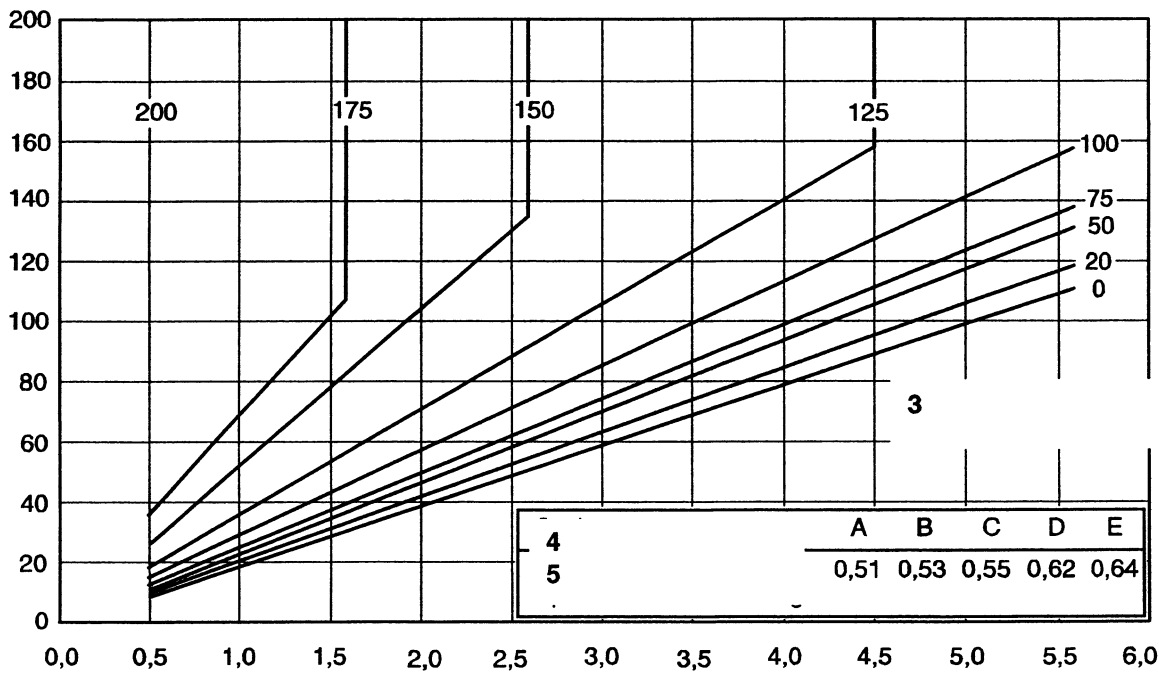


Figure C.2 h)

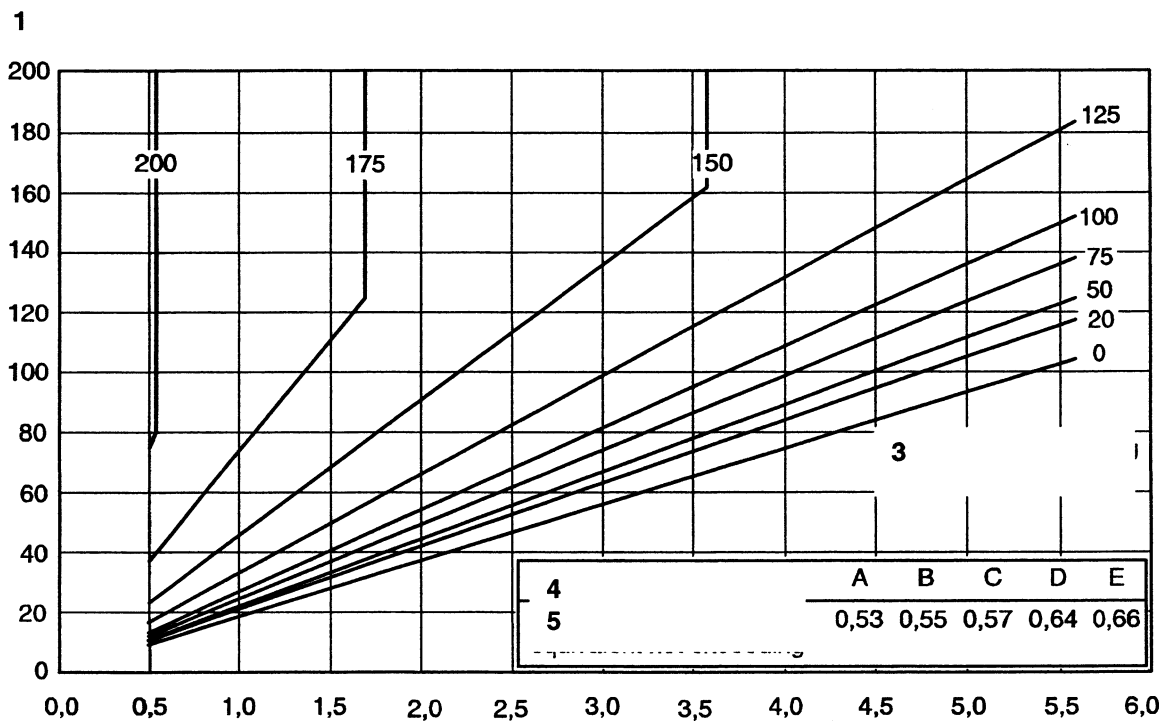
Key

- 1 Combined thickness, mm
- 2 Heat input, kJ/mm
- 3 Minimum preheating temperature, ° C
- 4 Scale
- 5 To be used for carbon equivalent not exceeding

Figure C.2 Conditions for welding steels with defined carbon equivalents



2 Kuva C.2 i)



2 Kuva C.2 j)

Selitykset

- 1 Yhdistetty aineenpaksuus (mm)
- 2 Lämmöntuonti (kJ/mm)
- 3 Vähimmäisesikuumennuslämpötila (°C)
- 4 Vetyasteikko
- 5 Hiiliäkvivalentti, enintään

Kuva C.2 Hitsausolosuhteet teräksille eri hiiliäkvivalentin arvoilla

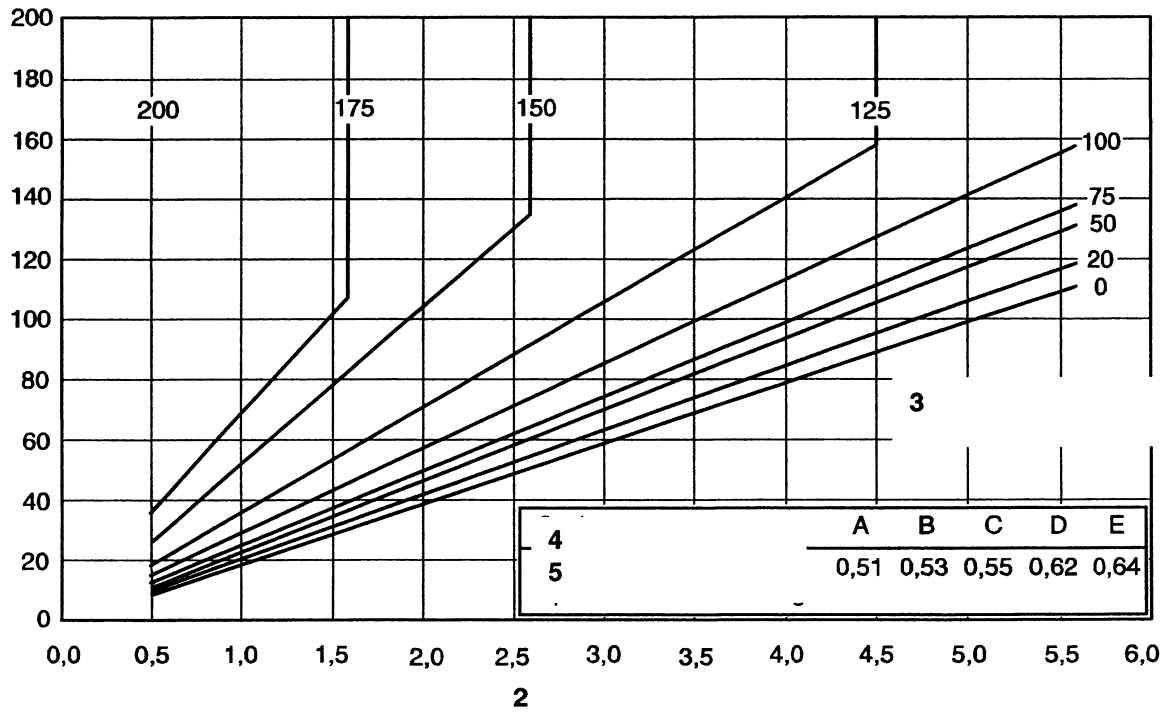


Figure C.2 i)

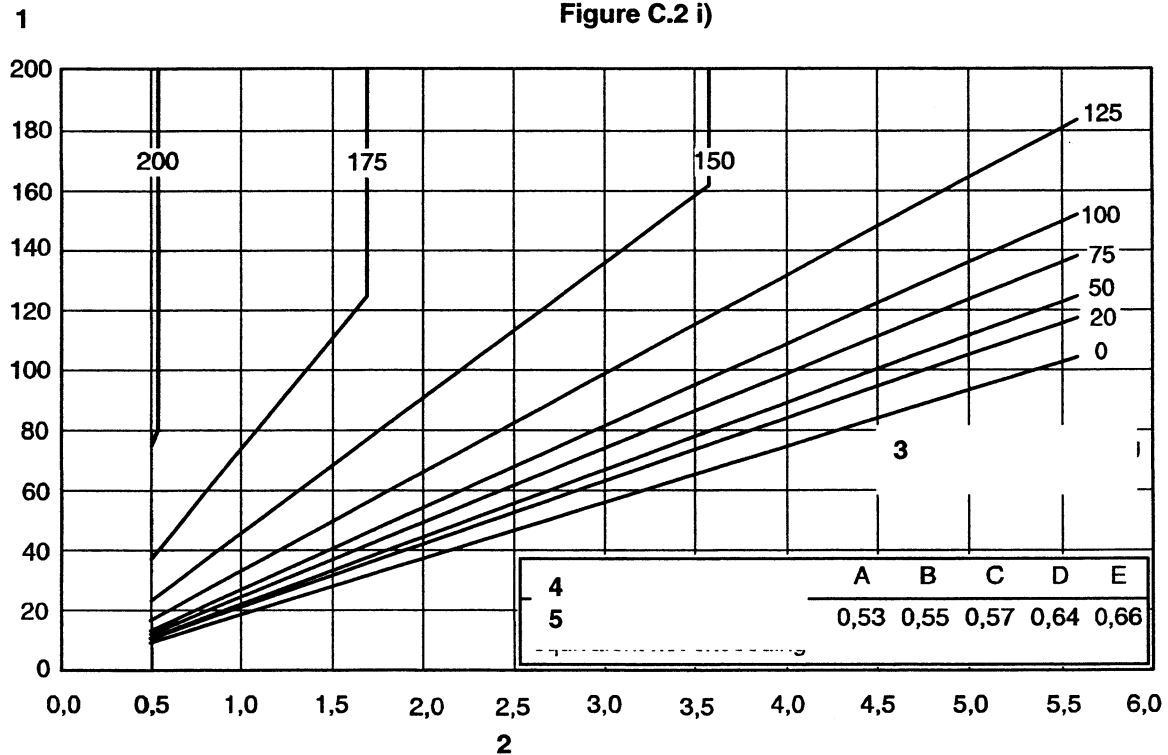
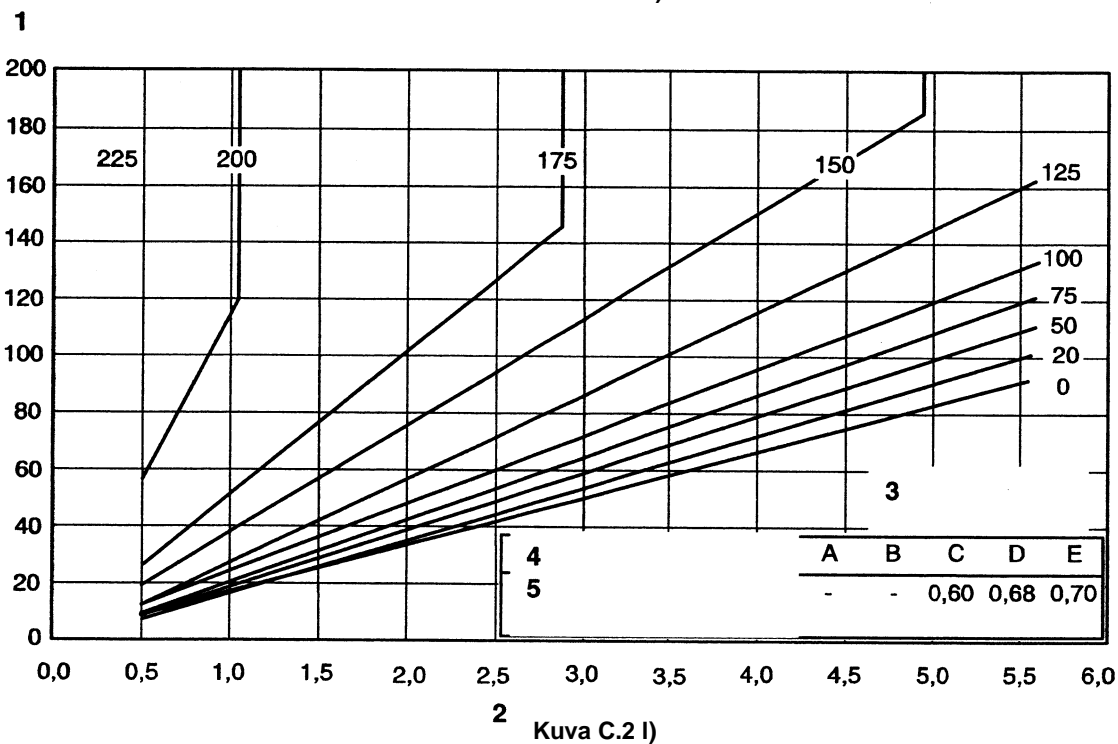
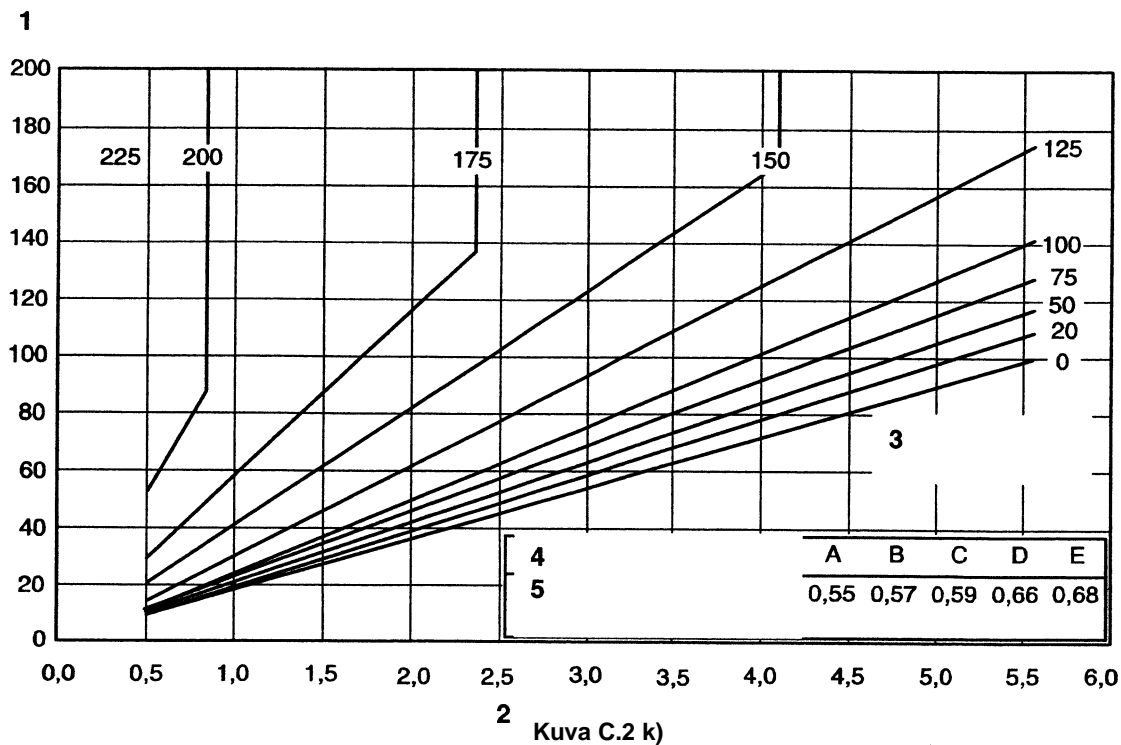


Figure C.2 j)

Key

- 1 Combined thickness, mm
- 2 Heat input, kJ/mm
- 3 Minimum preheating temperature, ° C
- 4 Scale
- 5 To be used for carbon equivalent not exceeding

Figure C.2 Conditions for welding steels with defined carbon equivalents



Selitykset

- 1 Yhdistetty aineenpaksuus (mm)
2 Lämmöntuonti (kJ/mm)
3 Vähimmäisesikuumennustempätila (°C)
4 Vetyasteikko
5 Hiilikvivalentti, enintään

Kuva C.2 Hitsausolosuhteet teräksille eri hiilikvivalentin arvoilla

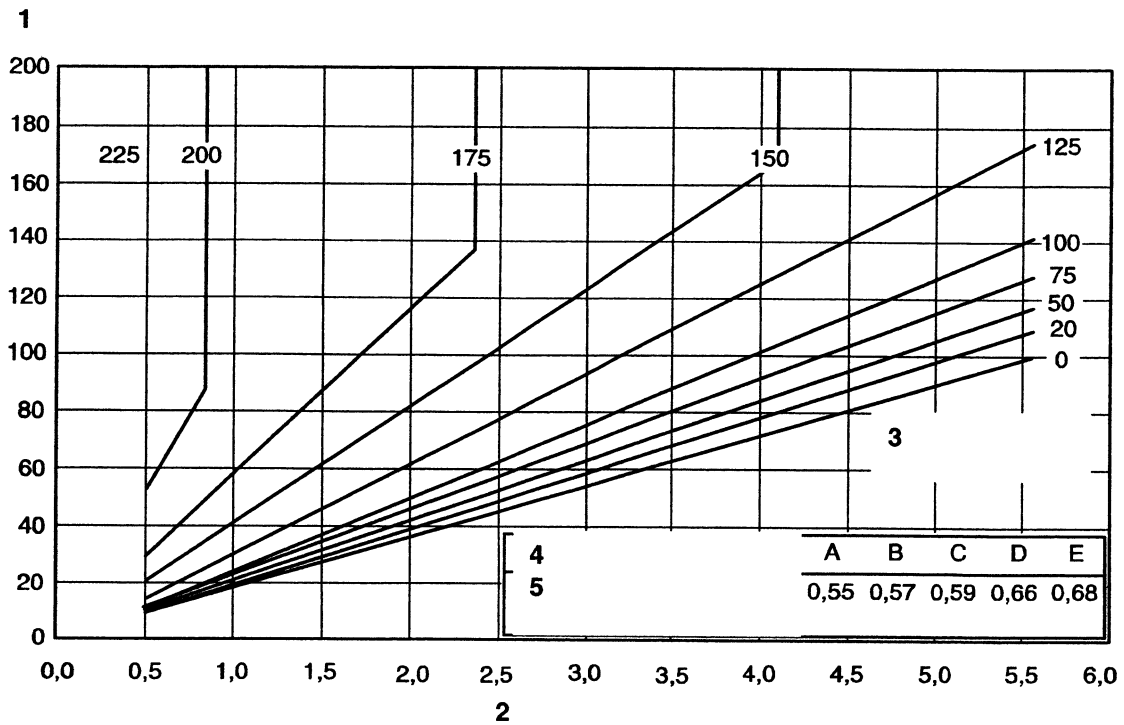


Figure C.2 k)

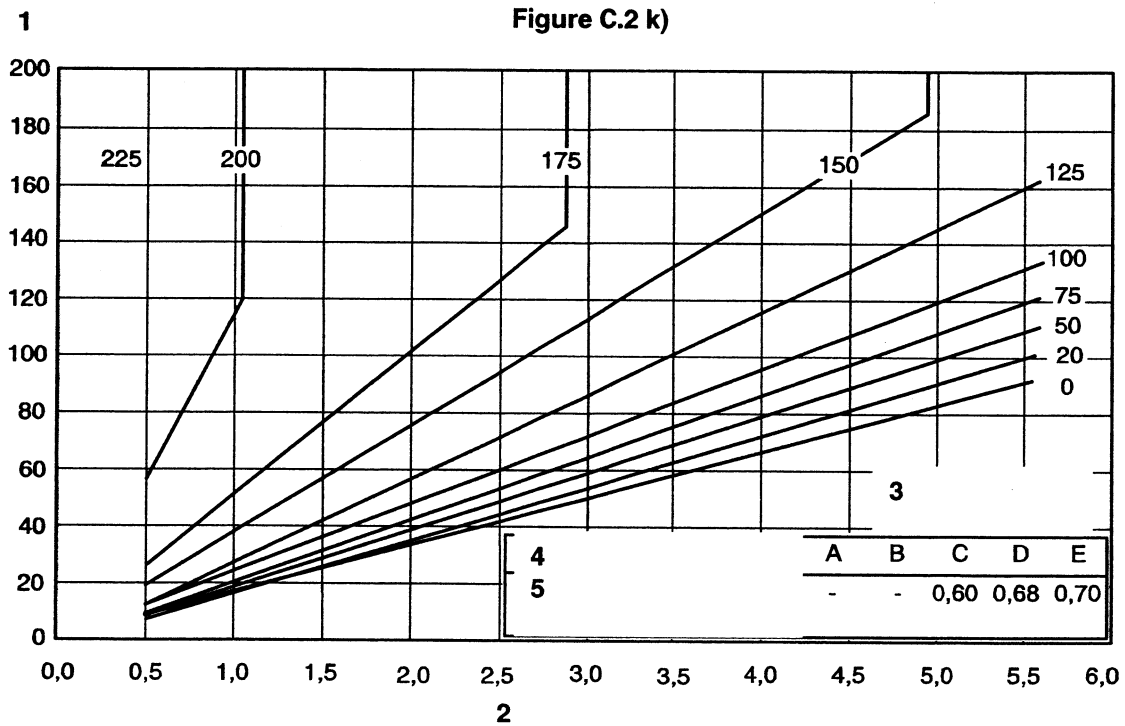


Figure C.2 l)

Key

1 Combined thickness, mm

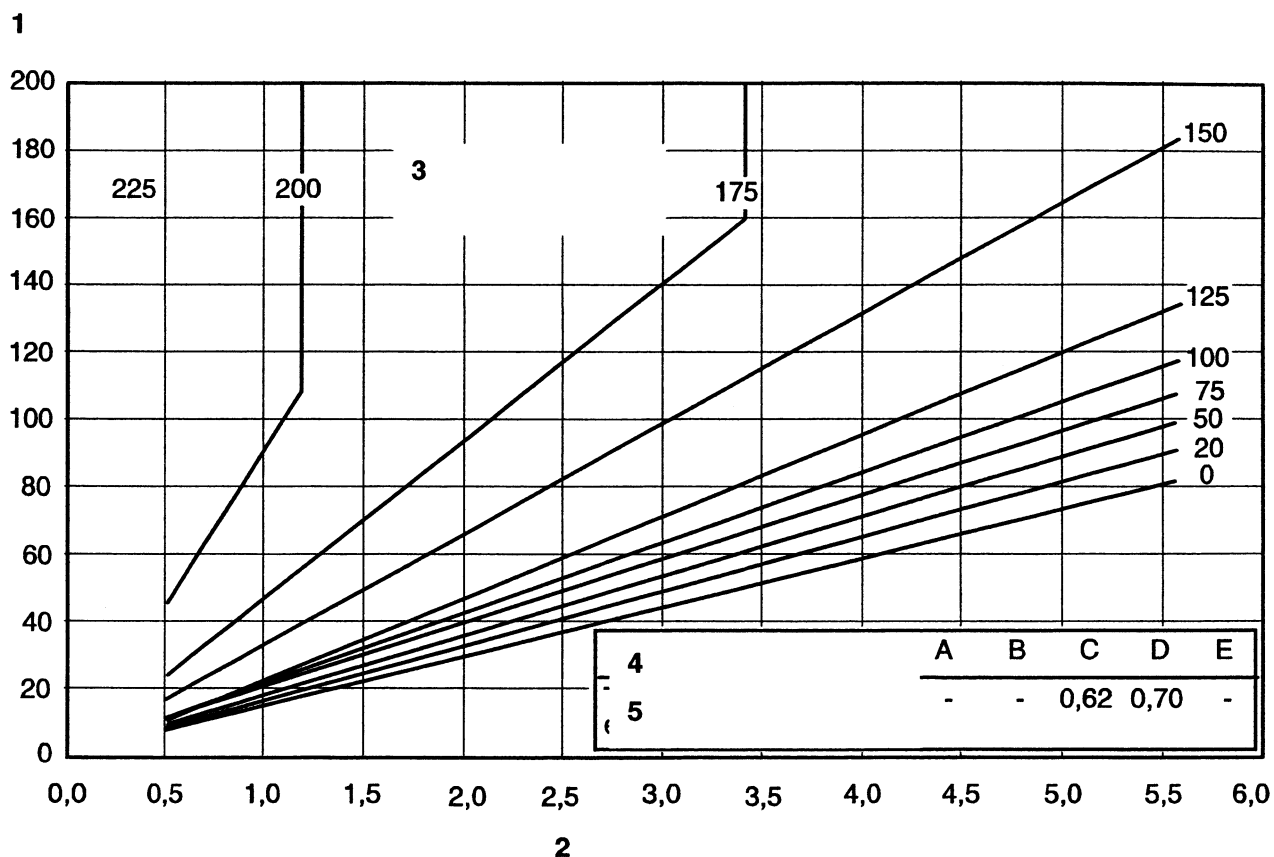
2 Heat input, kJ/mm

3 Minimum preheating temperature, ° C

4 Scale

5 To be used for carbon equivalent not exceeding

Figure C.2 Conditions for welding steels with defined carbon equivalents



Kuva C.2 m)

Selitykset

1 Yhdistetty aineenpaksuus (mm)

2 Lämmöntuonti (kJ/mm)

3 Vähimmäisesikuumennuslämpötila (°C)

4 Vetyasteikko

5 Hiilikvivalentti, enintään

Kuva C.2 Hitsausolosuhteet teräksille eri hiilikvivalentin arvoilla

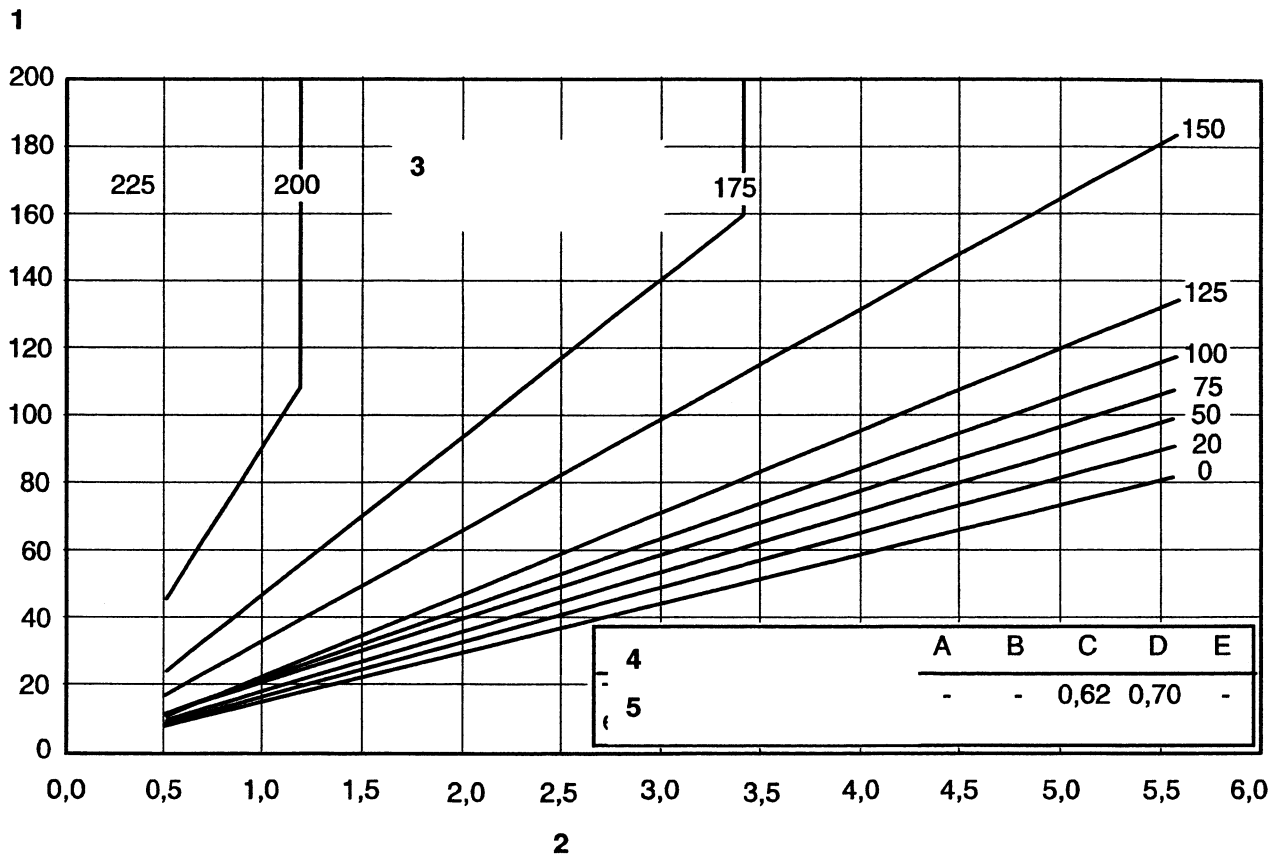


Figure C.2 m)

Key

- 1 Combined thickness, mm
- 2 Heat input, kJ/mm
- 3 Minimum preheating temperature, °C
- 4 Scale
- 5 To be used for carbon equivalent not exceeding

Figure C.2 Conditions for welding steels with defined carbon equivalents

Taulukko C.4 Palkopituus puikkohitsauksessa

Taulukko C.4.1 Hitsauspuikot, joiden riittoisuus n. 95 %

Lämmöntuonti (kJ/mm)	Palkopituus eri puikon halkaisijoilla (hitsattu puikon pituus: 410 mm ja puikon kokonaispituus: 450 mm)					
	2,5 (mm)	3,2 (mm)	4,0 (mm)	5,0 (mm)	6,0 (mm)	6,3 (mm)
0,8	120	195	300	470	–	–
1,0	95	155	240	375	545	600
1,2	–	130	200	315	450	500
1,4	–	110	170	270	390	430
1,6	–	95	150	235	340	375
1,8	–	85	135	210	300	335
2,0	–	–	120	190	270	300
2,2	–	–	110	170	245	270
2,5	–	–	95	150	215	240
3,0	–	–	80	125	180	200
3,5	–	–	–	110	155	170
4,0	–	–	–	95	135	150
4,5	–	–	–	84	120	135
5,0	–	–	–	–	110	120
5,5	–	–	–	–	100	110

Taulukko C.4.2 Hitsauspuikot, joiden riittoisuus > 95 % ≤ 110 %

Lämmöntuonti (kJ/mm)	Palkopituus eri puikon halkaisijoilla (hitsattu puikon pituus: 410 mm ja puikon kokonaispituus: 450 mm)					
	2,5 (mm)	3,2 (mm)	4,0 (mm)	5,0 (mm)	6,0 (mm)	6,3 (mm)
0,8	130	215	335	525	–	–
1,0	105	170	270	420	600	–
1,2	85	145	225	350	500	555
1,4	–	120	190	300	430	475
1,6	–	105	165	260	375	415
1,8	–	95	150	230	335	370
2,0	–	85	135	210	300	330
2,2	–	–	120	190	275	300
2,5	–	–	105	165	240	265
3,0	–	–	90	140	200	220
3,5	–	–	–	120	170	190
4,0	–	–	–	105	150	165
4,5	–	–	–	95	135	150
5,0	–	–	–	85	120	135
5,5	–	–	–	–	110	120

Table C.4 Run out length for manual metal-arc welding

Table C.4.1 Electrode efficiency 95 % approximately

Heat input (kJ/mm)	Run out length from 410 mm of a 450 mm electrode of diameter					
	2,5 (mm)	3,2 (mm)	4,0 (mm)	5,0 (mm)	6,0 (mm)	6,3 (mm)
0,8	120	195	300	470	–	–
1,0	95	155	240	375	545	600
1,2	–	130	200	315	450	500
1,4	–	110	170	270	390	430
1,6	–	95	150	235	340	375
1,8	–	85	135	210	300	335
2,0	–	–	120	190	270	300
2,2	–	–	110	170	245	270
2,5	–	–	95	150	215	240
3,0	–	–	80	125	180	200
3,5	–	–	–	110	155	170
4,0	–	–	–	95	135	150
4,5	–	–	–	84	120	135
5,0	–	–	–	–	110	120
5,5	–	–	–	–	100	110

Table C.4.2 95 % < efficiency ≤ 110 %

Heat input (kJ/mm)	Run out length from 410 mm of a 450 mm electrode of diameter					
	2,5 (mm)	3,2 (mm)	4,0 (mm)	5,0 (mm)	6,0 (mm)	6,3 (mm)
0,8	130	215	335	525	–	–
1,0	105	170	270	420	600	–
1,2	85	145	225	350	500	555
1,4	–	120	190	300	430	475
1,6	–	105	165	260	375	415
1,8	–	95	150	230	335	370
2,0	–	85	135	210	300	330
2,2	–	–	120	190	275	300
2,5	–	–	105	165	240	265
3,0	–	–	90	140	200	220
3,5	–	–	–	120	170	190
4,0	–	–	–	105	150	165
4,5	–	–	–	95	135	150
5,0	–	–	–	85	120	135
5,5	–	–	–	–	110	120

Taulukko C.4.3 Hitsauspuikot, joiden riittoisuus > 110 % ≤ 130 %

Lämmöntuonti (kJ/mm)	Palkopituus eri puikon halkaisijoilla (hitsattu puikon pituus: 410 mm ja puikon kokonaispituus: 450 mm)					
	2,5 (mm)	3,2 (mm)	4,0 (mm)	5,0 (mm)	6,0 (mm)	6,3 (mm)
0,8	150	250	385	605	–	–
1,0	120	200	310	485	–	–
1,2	100	165	260	405	580	–
1,4	85	140	220	345	500	550
1,6	–	125	195	300	435	480
1,8	–	110	170	270	385	425
2,0	–	100	155	240	350	385
2,2	–	90	140	220	315	350
2,5	–	–	125	195	280	305
3,0	–	–	105	160	230	255
3,5	–	–	90	140	200	220
4,0	–	–	–	120	175	190
4,5	–	–	–	110	155	170
5,0	–	–	–	95	140	155
5,5	–	–	–	90	125	140

Table C.4.3 110 % < efficiency ≤ 130 %

Heat input (kJ/mm)	Run out length from 410 mm of a 450 mm electrode of diameter					
	2,5 (mm)	3,2 (mm)	4,0 (mm)	5,0 (mm)	6,0 (mm)	6,3 (mm)
0,8	150	250	385	605	–	–
1,0	120	200	310	485	–	–
1,2	100	165	260	405	580	–
1,4	85	140	220	345	500	550
1,6	–	125	195	300	435	480
1,8	–	110	170	270	385	425
2,0	–	100	155	240	350	385
2,2	–	90	140	220	315	350
2,5	–	–	125	195	280	305
3,0	–	–	105	160	230	255
3,5	–	–	90	140	200	220
4,0	–	–	–	120	175	190
4,5	–	–	–	110	155	170
5,0	–	–	–	95	140	155
5,5	–	–	–	90	125	140

Taulukko C.4.4 Hitsauspuikot, joiden riittoisuus > 130 %

Lämmöntuonti kJ/mm	Palkopituus eri puikon halkaisijoilla (hitsattu puikon pituus: 410 mm ja puikon kokonaispituus: 450 mm)				
	3,2 mm	4,0 mm	5,0 mm	6,0 mm	6,3 mm
0,8	320	500	–	–	–
1,0	255	400	625	–	–
1,2	215	330	520	–	–
1,4	180	285	445	–	–
1,6	160	250	390	560	620
1,8	140	220	345	500	550
2,0	130	200	310	450	495
2,2	115	180	285	410	450
2,5	100	160	250	360	395
3,0	85	135	210	300	330
3,5	–	115	180	255	285
4,0	–	100	155	225	245
4,5	–	90	140	200	220
5,0	–	–	125	180	200
5,5	–	–	115	165	180

HUOM. Taulukossa C.4 annetut arvot koskevat hitsauspuikkoja, joiden pituus on 450 mm. Muille pituuksille pätee seuraava kaava:

$$\text{Palkopituus (mm)} = \frac{(\text{Puikon halkaisija})^2 \times L \times F}{\text{Lämmöntuonti}}$$

missä

L on puikon hitsattu pituus (mm), mikä on yleensä kokonaispituus vähennettynä jätepatkan osuus 40 mm.

F on tekijä (kJ/mm³), mikä riippuu hitsauspuikon riittoisuudesta seuraavasti:

- riittoisuus: noin 95 % *F* = 0,0368
- riittoisuus: > 95 % ≤ 110 % *F* = 0,0408
- riittoisuus: > 110 % ≤ 130 % *F* = 0,0472
- riittoisuus: > 130 % *F* = 0,0608

C.2.12 Esimerkkejä kohdan C.2 (tapa A) käytöstä

Vaihe 1: Valitse käytettävä hiilikvivalentti joko sulatustodistuksen tai terässtandardin enimmäisarvon perusteella. Oletus: Hiilikvivalentin arvo on 0,45.

Vaihe 2: Valitse alustavasti käytettävä hitsausprosessi ja lisäaine. Valitse lisäaineelle vetyasteikko A, B, C, D tai E kohdan C.2.3 ja taulukon C.2 perusteella.

Oletus: Puikkohitsaus, jonka hitsiaineen vetypitoisuus vastaa vetyasteikkoa B taulukossa C.2.

Vaihe 3: Määrittele, onko liitos piena- vai päittäisliitos.

Oletus: Päittäisliitos.

Vaihe 4: Valitse kuvasta C.2 asianmukainen kuva, joka vastaa vetyasteikkoa B ja hiilikvivalenttia 0,45, so. kuva C.2 e). Jos sopivaa kuvaa ei ole valitulle vetyasteikolle ja hiilikvivalentille, käytä kuvaa seuraavaksi suu-remmalle hiilikvivalentin arvolle.

Table C.4.4 – Electrode efficiency > 130 %

Heat input kJ/mm	Run out length from 410 mm of a 450 mm electrode of diameter				
	3,2 mm	4,0 mm	5,0 mm	6,0 mm	6,3 mm
0,8	320	500	–	–	–
1,0	255	400	625	–	–
1,2	215	330	520	–	–
1,4	180	285	445	–	–
1,6	160	250	390	560	620
1,8	140	220	345	500	550
2,0	130	200	310	450	495
2,2	115	180	285	410	450
2,5	100	160	250	360	395
3,0	85	135	210	300	330
3,5	–	115	180	255	285
4,0	–	100	155	225	245
4,5	–	90	140	200	220
5,0	–	–	125	180	200
5,5	–	–	115	165	180

NOTE: The values given in table C.4 relate to electrodes having an original length of 450 mm. For other electrode lengths the following expression may be used:

$$\text{Run out length (mm)} = \frac{(\text{Electrode diameter})^2 \times L \times F}{\text{Heat input}}$$

where

L is the consumed length of electrode (in mm) (normally the original length less 40 mm for the stub end)

and

F is a factor in kJ/mm³ having a value depending on the electrode efficiency, as follows:

- Efficiency approximately 95 % *F* = 0,0368
- 95 % < Efficiency ≤ 110 % *F* = 0,0408
- 110 % < Efficiency ≤ 130 % *F* = 0,0472
- Efficiency > 130 % *F* = 0,0608

C.2.12 Examples of use of C.2

Step 1: Decide which carbon equivalent value is to be used either by reference to the mill certificates or the maximum carbon equivalent in the steel standard. A steel with a carbon equivalent of 0,45 will be assumed for this example.

Step 2: Decide provisionally which welding process and consumables are to be used. Classify the consumables using the hydrogen scale A, B, C, D or E according to C.2.3 and table C.2.

Assume that manual metal-arc welding is to be used and that the weld hydrogen level corresponds to scale B in table C.2.

Step 3: Determine whether the joint is to be fillet or butt welded. Assume that butt-welding is to be used.

Step 4: From figure C.2, select the appropriate graph for hydrogen scale B and a carbon equivalent of 0,45 i.e. figure C.2 e). When a graph for the selected hydrogen scale and carbon equivalent is not available use the graph appropriate to the next highest carbon equivalent value.

- Vaihe 5: Määrittele päittäishitsissä esiintyvä pienin palkokoko. Tämä on yleensä pohjapalko.
- Oletus: Pohjapalon hitsaukseen käytetään 4,0 mm:n puikkoa, jonka riittoisuus on 120 % ja jolla hitsatun palon pituus on noin 260 mm.
- Taulukko C.4.3 antaa yksittäisen palon vähimmäislämmöntonniksi 1,2 kJ/mm.
- Vaihe 6: Määrittele yhdistetty aineenpaksuus kohdan C.2.4 mukaan.
- Oletus: Yhdistetty aineenpaksuus on 50 mm.
- Vaihe 7: Merkitse kuvaan C.2 e) lämmöntonnikin 1,2 kJ/mm ja yhdistetyn aineenpaksuuden 50 mm koordinaatit. Lue vähimmäisesikuumentus- ja välipalkolämpötila, joksi saadaan 75 °C.
- Vaihtoehto vaiheessa 7, jos esikuumentus ei ole käytännössä toivottavaa, on seuraavaa:
- Vaihe 8: Määritä kuvasta C.2 e) lämmöntonnikin vähimmäisarvo, jota käytettäessä esikuumentusta ei tarvita. Tämä on yleensä lämpötilan 20 °C viiva. Tämän esimerkin päittäishitsille lämmöntuonti on vähintään 1,4 kJ/mm.
- Vaihe 9: Jos tämä lämmöntuonti on mahdollinen ottaen huomioon taulukon C.4.3 ja käytännön hitsausasennon, määritä puikon halkaisija ja hitsattava palkopituus taulukosta C.4.3.
- Jos tämä ei ole mahdollista toteuttaa, siirry vaiheeseen 10.
- Vaihe 10: Selvitä kuvien C.2 a) ja C.2 d) avulla mahdollisuus käyttää matalampaa vetypitoisuutta, jolla voit välttää esikuumentustarpeen käytön hyväksyttävällä lämmöntuontiarvolla. Matalampi vetypitoisuus voidaan saada käyttämällä korkeampaa kuivauslämpötilaa, vaihtamalla lisäainetta tai vaihtamalla hitsausprosessia.

C.3 Tapa B vetyhalkeilun estämiseksi seostamattomien terästen, hienoraeterästen ja niukkaseosteisten terästen hitsauksessa

C.3.1 Yleistä

Tämä tapa kattaa teknisen raportin CR ISO 15608 ryhmiin 1...4 kuuluvien terästen kaarihitsauksen. Tässä liitteessä annetut suositukset on tarvittaessa otettava huomioon asiaankuuluvassa hitsausohjeessa (WPS).

Hyvin tehokas keino estää vetyhalkeilua on hitsin esikuumentus, jolla hidastetaan hitsin jäähtymistä ja siten autetaan vedyn poistumista nopeammin ja tehokkaammin hitsauksen jälkeen kuin hitsauksessa ilman esikuumentusta tapahtuisi. Lisäksi esikuumentus vähentää sisäisiä jännityksiä. Monipalkohitseissa on mahdollista aloittaa hitsaus ilman esikuumentusta, jos hitsauksen kuluessa voidaan saavuttaa riittävän korkea välipalkolämpötila ja kyetään ylläpitämään se sopivalla hitsausjärjestyksellä.

Tämä suositus perustuu laajoihin terästen hitsausliitosten vetyhalkeilututkimuksiin. Niitä on tehty itse hitseille tai on tehty erityisiä hitsien vetyhalkeilukokeita. Samalla on tutkittu myös pienahitsejä. Niissä on havaittu, että yksipalkoisissa pienahitseissä sisäinen jännitystaso on matalampi kuin päittäishitseissä. Päittäishitseille määritetyt esikuumentuslämpötilat voivat olla noin 60 °C liian korkeita pienahitseille. Valmistajalla on siten mahdollisuus hyödyntää tätä tietoa kokemuksensa mukaan. Kun määritetään esikuumentuslämpötila pienahitsille tai päittäishitsille, jossa osien aineenpaksuudet ovat erilaiset, esikuumentuslämpötila pitää laskea suuremman aineenpaksuuden perusteella. Jännitysolosuhteet monipalkopienahitseissä ovat samanlaiset kuin päittäishitseissä, mistä syystä näille pienahitseille pitää käyttää samaa esikuumentuslämpötilaa kuin päittäishitseille vetyhalkeilun estämiseksi.

Lämpötilaa ennen ensimmäisen palon hitsauksen aloittamista ja lämpötilaa, jonka alapuolelle lämpötila ei saa laskea hitsauksen aikana, kutsutaan esikuumentuslämpötilaksi T_p . Monipalkohitsauksessa käytetään termiä välipalkolämpötila T_i toiselle palolle ja sitä seuraaville paloille. Nämä molemmat lämpötilat ovat yleensä samat. Yksinkertaisuuden vuoksi seuraavassa käytetään pelkästään termiä esikuumentuslämpötila.

- Step 5: Determine the minimum run dimension to be used in making the butt weld. This will most often be the root run.
- Assume that this will be deposited with a 4 mm electrode with 120 % efficiency to be run out in about 260 mm.
- Refer to table C.4.3 which gives the minimum heat input for individual runs forming the butt weld of at least 1,2 kJ/mm.
- Step 6: Determine the combined thickness of the butt joint, referring to C.2.4. Assume that the calculated combined thickness is 50 mm.
- Step 7: Using figure C.2 e) plot the co-ordinates of 1,2 kJ/mm heat input and 50 mm combined thickness. Read off the minimum preheating and interpass temperature required which in this example is 75 °C.
- Variation at step 7. In the event that preheat is undesirable, proceed as follows.
- Step 8: Re-examine figure C.2 e) to determine the minimum heat input for no preheat (20 °C line, normally).
- For the butt-weld example this is 1,4 kJ/mm.
- Step 9: If by reference to table C.4.3 and consideration of the welding position this heat input is feasible, proceed using the electrode diameter and run length chosen from table C.4.3.
- If this is not feasible, proceed to step 10.
- Step 10: Using figures C.2 a) and C.2 d) examine the feasibility of using lower hydrogen levels (by the use of higher electrode drying temperatures or change of consumables or change of welding process) to avoid the need for preheat at the acceptable heat input levels.

C.3 Method B for the avoidance of hydrogen cracking in non-alloyed, fine grained and low alloy steels

C.3.1 General

This method covers the arc welding of steels of the groups 1 to 4 as specified in CR ISO 15608. The recommendations given in this annex should be considered in the relevant WPS.

A very effective means to avoid cold cracking is preheating of the weld to higher temperatures to delay the cooling of the weld region and thereby promotes hydrogen effusion in a shorter time to a higher extent after welding than without preheating. Preheating furthermore reduces the state of internal stresses. For multilayer welds it is possible to start without preheating if a sufficiently high interpass temperature can be reached and maintained by a suitable welding sequence.

Basis of this recommendation are extensive examinations of cold cracking behaviour of steels in welding, performed on the weld itself or using special cold cracking tests. Fillet welds have also been examined. It was found out that single-layer fillet welds have a lower internal stress than butt welds. The preheat temperatures determined for butt welds therefore can be about 60 °C too high for fillet welds. Depending on his experience, it is up to the manufacturer to make use of this advantage. In terms of determining the preheat temperatures for fillet and butt welds with different plate thicknesses, the preheat temperature shall be calculated on the basis of the thicker plate. Multi-layer fillet welds and butt welds have similar stress conditions. Therefore, the same preheat temperature as for butt welds shall be used to avoid cold cracks.

The lowest temperature before starting the first run and below which the weld region shall not fall during welding, in the interest of avoiding cold cracking, is designated the preheat temperature T_p . In case of multipass welding, the term also used for this temperature in reference to the second and all ensuing runs is the minimum interpass temperature T_i . Both temperatures are generally identical. For reasons of simplicity, therefore, only the term 'preheat temperature' is used in the following.

C.3.2 Hitsien vetyhalkeilukäyttäytymiseen vaikuttavia tekijöitä

Hitsausliitosten vetyhalkeilukäyttäytymiseen vaikuttavat perusaineen ja hitsiaineen kemiallinen koostumus, aineenpaksuus, hitsiaineen vetypitoisuus, lämmöntuonti ja jännitystila. Suuri seosainepitoisuus, aineenpaksuus ja vetypitoisuus lisäävät vetyhalkeiluriskiä, kun taas lämmöntuonnin suurentaminen puolestaan pienentää sitä.

C.3.2.1 Perusaine

Kemiallisen koostumuksen vaikutusta terästen vetyhalkeilukäyttäytymiseen havainnollistetaan hiiliekvivalentin (*CET*) avulla, joka kertoo yksittäisten seosaineiden vaikutukset:

$$CET = C + \frac{Mn + Mo}{10} + \frac{Cr + Cu}{20} + \frac{Ni}{40} \quad (\%) \quad (C.2)$$

Kaava soveltuu teräksille, joiden seosainepitoisuudet ovat seuraavissa rajoissa:

- hiili: 0,05...0,32 %
- pii: max. 0,8 %
- mangaani: 0,5...1,9 %
- kromi: max. 1,5 %
- kupari: max. 0,7 %
- molybdeeni: max. 0,75 %
- niobi: max. 0,06 %
- nikkeli: max. 2,5 %
- titaani: max. 0,12 %
- vanadiini: max. 0,18 %
- boori: max. 0,005 %

Hiiliekvivalentin *CET* ja esikuumennuslämpötilan T_p (tai välipalkolämpötilan T_i) välillä vallitsee lineaarinen riippuvuus, kuten on esitetty kuvassa C.3. Kuvasta voidaan päätellä, että 0,01 %:n lisäys hiiliekvivalentissa *CET* johtaa noin 7,5 °C:teen lisäykseen esikuumennuslämpötilassa.

$$T_{pCET} = 750 \times CET - 150 \quad (^\circ\text{C}) \quad (C.3)$$

C.3.2 Factors influencing the cold cracking behaviour of welds

The cold cracking behaviour of welded joints is influenced by the chemical composition of the parent metal and weld metal, the plate thickness, the hydrogen content of weld metal, the heat input during the welding, and the stress level. An increase of alloy content, plate thickness and hydrogen content increases the risk of cold cracking. An increase of heat input, in contrast, reduces it.

C.3.2.1 Base material

The influence of the chemical composition on the cold cracking behaviour of steels is characterized by means of carbon equivalents (*CET*). This formula provides information on the effect on the individual alloying elements on these properties in relation to that of the carbon.

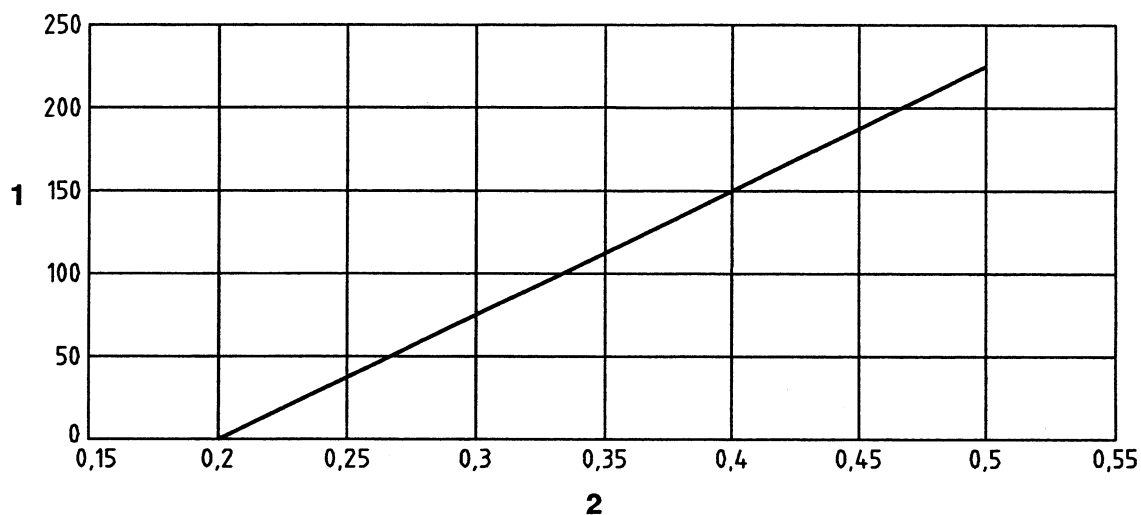
$$CET = C + \frac{Mn + Mo}{10} + \frac{Cr + Cu}{20} + \frac{Ni}{40} \text{ in } \% \quad (C.2)$$

It applies to the following range of concentrations (percentage by weight):

— Carbon	0,05 to 0,32
— Silicon	max. 0,8
— Manganese	0,5 to 1,9
— Chromium	max. 1,5
— Copper	max. 0,7
— Molybdenum	max. 0,75
— Niobium	max. 0,06
— Nickel	max. 2,5
— Titanium	max. 0,12
— Vanadium	max. 0,18
— Boron	max. 0,005

A linear relationship exists between the carbon equivalent, *CET*, and the preheat temperature T_p (or interpass temperature T_i) as shown in figure C.3. It can be seen that an increase of around 0,01 % in the carbon equivalent *CET* leads to an increase of around 7,5 °C in the preheat temperature.

$$T_{pCET} = 750 \times CET - 150 \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (C.3)$$



Selitykset

1 T_{pCET} (°C)

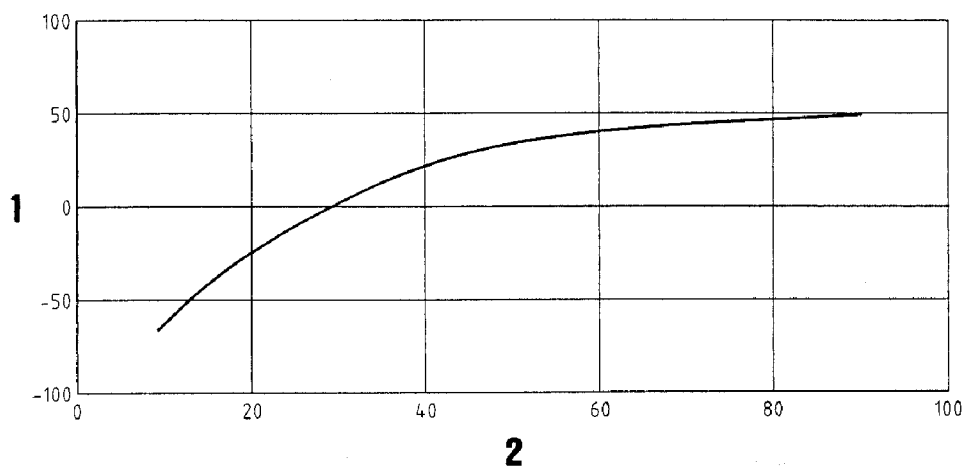
2 Hiilikvivalentti CET (%)

Kuva C.3 Esikuumennustilalla hiilikvivalentin CET funktiona

C.3.2.2 Levynpaksuus

Aineenpaksuuden d ja esikuumennustilalla T_p välinen yhteys on esitetty kuvassa C.4. Kuvasta voidaan nähdä, että muutos aineenpaksuudessa ohuilla paksuuksilla aiheuttaa suuremman muutoksen esikuumennustilassa. Aineenpaksuuden kasvaessa tämä vaikutus vähenee ja on ainoastaan hyvin pieni aineenpaksuuksilla yli 60 mm.

$$T_{pd} = 160 \times \tanh\left(\frac{d}{35}\right) - 110 \text{ (°C)} \quad (C.4)$$

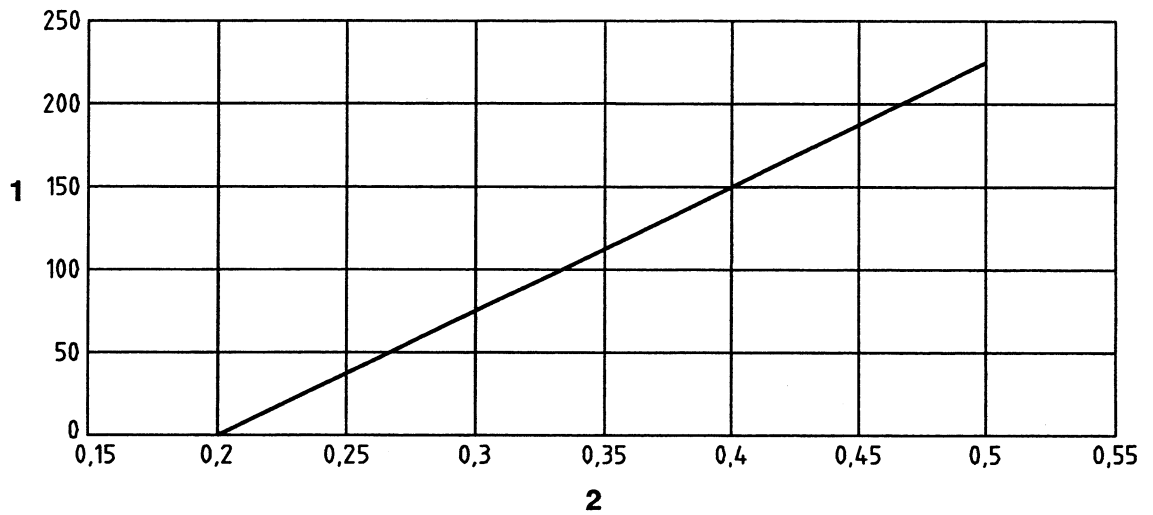


Selitykset

1 T_{pd} (°C)

2 Aineenpaksuus d (mm)

Kuva C.4 Esikuumennustilalla aineenpaksuuden d funktiona



Key

1 T_{pCET} in °C

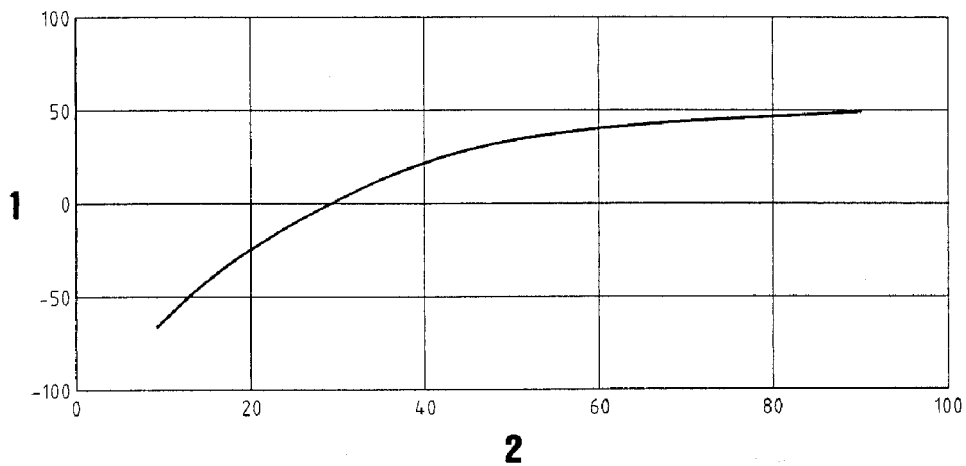
2 Carbon equivalent CET in %

Figure C.3 Preheat temperature as a function of carbon equivalent, CET

C.3.2.2 Plate thickness

The relationship between plate thickness d and preheat temperature T_p can be seen in figure C.4. It can be seen that for thinner material, a change in the plate thickness results in a greater change in preheat temperature. However, with increasing material thickness the effect is reduced and is only very minor above 60 mm.

$$T_{pd} = 160 \times \tanh\left(\frac{d}{35}\right) - 110 \text{ (°C)} \quad (\text{C.4})$$



Key

1 T_{pd} in °C

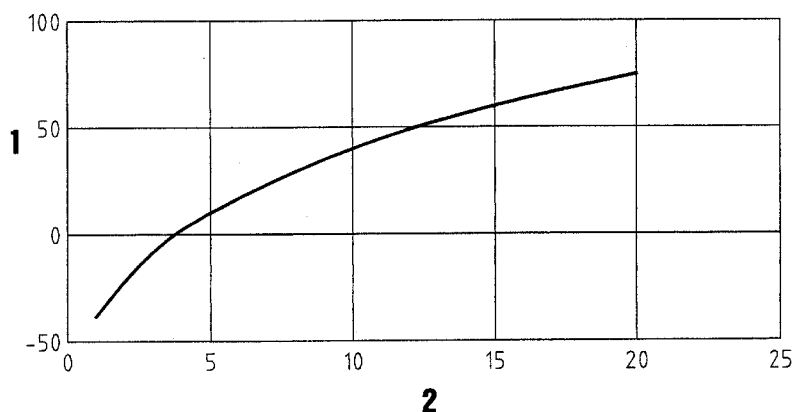
2 Plate thickness d in mm

Figure C.4 Preheat temperature as a function of plate thickness, d

C.3.2.3 Vetypitoisuus

Hitsiaineen vetypitoisuuden HD (määritetty standardin ISO 3690 mukaan) vaikutus esikuumennuslämpötilaan on esitetty kuvassa C.5. Kuvasta voidaan nähdä, että lisäys vetypitoisuudessa nostaa tarvittavaa esikuumennuslämpötilaa. Vetypitoisuuden muutoksen vaikutus esikuumennuslämpötilaan on suurempi pienillä pitoisuuksilla kuin suurilla pitoisuuksilla.

$$T_{pHD} = 62 \times HD^{0,35} - 100 \text{ (}^{\circ}\text{C)} \quad (\text{C.5})$$



Selitykset

1 T_{pHD} ($^{\circ}\text{C}$)

2 Vetypitoisuus HD (ml/100 g)

Kuva C.5 Esikuumennuslämpötila hitsiaineen vetypitoisuuden funktiona

C.3.2.4 Lämmöntuonti

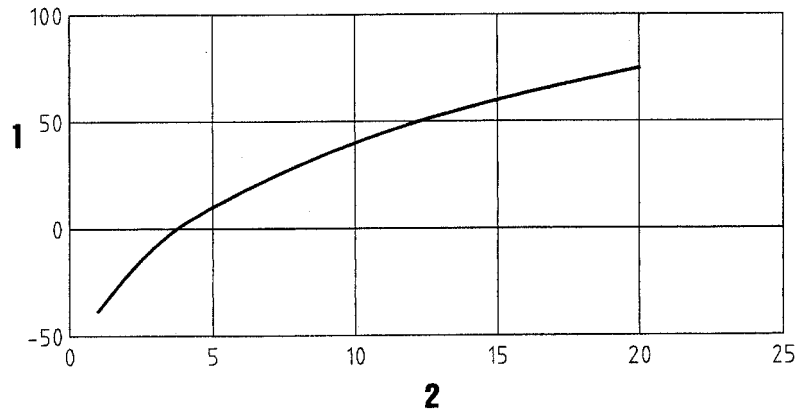
Lämmöntuonnin Q vaikutus esikuumennuslämpötilaan voidaan nähdä kuvasta C.6. Lämmöntuonnin suurentaminen hitsauksessa pienentää esikuumennusta. Lisäksi vaikutus riippuu seosaineiden pitoisuuksista ja on suurempi teräksillä, joilla on matala hiiliekvivalentti.

$$T_{pQ} = (53 \times CET - 32) \times Q - 53 \times CET + 32 \text{ (}^{\circ}\text{C)} \quad (\text{C.6})$$

C.3.2.3 Hydrogen content

The effect of hydrogen content HD of the weld metal in accordance with ISO 3690 on preheat temperature is shown in figure C.5. It can be seen that an increase of the hydrogen content requires an increase of the preheat temperature. A change in the hydrogen content has a greater effect on the preheat temperature for lower concentrations than high ones.

$$T_{pHD} = 62 \times HD^{0,35} - 100 \text{ (}^{\circ}\text{C)} \quad (\text{C.5})$$



Key

1 T_{pHD} in $^{\circ}\text{C}$

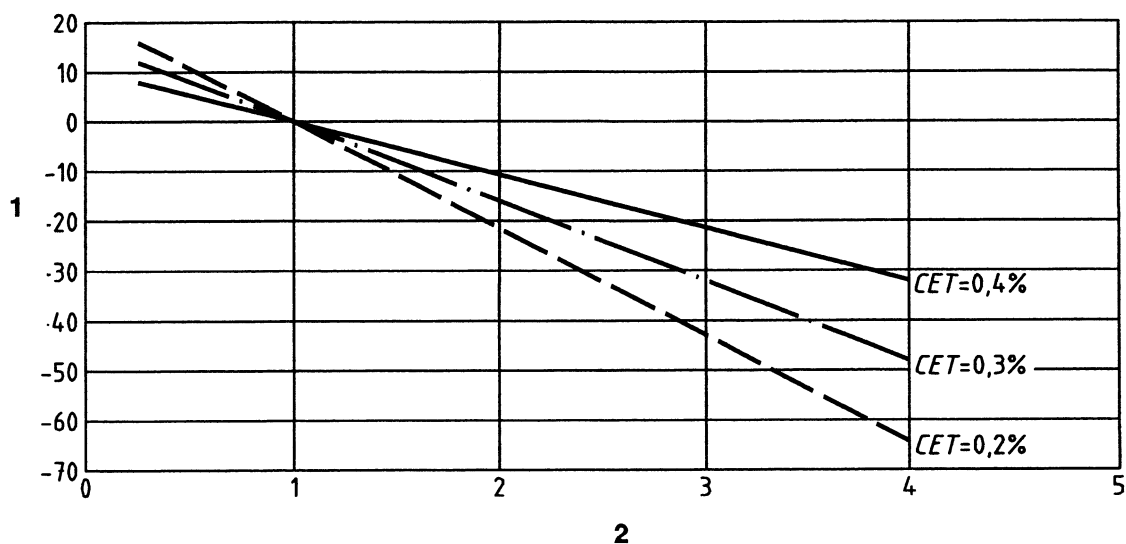
2 Hydrogen content HD in ml/100 g

Figure C.5 Preheat temperature as a function of weld metal hydrogen content

C.3.2.4 Heat input

The influence of the heat input, Q , on the preheat temperature can be seen in figure C.6. It can be seen that an increased heat input during welding permits a reduction of preheat temperature. Furthermore, the influence is dependent on alloy content and is more pronounced for a low carbon equivalent than for a high one.

$$T_{pQ} = (53 \times CET - 32) \times Q - 53 \times CET + 32 \text{ (}^{\circ}\text{C)} \quad (\text{C.6})$$



Selitykset

1 T_{pQ} (°C)

2 Lämmöntuonti (kJ/mm)

Kuva C.6 Esikumennuslämpötilä lämmöntuonnin funktiona

C.3.2.5 Sisäiset jännitykset

Tällä hetkellä sisäisten jännitysten ja esikumennuslämpötilän välinen yhteys on kvalitatiivisesti tunnettu vain tiettyyn laajuuteen saakka. Esikumennuslämpötilän laskentakaavan C.8 johtamisen yhteydessä on oletettu, että sisäiset jännitykset ovat hitsausvyöhykkeellä yhtä suuret kuin perusaineen tai vastaavasti hitsiaineen myötölujuus.

C.3.3 Esikumennuslämpötilän laskeminen

Esikumennuslämpötilän T_p laskemista varten voidaan yhdistää kemiallinen koostumus ilmaistuna hiiliekvivalentilla CET , aineenpaksuus d , hitsiaineen vetypitoisuus HD ja lämmöntuonti Q :

$$T_p = T_{pCET} + T_{pd} + T_{pHD} + T_{pQ} \text{ (°C)} \quad (C.7)$$

Esikumennuslämpötilä voidaan laskea seuraavan kaavan avulla:

$$T_p = 697 \times CET + 160 \times \tanh(d/35) + 62 \times HD^{0.35} + (53 \times CET - 32) \times Q - 328 \text{ (°C)} \quad (C.8)$$

Tämä kaava pätee rakenneteräksille, joiden myötölujuus on alle 1000 N/mm^2 , seuraavilla edellytyksillä:

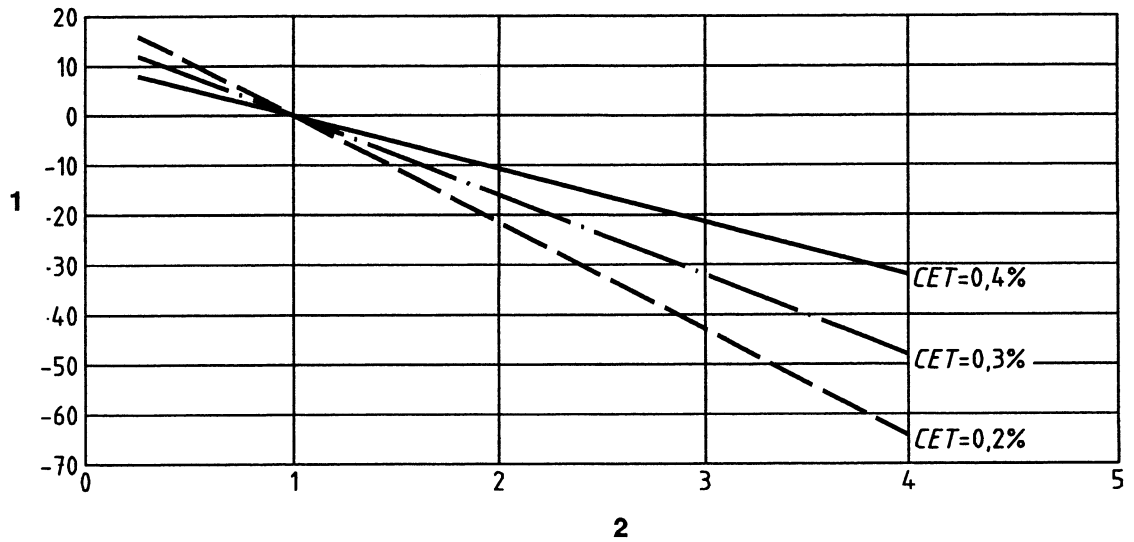
$$CET = 0,2...0,5 \%$$

$$d = 10...90 \text{ mm}$$

$$HD = 1...20 \text{ ml/100g}$$

$$Q = 0,5...4,0 \text{ kJ/mm}$$

Kokemuksen mukaan esikumennuslämpötilä voidaan laskea kaavojen C.7 tai C.8 avulla edellyttäen, että seuraavat ehdot täyttyvät:



Key

- 1 T_{pQ} in °C
- 2 Heat input in kJ/mm

Figure C.6 Preheat temperature as a function of heat input

C.3.2.5 Internal stress

At present, the relationship between the internal stress level and the preheat temperature is known only to a certain qualitative extent. An increase of the internal stresses and of the tri-axiality of the stress state results in an increase of the preheat temperature. In deriving equation C.8 for calculating the preheat temperature, it has been assumed that the internal stresses present in the weld region are equal to the yield strength of the parent material and the weld metal respectively.

C.3.3 Calculation of the preheat temperature

The effects of chemical composition, characterized by the carbon equivalent, *CET*, the plate thickness *d*, the hydrogen content of the weld metal, *HD*, and the heat input, *Q*, can be combined by the formula given below to calculate the preheat temperature, T_p .

$$T_p = T_{pCET} + T_{pd} + T_{pHD} + T_{pQ} \text{ (°C)} \tag{C.7}$$

The preheat temperature can also be calculated according to the following formula:

$$T_p = 697 \times CET + 160 \times \tanh(d/35) + 62 \times HD^{0,35} + (53 \times CET - 32) \times Q - 328 \text{ (°C)} \tag{C.8}$$

This relationship is valid for structural steels with a yield strength up to 1000 N/mm² and

$$CET = 0,2 \% \text{ to } 0,5 \%$$

$$d = 10 \text{ mm to } 90 \text{ mm}$$

$$HD = 1 \text{ ml/100 g to } 20 \text{ ml/100 g}$$

$$Q = 0,5 \text{ kJ/mm to } 4,0 \text{ kJ/mm}$$

According to experience, the preheat temperatures calculated with the aid of equation C.7 or C.8, respectively, apply, provided that the following conditions are fulfilled:

- a) Perusaineen hiiliäkivivalentti *CET* ylittää hitsiaineen hiiliäkivivalentin vähintään arvolla 0,03 %. Muutoin esikuumennuslämpötilan laskeminen pitää perustua hitsiaineen hiiliäkivivalentin *CET* arvoon, johon lisätään vielä 0,03 %.
- b) Yksipalkopienahitsien, siltahitsien ja pohjapalkojen pituus on vähintään 50 mm. Kun aineenpaksuus on yli 25 mm, siltahitsit ja pohjapalot on hitsattava kahdella palolla käyttäen seostamatonta ja sitkeää hitsiainetta.
- c) Välipalkojen hitsauksessa, mihin luetaan myös monipalkopienahitsaus, välipalkolämpötila ei saa laskea alle vaaditun vähimmäislämpötilan niin kauan kuin hitsin paksuus on alle kolmasosa aineenpaksuudesta. Muussa tapauksessa on tarpeen tehdä vetypitoisuuden alentamiseksi jälkikuumennus.
- d) Hitsausjärjestys pitää olla sellainen, että osittain täyteen hitsattuun hitsiin ei kohdistu voimakasta plastista muodonmuutosta.

C.3.4 Esikuumennuslämpötilan graafinen määrittäminen

Esikuumennuslämpötilan T_p ja aineenpaksuuden d välinen yhteys on esitetty eri hiiliäkivivalentin *CET* ja lämmöntuonnin Q yhdistelmille kuvassa C.7, mikä perustuu kaavaan C.8. Käyrät on vielä esitetty kuvissa eri hitsiaineen vetypitoisuuksilla *HD*.

Jos on määritettävä esikuumennuslämpötila tietylle teräkselle tai hitsiaineelle, jonka hiiliäkivivalentti *CET* tunnetaan, diagrammista valitaan lähin mahdollinen *CET* ja lämmöntuonti. Esikuumennuslämpötila saadaan diagrammista kyseiselle aineenpaksuudelle ja vetypitoisuudelle.

Jos hiiliäkivivalentti ja lämmöntuonti eivät täsmää diagrammissa olevien arvojen kanssa, esikuumennuslämpötilaa pitää korjata. Jokainen 0,01 %-n ero hiiliäkivivalentissa *CET* vastaa lämpötilan 7,5 °C korjausta. Lämmöntuonnin korjaus saadaan kuvasta C.6.

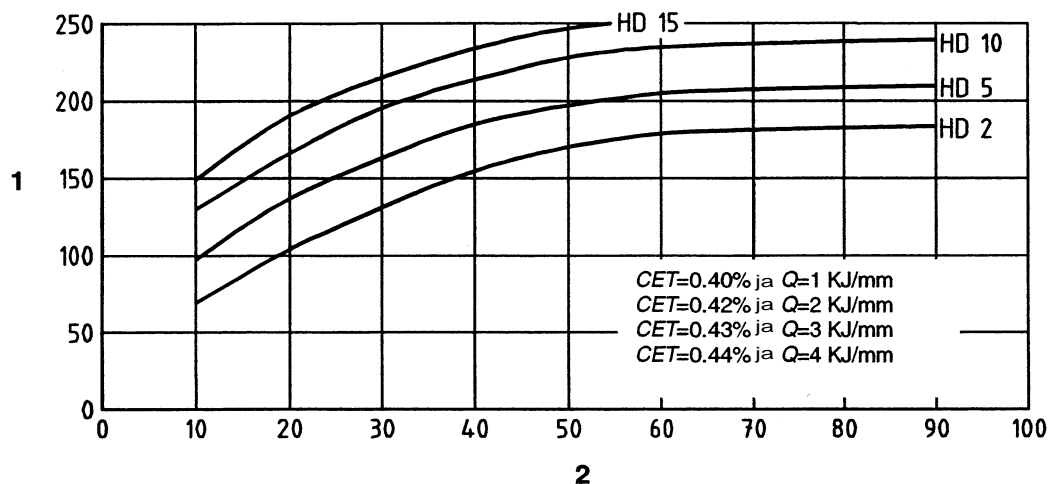
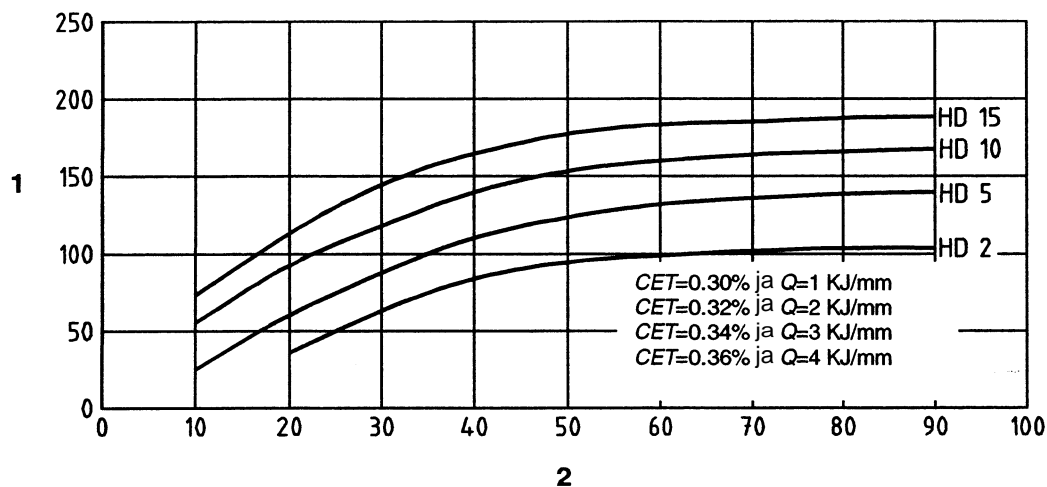
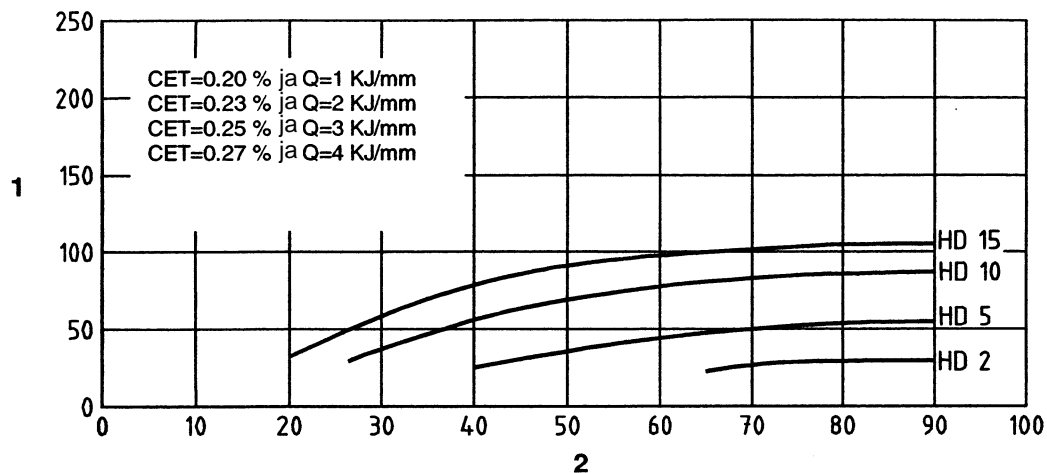
- a) The carbon equivalent, *CET*, of the parent metal exceeds that of the weld metal by at least 0,03 %. Otherwise, the calculation of the preheat temperature has to be based on the *CET* of the weld metal increased by 0,03 %.
- b) Single-pass fillet, tack and root welds have a minimum length of 50 mm. If the plate thickness exceeds 25 mm, tack and root passes are deposited in two layers using a mild ductile weld metal.
- c) In the case of filler pass welding, which also includes multipass fillet welds, no interpass cooling takes place as long as the weld thickness has not yet attained one third of the plate thickness. Otherwise, it is necessary to reduce the hydrogen content by means of a postheating treatment.
- d) The welding sequence shall be selected in such a way that the strong plastic deformations of the only partly filled welds are avoided.

C.3.4 Graphical determination of preheat temperatures

The relationship between preheat temperature, T_p , and plate thickness, d , for selected combinations of the carbon equivalent, *CET*, and the heat input, Q , can be seen in figure C.7 based on equation C.8. The curves displayed in the individual diagrams apply in each case to different hydrogen concentrations of the weld metal.

If the preheat temperature is to be determined for a certain steel or a weld metal, characterized by its carbon equivalent, *CET*, then the diagram with the nearest possible *CET* and heat input has to be selected. The preheat temperature is obtained from this diagram for the plate thickness and hydrogen content in question.

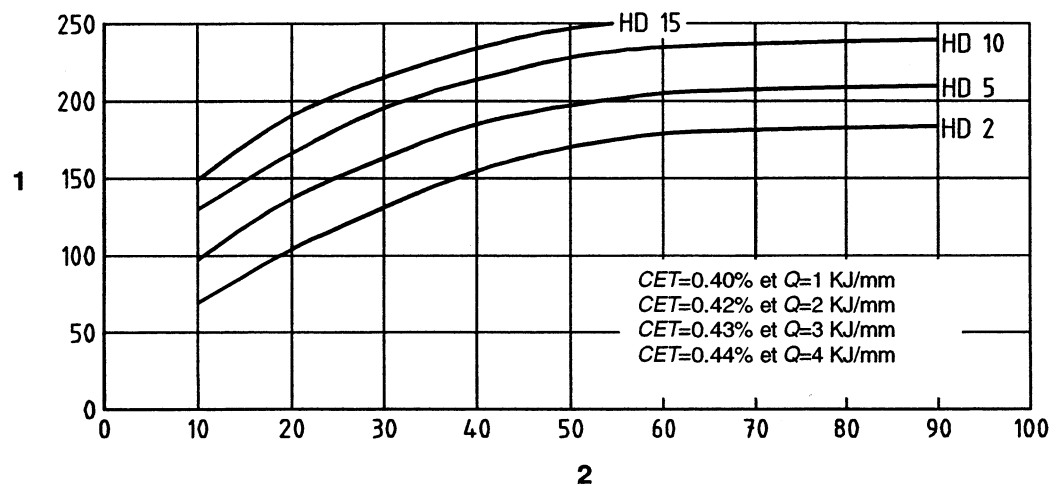
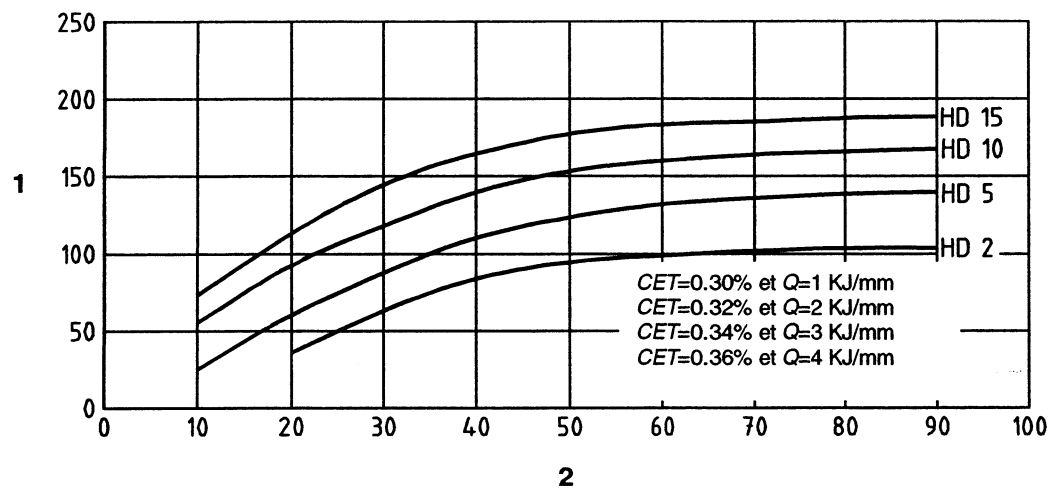
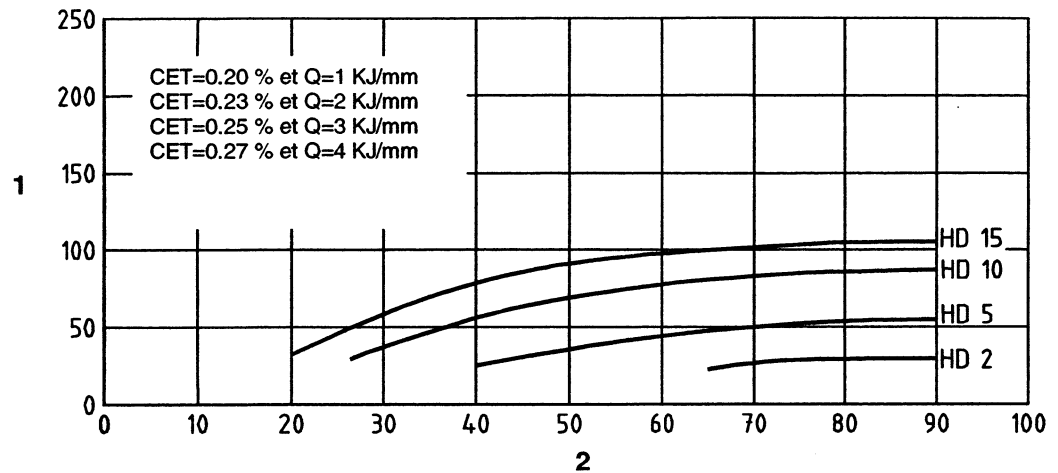
If the carbon equivalent and the heat input in the diagram do not agree with the actual values, the inferred preheat temperature shall be corrected. A correction of 7,5 °C has to be made for every 0,01 % difference in the *CET*. The correction regarding the heat input can be obtained from figure C.6.



Selitykset

- 1 T_p (°C)
- 2 Aineenpaksuus d (mm)

Kuva C.7 Esikuumennustempäri T_p aineenpaksuuden funktiona eri hiiliekvivalentin ja lämmöntuonnin arvoilla



Key

- 1 T_p in °C
- 2 Plate thickness d in mm

Figure C.7 Preheat temperature T_p as a function of plate thickness

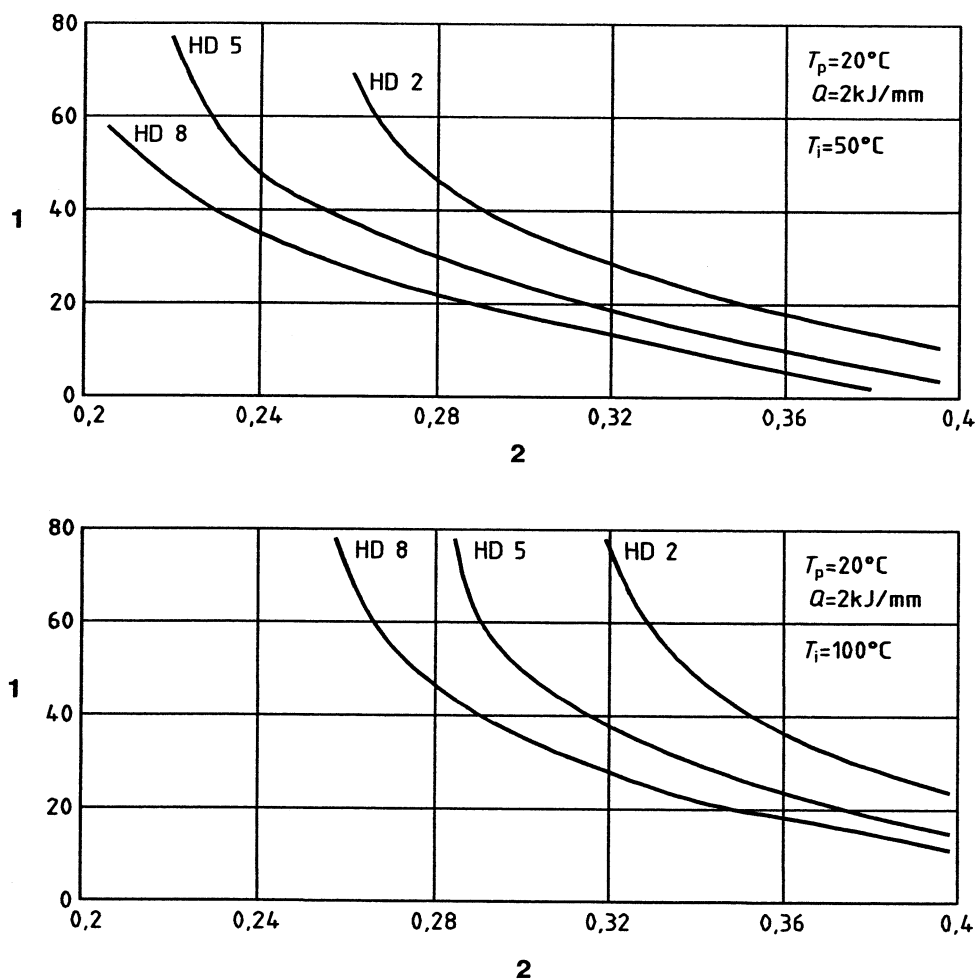
C.3.5 Vetytitoisuuden alentaminen jälkikuumennuksen avulla

Jos on riski vetyhalkeilusta, esim. kun jauhekaarella hitsataan terästä, jonka myötölujuus on yli 460 N/mm² ja aineenpaksuus on yli 30 mm, on suositeltavaa alentaa vetytitoisuutta jälkikuumennuksen avulla välittömästi hitsauksen jälkeen ilman jäähtymistä huoneenlämpötilaan, esim. 2 h/250 °C.

C.3.6 Hitsaus ilman esikuumennusta

Monipalkohitsauksessa saatetaan välttää esikuumennus pitämällä välipalkkolämpötilaa T_i yllä käyttäen sopivaa hitsausjärjestystä. Mahdollisuus tehdä hitsaus ilman esikuumennusta käyttämällä riittävän korkeaa välipalkkolämpötilaa riippuu rakenteen jäykkyysolosuhteiden lisäksi hitsattavan teräksen kemiallisesta koostumuksesta eli hiiliekvivalentista CET ja esikuumennuslämpötilasta. Kemiallisen koostumuksen kohdalla on syytä huomata, että eri seosaineiden painoarvo hiilen suhteen on erilainen hiiliekvivalenttien CE ja CET kaavoissa. Tästä syystä ei ole suositeltavaa vaihtaa suoraan CET -arvoja CE -arvoiksi eikä päinvastoin.

Kuva C.8 antaa tietoa aineenpaksuudesta, johon saakka on mahdollista eri hiiliekvivalentin ja vetytitoisuuden arvoilla normaalisti tehdä hitsausta ilman esikuumennusta pitämällä yllä välipalkkolämpötilaa 50 tai 100 °C käyttäen sopivaa hitsausjärjestystä.



Selitykset

- 1 Aineenpaksuus d (mm)
2 Hiiliekvivalentti CET (%)

Kuva C.8 Aineenpaksuuden raja hitsaukselle ilman esikuumennusta hiiliekvivalentin CET funktiona pitämällä yllä välipalkkolämpötilaa T_i 50 °C tai 100 °C

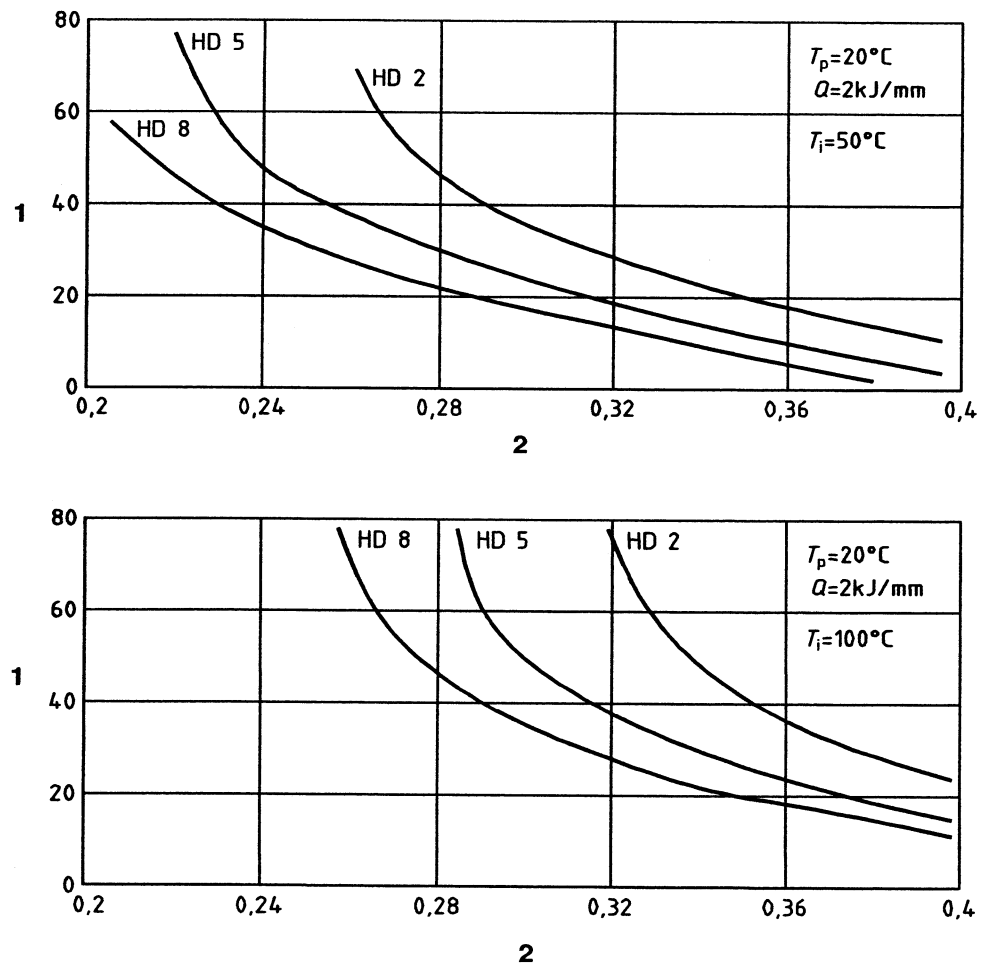
C.3.5 Reduction of the hydrogen content by means of post-heating

When there is an increased risk of cold cracking, e. g. when steels with a yield strength of more than 460 N/mm² and in thicknesses greater than 30 mm are submerged-arc welded, it is advisable to reduce the hydrogen content by means of soaking, e. g. 2 h/250 °C, immediately after the welding.

C.3.6 Welding without preheating

If multipass welding is performed, preheating may be avoided by maintaining an adequately high interpass temperature, T_i , through the use of a suitable welding sequence. The possibility of avoiding the use of preheat by maintaining a high interpass temperature depends not only on the restraint conditions of fabrication but also on the chemical composition of the steel to be welded, i.e. on the CET and the preheat temperature. It should also be noticed that the evaluation of the elements compared to carbon is remarkably different between the CE and CET . Therefore it is not advisable to convert CET -values into CE -values or vice versa.

Figure C.8 provides information about the plate thickness up to which it is possible, depending on the alloy content of the steel and hydrogen content of the weld metal, normally to avoid preheating by maintaining an interpass temperature of 50 °C or 100 °C by an appropriate weld sequence.



Key

1 Plate thickness d in mm

2 Carbon equivalent CET in %

Figure C.8 Limiting plate thickness for welding without preheating as a function of CET for minimum interpass temperatures T_i of 50 °C and 100 °C

Jos riittävän esikuumennuksen tekeminen ei ole käytännössä mahdollista, on suositeltavaa käyttää austeniittista tai Ni-pohjaista lisäainetta. Esikuumennus ei ole tarpeen, koska jännitystila hitsausliitoksessa on suhteellisen matala ja vedyn liukoisuus on austeniittiseen hitsiaineeseen suurempi kuin ferriittiseen hitsiaineeseen.

C.4 Vetyhalkeilun estäminen kuimalujien terästen ja mataliin käyttölämpötiloihin tarkoitettujen terästen hitsauksessa

C.4.1 Perusaine

Tämä liite kattaa kuimalujat teräkset ja mataliin käyttölämpötiloihin tarkoitetut nikkeliseostetut teräkset, jotka kuuluvat teknisen raportin CR ISO 15608 perusaineryhmiin 4, 5, 6 ja 7.

C.4.2 Esikuumennus- ja välipalkolämpötila

Esikuumennus- ja välipalkolämpötilat on annettu kuimalujille teräksille taulukossa C.5 ja mataliin käyttölämpötiloihin tarkoitetuille nikkeliseostetuille teräksille taulukossa C.6. Ne soveltuvat levyille, nauhoille, putkille ja takeille. Muutokset saattavat olla tarpeen ottaen huomioon erityisvaatimukset, kokemus ja käyttökohde (esim. pienahitsit, osittain täyteen hitsatut pienahitsit, yhteiden hitsit ja asennushitsit). Hyväksyntää varten pitäisi tehdä menetelmäkoe, vaikka suunnitteluohjeessa ei olisi sellaista vaatimusta.

C.4.3 Esikuumennus- ja välipalkolämpötilan valinta

Esikuumennus- ja välipalkolämpötilan vähimmäisarvo riippuu seuraavista tekijöistä:

- perusaineen ja hitsiaineen kemiallinen koostumus
- liitoksen aineenpaksuus ja liitosmuoto
- hitsausprosessi ja hitsausparametrit
- vetypitoisuus.

Taulukoissa C.5 ja C.6 on annettu myös välipalkolämpötilalle enimmäisarvo hitsauksessa.

Esikuumennus- ja välipalkolämpötilat taulukoissa C.5 ja C.6 pätevät päittäishitseille. Pienahitseissä vähimmäislämpötilan pitää olla joskus korkeampi, koska lämmönjohtuminen on nopeampi tai pienahitsi hitsataan vain osittain täyteen. Asennushitsaus voi vaatia erityistoimenpiteitä. Vetyhalkeilun estämiseksi on suositeltavaa:

- pitää yllä vähintään taulukoissa C.5 ja C.6 mainittu vähimmäislämpötila koko hitsauksen ajan
- tehdä hitsin jäähtyminen huoneenlämpötilaan hitaasti
- tehdä jälkikuumennus (vedynpoistokuumennus) erityisesti, kun joudutaan antamaan osittain täyteen hitsattujen pienahitsien jäähtyä
- harkita jälkilämpökäsittelyn tekemistä välittömästi hitsauksen jälkeen (ei koske kuitenkaan 12 % Cr-teräksiä).

In cases where adequate preheating is impracticable, it is advisable to use austenitic or Ni-based consumables. It is then possible to avoid the use of preheating because of the comparatively low internal stress level of the welded joints and the better solubility of the hydrogen in austenitic weld metal.

C.4 Avoidance of hydrogen cracking for creep resisting and low temperature steels

C.4.1 Parent metal

The parent metals covered by this annex are certain creep resisting and low temperature steels, in groups 4, 5, 6 and 7 in CR ISO 15608.

C.4.2 Preheating and interpass temperatures

The limits for preheating and interpass temperatures, which are applicable for plates, strips, pipes and forgings, are given in table C.5 for creep resisting steels and in table C.6 for low temperature steels. Alterations might be necessary with respect to special requirements, experience or applications (e.g. fillet welds, partially filled welds, nozzle weldments or site weldments). Welding procedure approval tests should be carried out even if there is no requirement in the design specification.

C.4.3 Choice of preheating and interpass temperature

The minimum preheating and interpass temperature is dependent on:

- chemical composition of parent metal and weld metal;
- thickness of the weldment and type of joint;
- welding process and parameters;
- weld hydrogen scale.

The maximum interpass temperature should be as given in tables C.5 or C.6 as appropriate.

The preheating and interpass temperatures of tables C.5 and C.6 are valid for butt welds. Fillet welds due to their increased heat sink or partially filled welds sometimes require higher minimum temperatures. Site welding can require additional precautions. In order to avoid hydrogen cracking it is advisable:

- to hold the minimum temperature given in tables C.5 or C.6 during the whole welding process;
- to cool down slowly;
- to perform a soaking treatment especially in cases where partially filled welds have to be cooled down;
- to consider whether to perform the post-weld heat treatment immediately after welding (not in the case of the 12 % Cr-steel).

Taulukko C.5 Kuumalujat teräkset – vähimmäisesiikumennus- ja välipalkolämpötila

Terästyyppi	Aineenpaksuus (mm)	Vähimmäisesiikumennus- ja välipalkolämpötila			Enimmäis- välipalko- lämpötila (°C)
		Vetyasteikko D: ≤ 5 ml/100 g (°C)	Vetyasteikko C: 5 ≤ 10 ml/100 g (°C)	Vetyasteikko A: > 15 ml/100 g (°C)	
0,3 Mo	≤ 15 > 15 ≤ 30 > 30	20 75 75	20 75 100	100 100 Ei sovellu	250
1 Cr 0,5 Mo 1,25 Cr 0,5 Mo	≤ 15 > 15	20 100	100 150	150 Ei sovellu	300
0,5 Cr 0,5 Mo 0,25 V	≤ 15 > 15	100 100	150 200	Ei sovellu Ei sovellu	300
2,25 Cr 1 Mo	≤ 15 > 15	75 100	150 200	200 Ei sovellu	350
5 Cr 0,5 Mo 7 Cr 0,5 Mo 9 Cr 1 Mo	Kaikki	150	200	Ei sovellu	350
12 Cr MoV	≤ 8 > 8	150 200 ^a 350 ^b	Ei sovellu Ei sovellu	Ei sovellu Ei sovellu	300 ^a 450 ^b

^a Martensiittinen tapa, jossa esiikumennuslämpötila on martensiittireaktion alkamislämpötilan (M_s) alapuolella ja muutos martensiitiksi tapahtuu hitsauksen aikana.

^b Austeniittinen tapa, jossa esiikumennuslämpötila on martensiittireaktion alkamislämpötilan (M_s) yläpuolella ja liitoksen annetaan jäähtyä lämpötilan (M_s) alapuolelle, jotta varmistetaan muutos martensiitiksi ennen jälkilämpökäsittelyn aloittamista.

Taulukko C.6 Matalien käyttölämpötilojen nikkelseostetut teräkset – vähimmäisesiikumennus- ja välipalkolämpötila

Terästyyppi	Aineenpaksuus (mm)	Vähimmäisesiikumennus- ja välipalkolämpötila		Enimmäisvälipalko- lämpötila (°C)
		Vetyasteikko D: ≤ 5 ml/100 g (°C)	Vetyasteikko C: 5 ml ≤ 10 ml/100 g (°C)	
3,5 Ni	Yli 10	100 ^a	150 ^a	
5,0 Ni	Yli 10	100 ^b	Ei sovellu	250
5,5 Ni	Yli 10	100 ^b	Ei sovellu	250
9,0 Ni	Yli 10	100 ^b	Ei sovellu	250

^a Esikumennuslämpötilan vähimmäisarvot ovat tyypillisiä, kun käytetään perusainetta vastaavia lisäaineita.

^b Esikumennus koskee tapauksia, joissa käytetään lähes perusainetta vastaavia lisäaineita tai hitsataan ilman lisäainetta.

5 % Ni- ja 9 % Ni-teräkset hitsataan yleensä käyttäen nikkelipohjaisia lisäaineita, jolloin esiikumennusta ei yleensä tarvita aineenpaksuuksilla alle 50 mm.

Table C.5 Creep resisting steels – minimum preheating and interpass temperature

Steel type	Thickness (mm)	Minimum preheating and interpass temperature			Maximum interpass temperature (°C)
		Scale – D Hydrogen ≤ 5 ml/100 g (°C)	Scale – C Hydrogen 5 ≤ 10 ml/100 g (°C)	Scale – A Hydrogen > 15 ml/100 g (°C)	
0,3 Mo	≤ 15 > 15 ≤ 30 > 30	20 75 75	20 75 100	100 100 Not applicable	250
1 Cr 0,5 Mo 1,25 Cr 0,5 Mo	≤ 15 > 15	20 100	100 150	150 Not applicable	300
0,5 Cr 0,5 Mo 0,25 V	≤ 15 > 15	100 100	150 200	Not applicable Not applicable	300
2,25 Cr 1 Mo	≤ 15 > 15	75 100	150 200	200 Not applicable	350
5 Cr 0,5 Mo 7 Cr 0,5 Mo 9 Cr 1 Mo	All	150	200	Not applicable	350
12 Cr Mo V	≤ 8 > 8	150 200 ^a 350 ^b	Not applicable Not applicable	Not applicable Not applicable	300 ^a 450 ^b

^a Martensitic method where the preheat temperature is below the Martensite start (M_s) temperature and transformation to martensite occurs during welding.

^b Austenitic method where the preheat temperature is above the M_s and the joint shall be allowed to cool to below the M_s to ensure transformation to martensite occurs before any post weld heat treatment is applied.

Table C.6 Low temperature steels

Steel type % element	Material thickness (mm)	Minimum preheating and interpass temperature		Maximum interpass temperature (°C)
		Scale – D Hydrogen ≤ 5 ml/100 g (°C)	Scale – C Hydrogen 5 ml ≤ 10 ml/100 g (°C)	
3,5 Ni	Over 10	100 ^a	150 ^a	
5,0 Ni	Over 10	100 ^b	Not applicable	250
5,5 Ni	Over 10	100 ^b	Not applicable	250
9,0 Ni	Over 10	100 ^b	Not applicable	250

^a The values for minimum preheat given are typical of normal production using matching composition consumables.

^b The level of preheat specified refers to those instances where near matching consumables or autogenous welding is involved.

The 5 % Ni to 9 % Ni steels are usually welded using nickel based welding consumables and preheat is not normally required up to plate thicknesses of 50 mm.

Liite D

(opastava)

Muutosvyöhykkeen sitkeys ja kovuus

D.1 Yleistä

Tämä liite kuvaa hitsausolosuhteiden vaikutusta lämpötila-aika -sykliin hitsauksen aikana ja muutosvyöhykkeen mekaaniisiin ominaisuuksiin.

D.2 Ferriittisten terästen käyttäytyminen

Ferriittisten terästen hitsauksessa hitsauslämmön vaikutuksesta syntyy hitsausliitoksen alueelle vyöhyke, jossa alkuperäinen mikrorakenne muuttuu. Mikrorakenteesta riippuen myös sitkeys ja kovuus muuttuvat.

Muutosvyöhykkeen mikrorakenteen muuttuminen riippuu pääasiassa perusaineen kemiallisesta koostumuksesta ja lämpötila-aika -syklistä hitsauksen aikana.

D.3 Terästyypin vaikutus

Muutosvyöhykkeen sitkeys riippuu mikrorakenteesta. Sitkeys heikkenee, kun raekoko kasvaa ja kovan martensiittisen ja bainiittisen mikrorakenteen määrä kasvaa.

Koska C- ja C-Mn-teräksissä ei ole austeniitin raekoon kasvua rajoittavia seosaineita, jäähtymisajan tarkka rajoittaminen on tarpeen varmistamaan riittävä sitkeys muutosvyöhykkeelle.

Mikroseostettuihin C-Mn-teräksiin on seostettu seosaineita, jotka kykenevät muodostamaan korkeissa lämpötiloissa stabiileja karbidi- ja nitridierkaumia. Nämä rajoittavat austeniitin rakeenkasvua ja edistävät ferriitin ydintymistä rakeiden sisässä austeniitin transformaation aikana. Austeniitin rakeenkasvu riippuu karbideja ja nitridejä muodostavien aineiden tyypistä ja määrästä. Tällaiset mikroseostetut teräkset eivät ole niin herkkiä sitkeyden heikkenemiselle muutosvyöhykkeellä kuin tavanomaiset teräkset.

Niukkaseosteiset ferriittiset teräkset, esim. nuorrutetut teräkset, kuormalujat teräkset ja matalien käyttölämpötilojen nikkeli-seostetut teräkset käyttäytyvät kemiallisen koostumuksensa mukaan, mihin ei voi kuitenkaan antaa yleistä mallia.

D.4 Hitsausolosuhteiden vaikutus mekaanisiin ominaisuuksiin

Lämpötila-aika -sykliillä hitsauksen aikana on huomattava vaikutus hitsausliitoksen mekaanisiin ominaisuuksiin. Tähän sykliin vaikuttavat erityisesti aineenpaksuus, hitsityyppi, lämmöntuonti (ks. EN 1011-1:1998) ja esikuumennuslämpötila. Yleensä käytetään jäähtymisaikaa $t_{8/5}$ kuvaamaan hitsipalon lämpötila-aika -sykliä hitsauksen aikana. Tällä ajalla tarkoitetaan lämpötila-alueen 800...500 °C (ks. D.5) ohittamiseen kulunutta aikaa.

Kun jäähtymisaika $t_{8/5}$ kasvaa, iskusitkeys yleensä heikkenee, mikä ilmenee muutosvyöhykkeen iskuenergian laskuna ja transitiolämpötilana nousuna (ks. kuva D.1). Sitkeyden heikkeneminen riippuu teräksen tyypistä ja kemiallisesta koostumuksesta.

Kun jäähtymisaika $t_{8/5}$ kasvaa, kovuus muutosvyöhykkeellä laskee (ks. kuva D.2).

D.5 Jäähtymisaikakäsite

Jos iskuenergian arvo ei saa laskea muutosvyöhykkeellä määritetyn arvon alle, hitsausolosuhteet on valittava niin, että annettua jäähtymisaikaa $t_{8/5}$ ei ylitetä. Jos puolestaan kovuuden arvo muutosvyöhykkeellä ei saa ylittää määritettyä arvoa, silloin hitsausolosuhteet on valittava niin, että jäähtymisaika $t_{8/5}$ ei alita annettua arvoa. Tätä tarkastelutapaa varten tarvitsee tietää jäähtymisajan $t_{8/5}$ vaikutus iskuenergiakäyriin, transitiolämpötilaan ja kovuuteen.

Asianmukaiset jäähtymisajat $t_{8/5}$ täyttö- ja pintapalkojen hitsauksessa ovat lujille seostamattomille ja niukkaseosteisille ferriittisille teräksille välillä 10...25 s. Mikään ei kuitenkaan estä tekemästä hitsauksia niin, että jäähtymisaika $t_{8/5}$ on jokin muu,

Annex D

(informative)

Heat affected zone toughness and hardness

D.1 General

This annex describes the influence of welding conditions on the temperature/time cycles occurring during welding and on the mechanical properties in the *HAZ*.

D.2 Fundamental behaviour of ferritic steels

The welding of ferritic steels produces a zone in which the original microstructure is changed by the heat producing the weld. Depending on the microstructure, the toughness and hardness will also be changed.

The change of the microstructure in the *HAZ* depends mainly on the chemical composition of the parent metal and on the temperature/time cycles which occur during welding.

D.3 Influence of the steel type

The relationship between the *HAZ* microstructure and toughness is considered to be as follows: the toughness decreases with an increase of the grain size and an increase of the fraction of hard martensitic and bainitic microstructure constituents.

In the case of C and C-Mn steels, which do not contain any element that limits the austenite grain growth during welding, frequently only strict control of the cooling time is necessary to ensure adequate toughness in the *HAZ*.

For micro-alloyed C-Mn steels, a carefully selected combination of elements that are able to form carbide and nitride precipitates, which are stable at elevated temperature, makes it possible to limit the austenite grain growth and to promote an intragranular ferrite nucleation during the transformation of the austenite. The control of the austenite grain growth depends on the type and amount of carbide and nitride forming elements. Such steels are therefore less sensitive to deterioration of toughness in the *HAZ*.

Low alloy ferritic steels, for example quenched and tempered, creep resisting and low temperature steels, as well as Ni alloyed steels, will react according to their chemical composition, but no common behaviour can be expected.

D.4 Influence of the welding conditions on the mechanical properties

The temperature/time cycles during welding have a significant effect on the mechanical properties of a welded joint. These are particularly influenced by the material thickness, the form of weld, the heat input during welding (see EN 1011-1:1998) and the preheating temperature. Generally, the cooling time $t_{8/5}$ is chosen to characterize the temperature/time-cycle of an individual weld run during welding and is the time taken, during cooling, for a weld run and its heat affected zone to pass through the temperature range from 800 °C to 500 °C (see D.5).

Increasing values of cooling time $t_{8/5}$ generally lead to a reduction of the impact energy and a rise in the impact transition temperature of the *HAZ* (see figure D.1). The extent of deterioration of the toughness depends on the steel type and its chemical composition.

The hardness in the *HAZ* decreases with an increasing cooling time $t_{8/5}$ (see figure D.2).

D.5 Cooling time concept

If the impact energy in the *HAZ* for a particular steel is not to fall below a prescribed minimum value, then the welding conditions have to be selected in such a way that the cooling time $t_{8/5}$ is not exceeded. If a prescribed minimum hardness in the *HAZ* for a particular steel is not to be exceeded, then the welding conditions have to be selected in such a way that the cooling time $t_{8/5}$ does not fall below a certain value. For this approach, the curves for impact energy, impact transition temperature and hardness as a function of the $t_{8/5}$ should be known for the relevant steel.

For high strength unalloyed and low alloy ferritic steels, the appropriate cooling times $t_{8/5}$ of the filler and capping passes generally lie within the range 10 s to 25 s. There is nothing to prevent welds being made in these steels with other cooling

mikäli tämä on varmistettu asianmukaisella menetelmäkokeella standardin EN 288-3:1997 tai esituotannollisella kokeella standardin EN 288-8:1995 mukaan ja tulokset täyttävät vaatimukset.

Jos ei ole saatavissa käyriä, jotka osoittavat iskuenergian, transitiolämpötilan ja kovuuden välisen yhteyden jäähtymisajan $t_{8/5}$ funktiona, suositellaan hitsauskokeen tekemistä standardin EN 288-3:1997 tai EN 288-8:1995 mukaan.

D.6 Jäähtymisajan laskeminen

Hitsausolosuhteiden ja jäähtymisajan välinen yhteys voidaan esittää yhtälöillä sekä kaksidimensionaaliselle että kolmidimensionaaliselle lämmönjohtumiselle (ks. kuvat D.3 ja D.4).

Kuvassa D.4 on diagrammi, joka kuvaa transitiopaksuuden d_t , lämmöntuonnin Q ja esikuumennuslämpötilan T_p välistä yhteyttä. Se soveltuu mille tahansa hitsityypille ja hitsausprosessille. Diagrammi selvittää eri aineenpaksuuden, lämmöntuonnin ja esikuumennuslämpötilan yhdistelmille lämmönjohtumistavan, kaksi- tai kolmidimensionaalinen lämmönjohtuminen.

Jos lämmönjohtuminen on kolmidimensionaalinen, jäähtymisaika on riippumaton aineenpaksuudesta. Jäähtymisaika voidaan laskea seuraavasta yhtälöstä D.1:

$$t_{8/5} = \frac{Q}{2\pi\lambda} \times \left(\frac{1}{500 - T_0} - \frac{1}{800 - T_0} \right) \quad (D.1)$$

Seostamattomille ja niukkaseosteisille teräksille yhtälö D.1 voidaan muuntaa yhtälöksi D.2, joka ottaa huomioon liitosmuoto kertoimen F_3 taulukossa D.1:

$$t_{8/5} = (6700 - 5 T_0) \times Q \times \left(\frac{1}{500 - T_0} - \frac{1}{800 - T_0} \right) \times F_3 \quad (D.2)$$

Jos lämmönjohtuminen on kaksidimensionaalista, jäähtymisaika riippuu aineenpaksuudesta. Jäähtymisaika voidaan laskea seuraavasta yhtälöstä D.3:

$$t_{8/5} = \frac{Q^2}{4\pi\lambda\rho cd^2} \times \left(\frac{1}{(500 - T_0)^2} - \frac{1}{(800 - T_0)^2} \right) \quad (D.3)$$

Seostamattomille ja niukkaseosteisille teräksille yhtälö D.3 voidaan muuntaa yhtälöksi D.4, joka ottaa huomioon liitosmuoto kertoimen F_2 taulukossa D.1:

$$t_{8/5} = (4300 - 4,3 T_0) \times 10^5 \times \frac{Q^2}{d^2} \times \left[\left(\frac{1}{500 - T_0} \right)^2 + \left(\frac{1}{800 - T_0} \right)^2 \right] \times F_2 \quad (D.4)$$

Näissä kaavoissa käytetty lämmöntuonti Q lasketaan seuraavasti:

$$Q = \varepsilon \times E = \varepsilon \times U \times I / v \times 1000 \text{ (kJ/mm)}$$

U = kaarijännite (V)

I = hitsausvirta (A)

v = hitsausnopeus (mm/s)

k = hitsausprosessin termien hyötysuhde:

jauhekaarihitsaus (121): $\varepsilon = 1,0$

puikkohitsaus (111): $\varepsilon = 0,85$

MAG-umpilanka- ja täytelankahitsaus (135): $\varepsilon = 0,85$

times $t_{8/5}$ provided that for each individual case appropriate checks have been made on the basis of a welding procedure test according to EN 288-3:1997 or pre-production tests according to EN 288-8:1995 and provided that the structural requirements for the component are satisfied.

If no curves for the relationship of impact energy, impact transition temperature and hardness as a function of $t_{8/5}$ are available, welding procedure tests in accordance with EN 288-3:1997 or EN 288-8:1995 are recommended.

D.6 Calculation of cooling time

The relationship between the welding conditions and the cooling time can be described by equations, but a differentiation shall be made between two- and three- dimensional heat flow (see figures D.3 and D.4).

Figure D.4 is a diagram which provides information regarding the relationship between the transition thickness d_t , heat input Q and preheat temperature T_p for any type of weld and any welding process. This diagram indicates whether the heat flow is two- or three-dimensional for a particular combination of material thickness, heat input and preheat temperature.

When the heat flow is three-dimensional and the cooling time is independent of the material thickness it is calculated using equation D.1.

$$t_{8/5} = \frac{Q}{2\pi\lambda} \times \left(\frac{1}{500 - T_0} - \frac{1}{800 - T_0} \right) \quad (D.1)$$

For unalloyed and low alloyed steels the equation D.1 changes to approximately (see equation D.2) (using the appropriate shape factors F_3 given in table D.1):

$$t_{8/5} = (6700 - 5T_0) \times Q \times \left(\frac{1}{500 - T_0} - \frac{1}{800 - T_0} \right) \times F_3 \quad (D.2)$$

When the heat flow is two-dimensional and the cooling time is dependent upon the material thickness it is calculated using equation D.3.

$$t_{8/5} = \frac{Q^2}{4\pi\lambda\rho cd^2} \times \left(\frac{1}{(500 - T_0)^2} - \frac{1}{(800 - T_0)^2} \right) \quad (D.3)$$

For unalloyed and low alloyed steels the equation D.3 changes to approximately (see equation D.4) (using the appropriate shape factors F_2 given in table D.1):

$$t_{8/5} = (4300 - 4,3 T_0) \times 10^5 \times \frac{Q^2}{d^2} \times \left[\left(\frac{1}{500 - T_0} \right)^2 - \left(\frac{1}{800 - T_0} \right)^2 \right] \times F_2 \quad (D.4)$$

whereby: $Q = \varepsilon \times E = \varepsilon \times U \times I / v \times 1000$ (kJ/mm)

U in Volt

I in Ampere

v in mm/sec


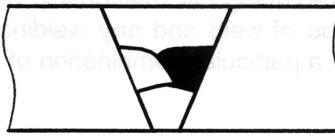
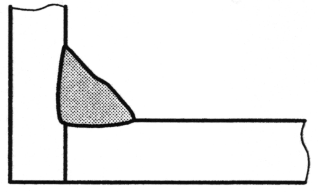
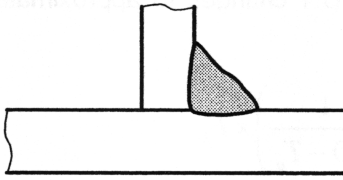
ε thermal efficiency of the welding procedure

UP (121) $\varepsilon = 1,0$

E (111) $\varepsilon = 0,85$

MAG (135) $\varepsilon = 0,85$

Taulukko D.1 Liitosmuotokertoimen vaikutus jäähtymisaikaan $t_{8/5}$

Hitsityyppi		Liitosmuotokerroin	
		F_2 kaksidimensionaalinen lämmönjohtuminen	F_3 kolmidimensionaalinen lämmönjohtuminen
Päällehitsi		1	1
Välipalot päittäishitsissä		0,9	0,9
Yksipalkopienahitsi nurkkaliitoksessa		0,9...0,67	0,67
Yksipalkopienahitsi T-liitoksessa		0,45...0,67	0,67

D.7 Jäähtymisaian $t_{8/5}$ määrittäminen diagrammien avulla

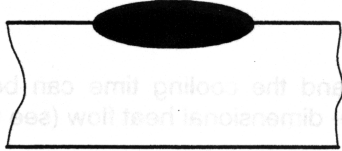

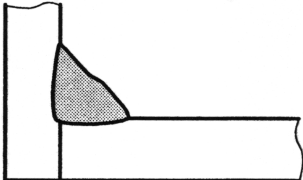
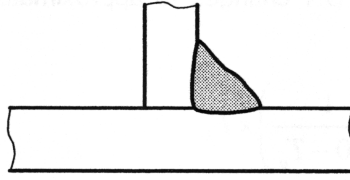
Jäähtymisaika $t_{8/5}$ voidaan määrittää kuvista D.5 ja D.6 määrätyle lämmötuonnille Q tai päinvastoin lämmötuonti määrätyle jäähtymisaialle, kun ensiksi selvitetään kuvasta D.4 lämmönjohtumistapa.

Kolmidimensionaalisesa lämmönjohtumisesa jäähtymisaian $t_{8/5}$, lämmötuonnin Q ja esikumennuslämpötilan T_p välinen yhteys on esitetty päällehitsille kuvassa D.5, jonka pohjana on yhtälö D.1. Jos diagrammia sovelletaan muihin hitsityyppisiin, tämä on otettava huomioon liitosmuotokertoimella F_3 . Jos jäähtymisaika on määritettävä tietylle lämmötuonnin ja esikumennuslämpötilan yhdistelmälle, lämmötuonti on ensin kerrottava tekijällä F_3 . Jos kuitenkin lämmötuonti pitää määrittää diagrammin avulla määrätyle jäähtymisaialle ja esikumennuslämpötilalle, silloin se pitää jakaa tekijällä F_3 .

Kaksidimensionaalisesa lämmönjohtumisesa jäähtymisaian ja lämmötuonnin Qt_0 välinen yhteys on annettu eri aineenpaksuuksille kuvassa D.6, jonka perustana on yhtälö D.2. Jos näitä diagrammeja sovelletaan muihin hitsityyppisiin, tämä on otettava huomioon liitosmuotokertoimella F_2 . Jos jäähtymisaika on määritettävä tietylle lämmötuonnin ja esikumennuslämpötilan yhdistelmälle, lämmötuonti on ensin kerrottava tekijällä $\sqrt{F_2}$. Jos kuitenkin lämmötuonti pitää määrittää diagrammista määrätyle jäähtymisaialle ja esikumennuslämpötilalle, se pitää jakaa tekijällä $\sqrt{F_2}$.

Jos kaksidimensionaalisesa lämmönjohtumisesa aineenpaksuus ei vastaa tarkasti kuvassa D.6 olevia paksuuksia, on käytettävä lähintä diagrammissa olevaa paksuutta. Tämän jälkeen saatu jäähtymisaika korjataan aineenpaksuuksien suh-

Table D.1 Influence of the form of weld on the cooling time $t_{8/5}$

Form of weld		Shape factor	
		F_2 two-dimensional heat flow	F_3 three-dimensional heat flow
Run on plate		1	1
Between runs in butt welds		0,9	0,9
Single run fillet weld on a corner-joint		0,9 to 0,67	0,67
Single run fillet weld on a T-joint		0,45 to 0,67	0,67

D.7 Diagrams for determining the cooling time $t_{8/5}$

The cooling time $t_{8/5}$ for a prescribed heat input Q or the heat input for a prescribed cooling time can also be determined on the basis of figures D.5 and D.6, having first established the type of heat flow using figure D.4.

For three-dimensional heat flow, the relationship between the cooling time $t_{8/5}$, the heat input Q , and the preheat temperature T_p is given, in the case of runs on a plate, in figure D.5 of which equation D.1 forms the basis. If this diagram is applied to other types of welds, consideration should be given to the corresponding shape factor F_3 . If the cooling time is to be determined for a particular combination of heat input and preheat temperature then the heat input should first be multiplied by F_3 . If, however, the heat input is conversely taken from the diagram for a prescribed cooling time and preheat temperature, then it should be divided by F_3 .

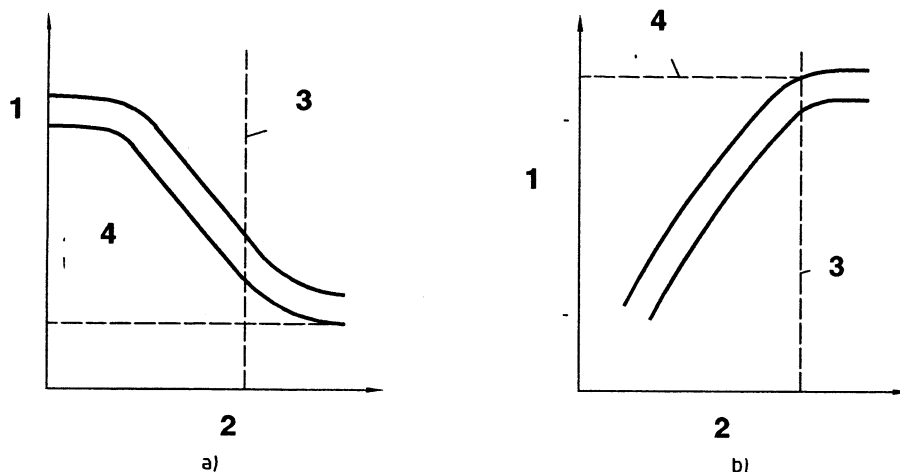
Information regarding the relationship between the cooling time and Qt_0 at two-dimensional heat flow is given for different material thicknesses in figure D.6 of which equation D.2 forms the basis. If these diagrams are to be applied to other types of weld, consideration should be given to the corresponding shape factor F_2 . For example, if the cooling time is to be determined for a particular combination of heat input and preheat temperature, then the heat input should first be multiplied by $\sqrt{F_2}$. If, however, the heat input is conversely taken from the diagram for a prescribed cooling time and preheat temperature, then it should be divided by $\sqrt{F_2}$.

If in the case of two-dimensional heat flow, the plate thickness in question does not correspond exactly with those shown in figure D.6 the diagram closest to the actual plate thickness is used. The cooling time is then corrected in accordance with

teessa vastaamaan todellista paksuutta. Tämä tehdään kertomalla diagrammista saatu jäähtymisaika diagrammista otetun aineenpaksuuden neliöllä ja jakamalla kyseessä olevan aineenpaksuuden neliöllä.

D.8 Jäähtymisaian mittaus

Hitsin jäähtymisaikojä mitataan yleensä siten, että termoelementti upotetaan hitsisulaan, mistä saadaan lämpötila-aika - sykli. Tästä käyrästä määritetään sitten jäähtymisaika.



Selitykset

- 1 Iskuenergia
- 2 Jäähtymisaika $t_{8/5}$
- 3 Yläraja sallitulle jäähtymisajalle $t_{8/5}$
- 4 Iskuenergian vähimmäisarvo

Selitykset

- 1 Iskuitkeyden transitiolämpötila
- 2 Jäähtymisaika $t_{8/5}$
- 3 Yläraja sallitulle jäähtymisajalle $t_{8/5}$
- 4 Iskuitkeyden transitiolämpötilan enimmäisarvo

Kuva D.1 Hitsausolosuhteiden vaikutus

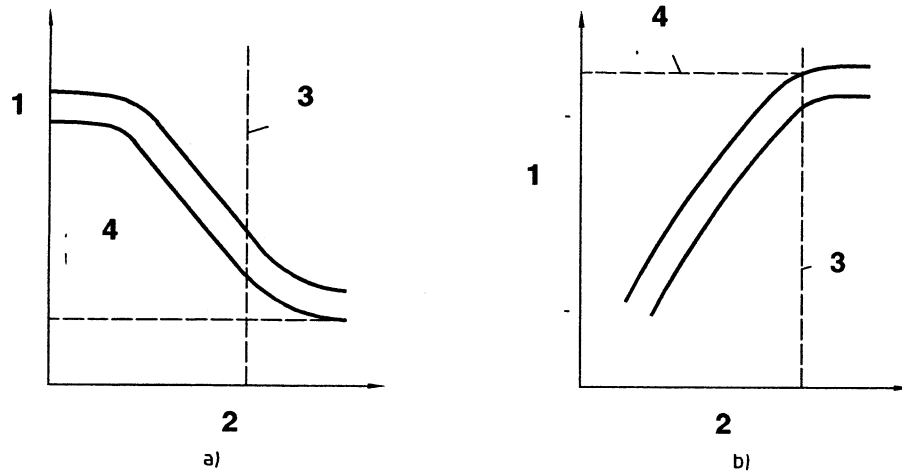
a) iskuitkeyteen

b) muutosvyöhykkeen transitiolämpötilaan T_t

the plate thickness ratio. To do this the cooling time taken from the diagram is multiplied by the square of the plate thickness taken from the diagram and divided by the square of the plate thickness in question.

D.8 Measurement of cooling time

To measure the cooling time of a weld, a thermocouple is normally immersed in the weld metal while it is still molten and the temperature/time-cycle is recorded. From the T/t curve the cooling time is derived.



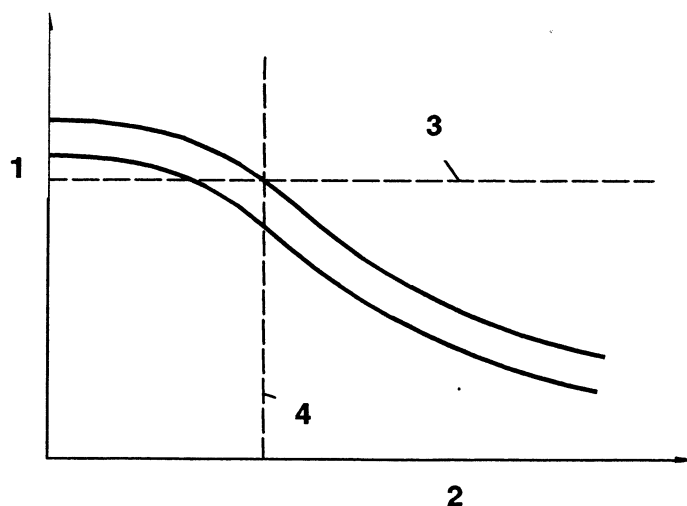
Key

- 1 Impact energy
- 2 Cooling time $t_{8/5}$
- 3 Upper limiting value of applicable cooling time $t_{8/5}$
- 4 Admissible minimum impact energy value

Key

- 1 Impact transition temperature
- 2 Cooling time $t_{8/5}$
- 3 Upper limiting value of applicable cooling time $t_{8/5}$
- 4 Admissible maximum impact transition temperature value

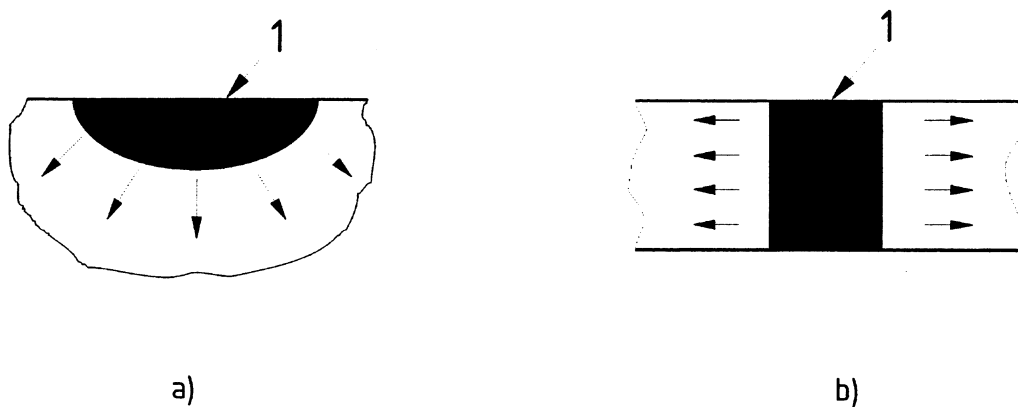
Figure D.1 Influence of the welding conditions on
a) the notch toughness
b) the transition temperature T_i in the HAZ



Selitykset

- 1 Kovuus
- 2 Jäähdytisaika $t_{8/5}$
- 3 Suurin sallittu kovuus
- 4 Pienin sallittu jäähdytisaika $t_{8/5}$

Kuva D.2 Hitsausolosuhteiden vaikutus muutosvyöhykkeen suurimpaan kovuuteen

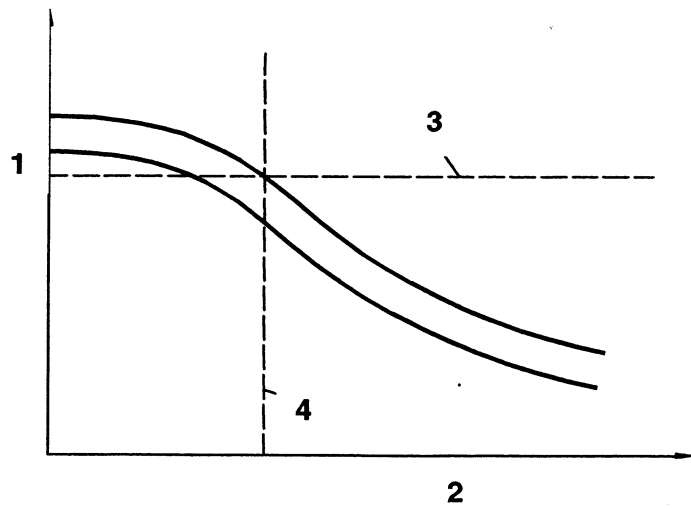


Selitykset

1 Palko

- a) Kolmidimensionaalinen lämmönjohtuminen:
Suhteellisen paksut levyt; aineenpaksuus ei vaikuta jäähdytisaikaan
- b) Kaksidimensionaalinen lämmönjohtuminen:
Suhteellisen ohuet levyt; aineenpaksuus vaikuttaa jäähdytisaikaan

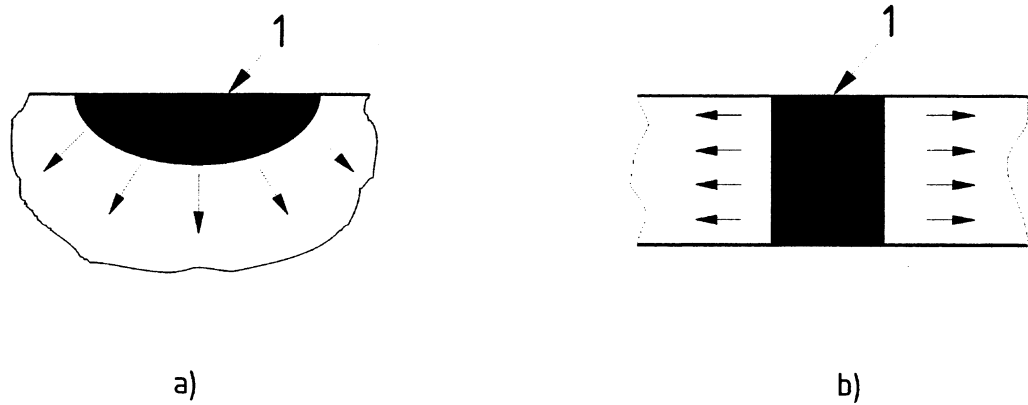
Kuva D.3 Lämmönjohtumistavat hitsauksessa



Key

- 1 Hardness
- 2 Cooling time $t_{8/5}$
- 3 Admissible maximum hardness
- 4 Lower limiting value of applicable cooling time $t_{8/5}$

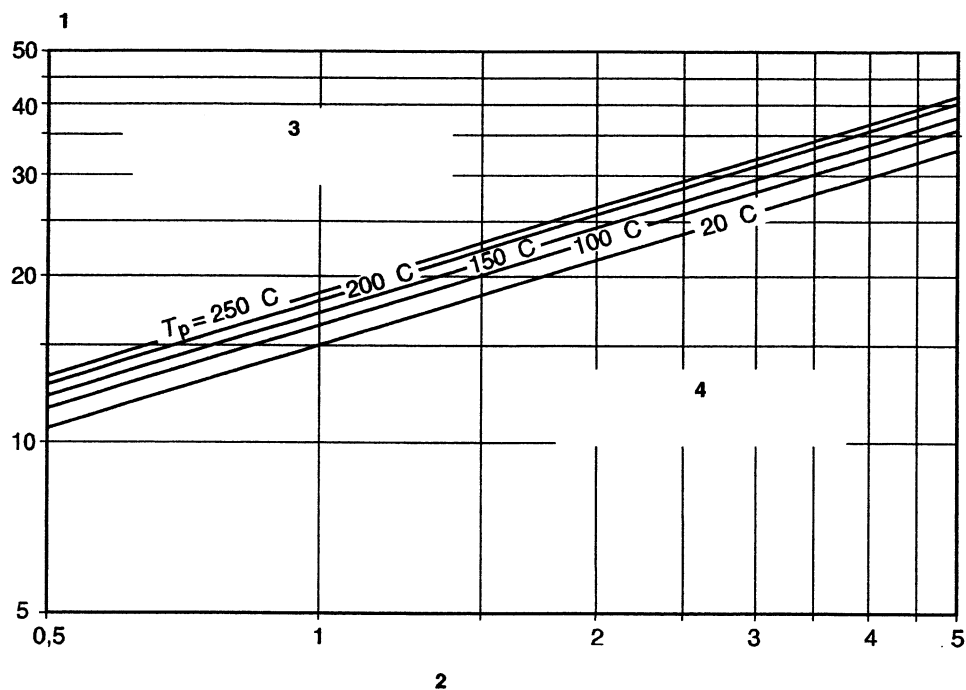
Figure D.2 Influence of the welding conditions on the maximum hardness in the HAZ



Key

- 1 Run
- a) Three-dimensional heat flow
Relatively thick plates; plate thickness does not affect the cooling time
- b) Two-dimensional heat flow
Relatively thin plates; plate thickness has a decisive influence on the cooling time

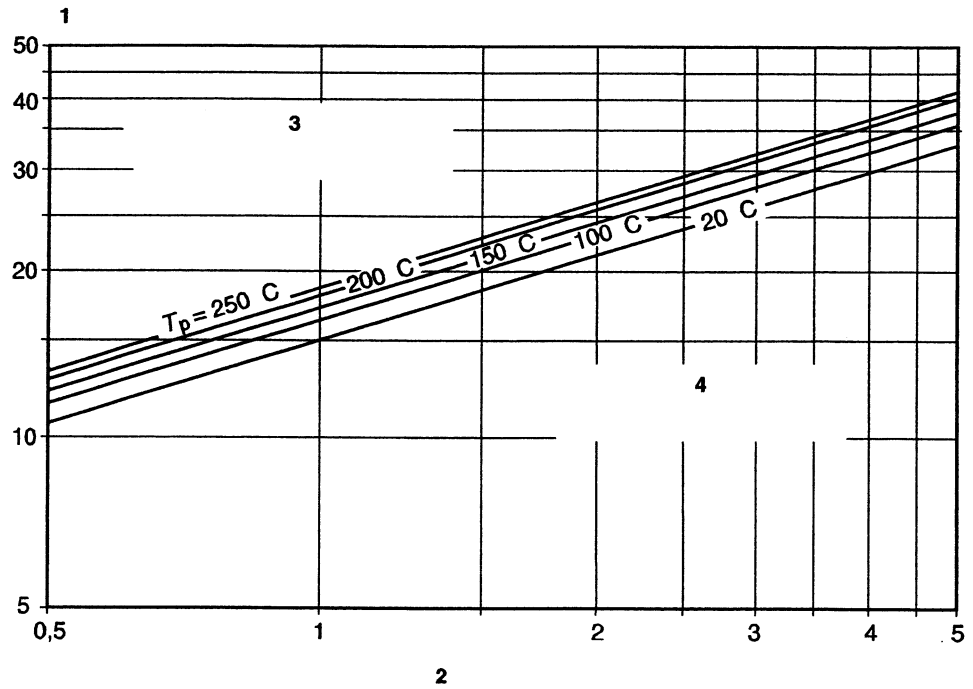
Figure D.3 Types of heat flow during welding



Selitykset

- 1 Transitiopaksuus d_t (mm)
- 2 Lämmöntuonti Q (kJ/mm)
- 3 Kolmidimensionaalinen lämmönjohtuminen
- 4 Kaksidimensionaalinen lämmönjohtuminen

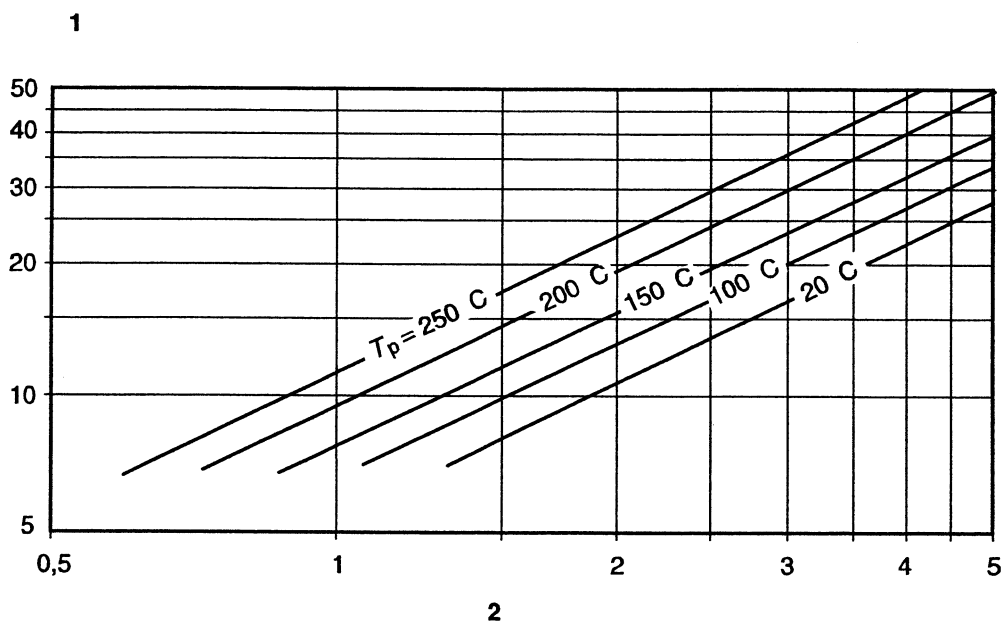
Kuva D.4 Kaksidimensionaalisen ja kolmidimensionaalisen lämmönjohtumisen välinen transitiopaksuus lämmöntuonnin funktiona eri esikuumennuslämpötiloille



Key

- 1 Transition thickness d_t (mm)
- 2 Heat input (kJ/mm)
- 3 Three-dimensional heat flow
- 4 Two-dimensional heat flow

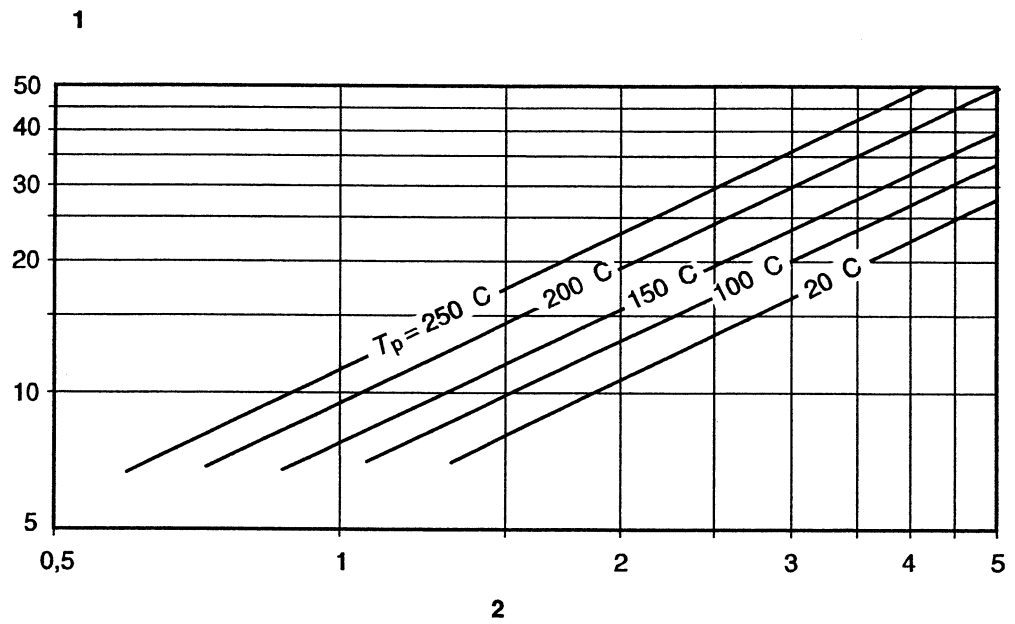
Figure D.4 Transition plate thickness from three-dimensional to two-dimensional heat flow as a function of heat input for different preheat temperatures



Selitykset

- 1 Jäähdytysaika $t_{8/5}$ (s)
- 2 Lämmöntuonti Q (kJ/mm)

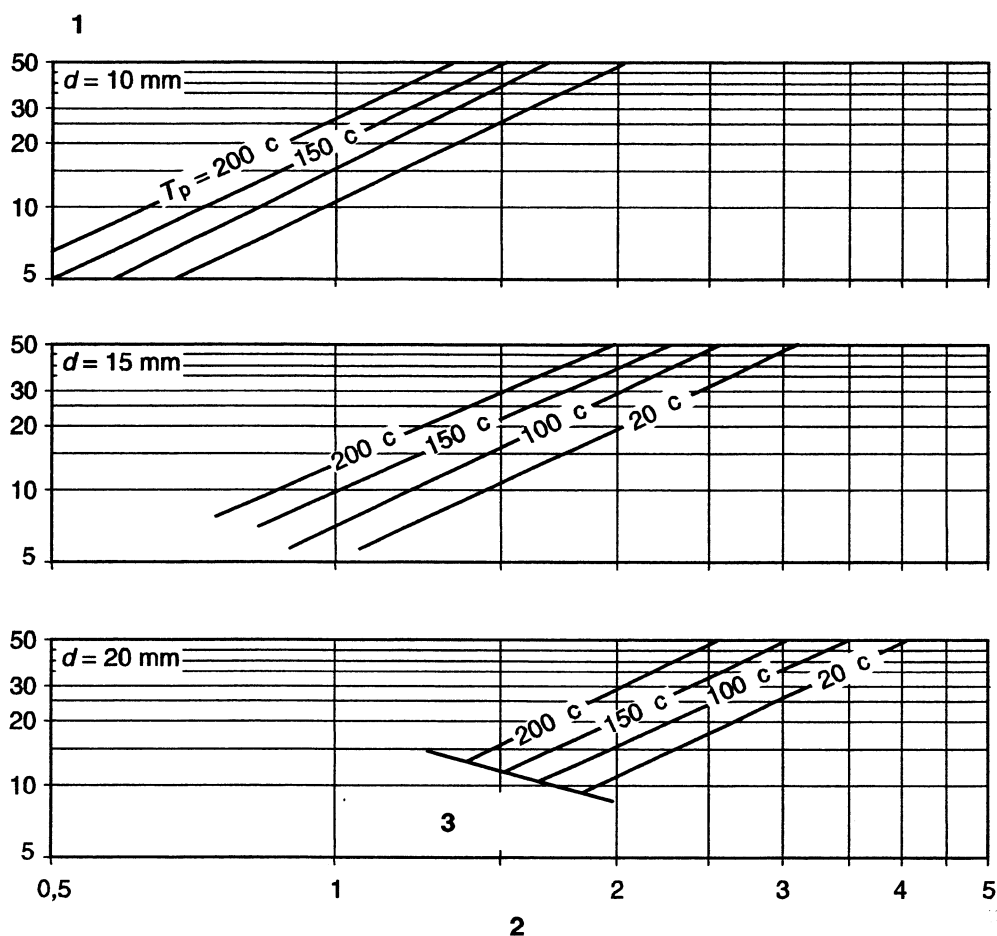
Kuva D.5 Jäähdytysaika $t_{8/5}$ kolmidimensionaaliselle lämmönjohtumiselle lämmöntuonnin funktiona eri esikuumennuslämpötiloille



Key

- 1 Cooling time $t_{8/5}$ (s)
- 2 Heat input (kJ/mm)

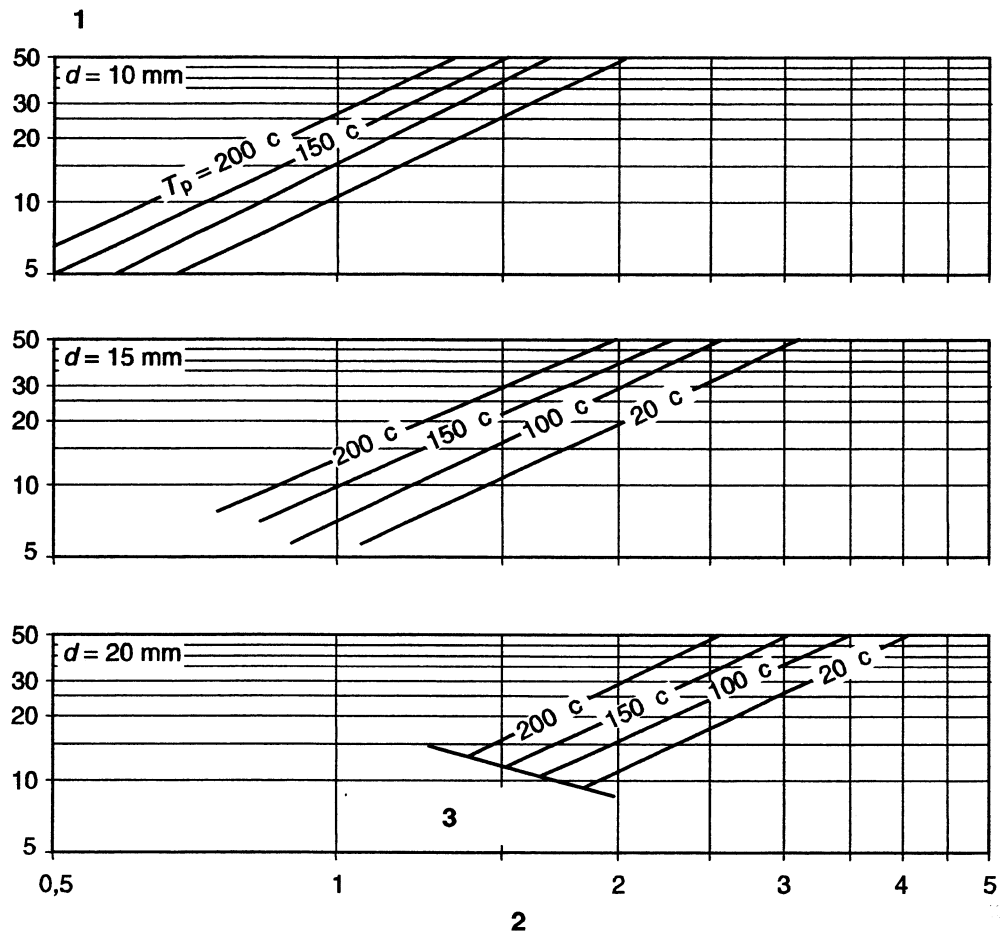
Figure D.5 Cooling time $t_{8/5}$ for three-dimensional heat flow as a function of heat input for different preheat temperatures



Selitykset

- 1 Jäähtymisaika $t_{8/5}$ (s)
- 2 Lämmöntuonti Q (kJ/mm)
- 3 Kolmidimensionaalinen lämmönjohtuminen

Kuva D.6 Jäähtymisaika $t_{8/5}$ kaksidimensionaaliselle lämmönjohtumiselle lämmöntuonnin funktiona eri esikuumennuslämpötiloille eri aineenpaksuuksilla



Key

- 1 Cooling time $t_{8/5}$ (s)
- 2 Heat input (kJ/mm)
- 3 Three-dimensional heat flow

Figure D.6 Cooling time $t_{8/5}$ for two-dimensional heat flow as a function of heat input for different preheat temperatures

Liite E

(opastava)

Jähmettymishalkeilun estäminen

Hitsiaineen jähmettymishalkeamat (usein kutsuttu myös kuumahalkeamiksi) sijaitsevat yleensä pituussuuntaan hitsin keskiliinjalla. Yleensä ne esiintyvät pohjapaloissa. Ne avautuvat säännöllisesti palon pintaan ja ovat siten näkyvissä kuonauksen jälkeen, mutta ne voivat joskus myös jäädä piiloon noin 0,5 mm pinnan alle. Jähmettymishalkeamat voivat olla syviä ja heikentää vakavasti liitoksen kestävyyttä. Hiilimanganiterästen hitsauksessa näitä halkeamia esiintyy eniten jauhekaarhitseissä, joskus MAG-hitseissä ja harvoin puikkohitseissä.

Jähmettymishalkeamat liittyvät epäpuhtauksiin, erityisesti rikkiin ja fosforiin. Hiilen sekoittuminen perusaineesta hitsiaineeseen lisää halkeilutaipumusta, kun taas mangaani pienentää halkeilua.

Epäpuhtauksien määrä ja halkeilutaipumus ovat tavallisesti suurimpia paloissa, joissa on suuri sekoittuminen, esim. päätäisrailojen pohjapaloissa. Halkeiluvaaran pienentämiseksi on suositeltavaa käyttää lisäaineita, joissa hiilipitoisuus ja epäpuhtauspitoisuudet ovat matalat sekä mangaanipitoisuus korkea. Hitsausnopeuden alentaminen voi myös estää halkeilua.

Halkeilualttiuteen vaikuttavat sekä hitsiaineen kemiallinen koostumus että palkogeometria (syvyys/leveys-suhde). Hitsiaineen kemiallinen koostumus muodostuu lisäaineen ja perusaineen kemiallisesta koostumuksesta sekä näiden välisestä sekoittumisesta. Sekoittumisaste ja palkogeometria riippuvat railomuodosta (railokulma, juuripinta ja ilmarako) ja hitsausparametreistä (hitsausvirta ja kaarijännite).

Hiili- ja hiilimanganiterästen jauhekaarhitseille on kehitetty kaava, jossa hitsiaineen jähmettymishalkeilutaipumus on ilmaistu kemiallisesta koostumuksesta laskettavan jähmettymishalkeilun herkkyyssindeksin UCS (Units of Crack Susceptibility) avulla. Vaikka kaava on kehitetty jauhekaarhitsaukseen, voidaan sen avulla arvioida myös muille hitsausprosesseille ja muille ferriittisille terästen halkeilutaipumusta. Kaava on seuraava:

$$UCS = 230 C + 190 S + 75 P + 45 Nb - 12,3 Si - 5,4 Mn - 1$$

Tämän kaavan pätevyysalue eri hitsiaineiden koostumuksilla on annettu taulukossa E.1.

Seosaineilla ja epäpuhtauksilla, jotka eivät ylitä taulukossa E.2 annettuja rajoja, ei ole merkittävää vaikutusta herkkyyssindeksiin UCS.

Hitsiaineen vastustuskyky halkeilua vastaan on suuri, kun UCS:n arvo on alle 10, ja pieni, kun arvo on yli 30. Näiden rajojen välissä halkeilutaipumus on suurempi paloissa, joiden syvyys/leveys-suhde on suuri, jotka on hitsattu suurilla nopeuksilla tai joiden railojen sovitustarkkuus on lähellä sallittuja ylärajoja.

Taulukko E.1 Jähmettymishalkeilun UCS-kaavan pätevyysalue

Aine	Pitoisuus (%)
C	0,03 ^a ...0,23
S	0,010...0,050
P	0,010...0,045
Si	0,15...0,65
Mn	0,45...1,6
Nb	0...0,07
^a Jos pitoisuus on alle 0,08 %, kaavassa käytetään pitoisuutta 0,08 %.	

Annex E (informative) Avoidance of solidification cracking

Solidification cracking of the weld metal is usually found as centreline cracking. It is more often found in root runs and, although frequently open at the surface and visible after deslagging, can be just below the surface and covered by up to 0,5 mm of sound metal. Solidification cracks can be deep and can seriously reduce the efficiency of a joint. When welding carbon manganese steels, this type of cracking is most commonly found in submerged arc welds, rarely with manual metal-arc welding but it can sometimes be a problem with gas-shielded and self-shielded processes.

Solidification cracking is associated with impurities, particularly sulfur and phosphorus, and is promoted by carbon picked up from the parent metal at high dilution levels while manganese reduces the risk of cracking.

Impurity levels and crack susceptibilities are usually greatest in weld runs of high dilution, e.g. root runs of butt welds. To minimize the risk of cracking, consumables are preferred with low carbon and impurity levels and relatively high manganese contents. A reduction in welding speed can be helpful in overcoming cracking.

The solidification crack susceptibility of weld metal is affected by both its composition and weld-run geometry (depth/width ratio). The chemical composition of weld metal is determined by the composition of the filler material and the parent metal and the degree of dilution. The degree of dilution, as well as weld-run geometry, both depend on the joint geometry (angle of bevel, root face and gap) and the welding parameters (current and voltage).

For submerged arc welds a formula has been developed for carbon and carbon manganese steels in which the solidification crack susceptibility in arbitrary units known as units of crack susceptibility (*UCS*) has been related to the composition of the weld metal (in % (m/m)). Although developed for submerged arc welding, the use of the formula can be helpful in assessing the risk of solidification cracking for other welding processes and other ferritic steels. The formula is as follows:

$$UCS = 230 C + 190 S + 75 P + 45 Nb - 12,3 Si - 5,4 Mn - 1$$

This formula is valid for the weld metal compositions given in table E.1.

Alloying elements and impurities in the weld metal up to the limits given in table E.2 do not exert a marked effect on values of *UCS*.

Values of less than 10 *UCS* indicate a high resistance to cracking and above 30 a low resistance. Within these approximate limits the risk of cracking is higher in weld runs with a high depth/width ratio, made at high welding speeds or where fit-up is near the maximum allowable.

Table E.1 Validity of the *UCS* formula for solidification cracking

Element	Content in %
C	0,03 ^a to 0,23
S	0,010 to 0,050
P	0,010 to 0,045
Si	0,15 to 0,65
Mn	0,45 to 1,6
Nb	0 to 0,07
^a Contents of less than 0,08 % to be taken as equal to 0,08 %.	

Taulukko E.2 Muiden seosaineiden ja epäpuhtauksien rajat UCS-kaavan pätevyysalueella

Aine	Enimmäispitoisuus (%)
Ni	1
Cr	0,5
Mo	0,4
V	0,07
Cu	0,3
Ti	0,02
Al	0,03
B	0,002
Pb	0,01
Co	0,03

Vaikka nikkeliä ei ole pitoisuuteen 1 % saakka vaikutusta UCS-arvoon, korkeampi nikkelpitoisuus voi lisätä jäähmettymis-halkeilutaipumusta.

Pienahitseissä, joissa syvyys/leveys-suhde on noin 1,0, UCS-arvo vähintään 20 merkitsee halkeiluvaaraa, kun taas päätäishitseissä kriittinen UCS-arvo on noin 25. Jos syvyys/leveys-suhde pienenee pienahitseissä arvosta 1,0 arvoon 0,8, sallittua UCS-arvoa voidaan lisätä 9:llä. Hyvin pieni syvyys/leveys-suhde, kun esimerkiksi tunkeuma ei ulotu nurkkapisteeseen saakka pienahitsissä, edistää kuitenkin halkeilua.

Table E.2 Limits of alloying elements and impurities on validity of the *UCS* formula

Element	Content max. in %
Ni	1
Cr	0,5
Mo	0,4
V	0,07
Cu	0,3
Ti	0,02
Al	0,03
B	0,002
Pb	0,01
Co	0,03

Although up to 1 % nickel has no effect on *UCS* values, higher levels of nickel can increase the susceptibility to solidification cracking.

For fillet weld runs having a depth/width ratio of about 1,0 *UCS* values of 20 and above indicate a risk of cracking whilst for butt welds the values of about 25 *UCS* are critical. Decreasing the depth/width ratio from 1,0 to 0,8 in fillet welds can increase the allowable *UCS* by about 9. However, very low depth/width ratios, such as are obtained when penetration into the root is not achieved, also promote cracking.

Liite F

(opastava)

Lamellirepeilyn estäminen

F.1 Yleistä

Lamellirepeilyä voi esiintyä tietyn tyyppisissä hitsausliitoksissa, joissa vallitsee kutistumisjännityksiä levyn paksuussuunnassa. Lamellirepeily on perusaineen ilmiö, jota esiintyy pääasiassa levymateriaaleissa. Halkeiluriskiinkin vaikuttaa kaksi tekijää: levyn repeilyherkkyys ja liitoksen jännitykset. Jos levymateriaali on hyvin herkkä repeilylle, lamellirepeilyä voi esiintyä, vaikka jännitykset olisivat pienetkin liitoksessa. Repeilyä ei esiinny lamellirepeilyä kestävässä teräksissä ellei paksuussuunnassa esiintyy erittäin suuria jännityksiä.

Lamellirepeily esiintyy pääasiassa rakenteiden valmistuksessa eikä käytössä. Syynä käytössä esiintyvään repeilyyn ovat lähinnä jaksottaiset kuormitukset tai iskumaiset kuormitukset.

F.2 Levyn herkkyys

Koska lamellirepeilyä esiintyy silloin, kun levyssä olevat ei-metalliset nauhamaiset sulkeumajonot repeilevät hitsauksen aiheuttamien jännitysten takia, teräksen repeilyherkkyttä säädellään sulkeumien määrän ja jakauman avulla. Tällä hetkellä ei ole mitään luotettavaa rikkomatonta tarkastusmenetelmää näiden sulkeumien havaitsemiseksi. Herkkyuden testaamiseksi voidaan käyttää vetokoetta (ks. EN 10164), jonka tuloksista poikittainen murtokourouma (STRA) korreloi lamellirepeilyn esiintymisen kanssa erityyppisissä rakenteissa (ks. kuva F.1). Teräksissä, joissa on matala happipitoisuus (alumiinikäsitteltyt tai tyhjökäsitteltyt teräkset), rikkipitoisuuden on havaittu olevan käyttökelpoinen mittari sulkeumapitoisuudelle ja siten STRA-arvolle. Kuvassa F.2 on esitetty pienimmät ja suurimmat STRA:n arvot alumiinikäsitteltyssä teräksessä rikkipitoisuuden mukaan. Arvot pätevät levynpaksuuksille 12,5...50 mm. On syytä huomata kuitenkin, että STRA-arvon (%) ja rikkipitoisuuden (%) välinen yhteys on jossain määrin myös paksuusriippuvainen.

Teräksiä, joiden STRA-arvo on yli 20 %, pidetään lamellirepeilyn kestävinä ja tällaisia teräksiä on saatavissa (ks. EN 10164). Nämä teräkset ovat tavallisesti alumiinikäsitteltyjä ja niiden rikkipitoisuus on matala. Harvinaisia maametalleja tai kalsiumyhdisteitä voidaan myös käyttää vähentämään sulkeumapitoisuutta ja muuttamaan sulkeumien muotoa edullisemmaksi.

F.3 Liitosmuoto, rakenne ja paksuussuuntaiset jännitykset

Teräksen lamellirepeilyriski kasvaa paksuussuuntaisten jännitysten myötä, jotka ovat tavallisesti suuria hyvin jäykissä liitoksissa. Lamellirepeilyä voi kuitenkin myös esiintyä, vaikka taiputusjäykkyys on pieni, koska kulmamuodonmuutos voi lisätä jännitystä hitsin juuresta tai hitsin reuna-alueella (ks. kuva F.3). Joskus rakennetta voidaan muuttaa niin, että paksuussuuntaiset jännitykset pienenevät. Kuvassa F.4 on esimerkkejä tyyppillisistä kohteista, joissa lamellirepeilyä voi esiintyä. Jos teräksen repeilyherkkyys on suuri, pitäisi harkita rakennemuutoksia.

Seuraavassa on yhteenvedona ohjeita, joilla voidaan estää lamellirepeilyä.

- a) Railopintojen pinta-alojen suurentaminen pienentää riskiä (ks. kuva F.5).
- b) Kutistumisjännityksiä pitäisi vähentää:
 - pienentämällä tarvittavaa hitsiainemäärää
 - hitsaamalla mahdollisimman vähän palkoja
 - käyttämällä railopinnan puskurointihitsausta
 - käyttämällä symmetristä hitsausjärjestystä kaksipuolisissa railoissa
- c) Liitos pitäisi tehdä niin, että mahdollisimman paljon levyn paksuudesta on kosketuksissa hitsiaineen kanssa (ks. kuvat F.7...F.9).
- d) Liitos pitäisi tehdä niin, että jäykkyys paksuussuunnassa olisi pieni.
- e) Liitoksen repeilyriskiä voidaan pienentää käyttämällä railopinnan puskurointihitsausta pehmeällä lisäaineella (ks. kuva F.9).

Annex F (informative) Avoidance of lamellar tearing

F.1 General

In certain types of joint, where the welding contraction strains act in the through-thickness (transverse) direction of a plate, lamellar tearing may occur. Lamellar tearing is a parent metal phenomenon which occurs mainly in plate material. The risk of cracking is influenced by two factors: plate susceptibility and strain across the joint. With very susceptible plate material, tearing can occur even if strains are low, i.e. in a joint of low restraint. More resistant materials might not tear unless used in situations which impose very high through-thickness strains.

Lamellar tearing occurs mainly during production and not during service. In the latter case periodic loads or impact loads are the main reasons.

F.2 Plate susceptibility

Since lamellar tearing occurs when the non-metallic inclusions in a plate link up under the influence of welding strains, plate susceptibility is controlled by the quantity and distribution of the inclusions. At present there is no reliable non-destructive technique for detecting these inclusions. The short transverse tensile test can be used to assess susceptibility (see EN 10164) and the short transverse reduction of area (STRA) has been correlated with the incidence of lamellar tearing in different types of fabrication (see figure F.1). In the case of low oxygen steels (aluminium treated or vacuum degassed types) sulfur content has been found to be a useful guide to the inclusion content and thus to the STRA. Figure F.2 gives the likely lowest and highest values of STRA to be expected in aluminium treated steel of a given sulfur content. The data is for plates 12,5 mm to 50 mm thick but it should be noted that the relationship of STRA (in %) to sulfur content (in %) is to some extent thickness dependent.

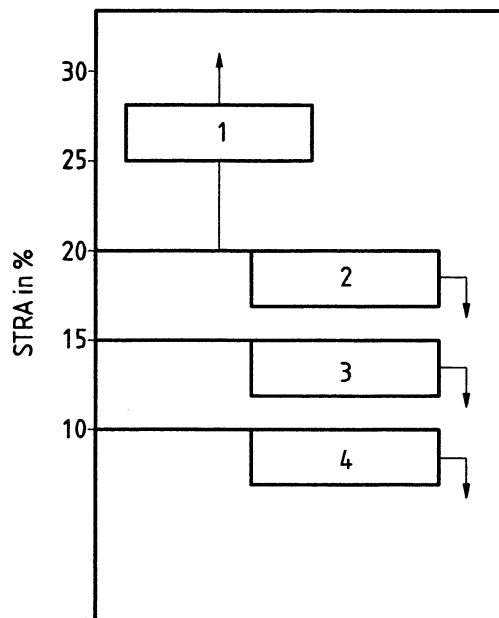
Steel giving STRA values of over 20 % are considered lamellar tearing resistant and materials with guaranteed STRA values are available (see EN 10164). These are usually aluminium treated steels with low sulfur content, although additions of rare earth or calcium compounds can also be made both to reduce the inclusion content and to alter favourably the inclusion shapes.

F.3 Joint configuration, fabrication and through-thickness strains

The risk of lamellar tearing for a given steel increases with through-thickness strain which is usually high in joints of high tensile restraint. However, tearing can also occur if the bending restraint is low since angular distortion can increase the strain in weld root or toe areas (see figure F.3). In some cases, design changes can be made which reduce the through-thickness strain. Examples of the types of detail and joint configuration in which lamellar tearing is possible are shown in figure F.4, typical locations of the cracks being illustrated. If the plate susceptibility is considered to be high, susceptible joints and details should be modified or avoided.

The following general statements should be noted:

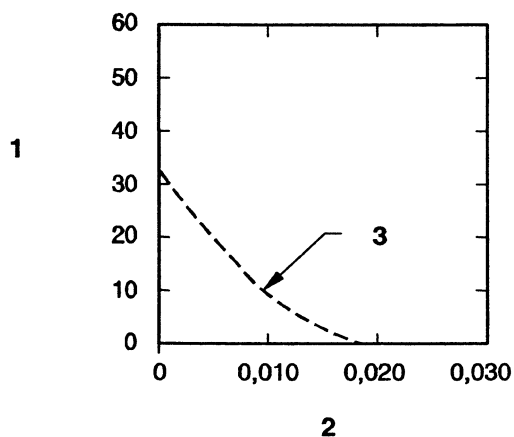
- a) For a given weld strength, joints should be made such that the attachment area is enlarged (see figure F.5).
- b) The shrinkage stresses should be minimized
 - by reducing the volume of weld metal;
 - by welding with the minimum number of runs;
 - by using a buttering layer sequence (see figure F.6);
 - by a balanced layer sequence in symmetric welds.
- c) The weldment should be made such that as much of the through thickness of the rolled plate as possible is in contact with the weld metal (see figures F.7 to F.9).
- d) The weldment should be made such that restraint in the through thickness direction is minimized.
- e) The weldment can be made less sensitive to lamellar tearing by buttering with a low strength material (see figure F.9).



Selitykset

- 1 Mitkään liitokset eivät ole mahdollisesti herkkiä lamellirepeilylle.
- 2 Pieni riski hyvin jäykissä liitoksissa, esim. yhteiden hitsit.
- 3 Pieni riski kohtalaisen jäykissä liitoksissa, esim. kotelopalkit.
- 4 Pieni riski vähän jäykissä T-liitoksissa, esim. I-palkit.

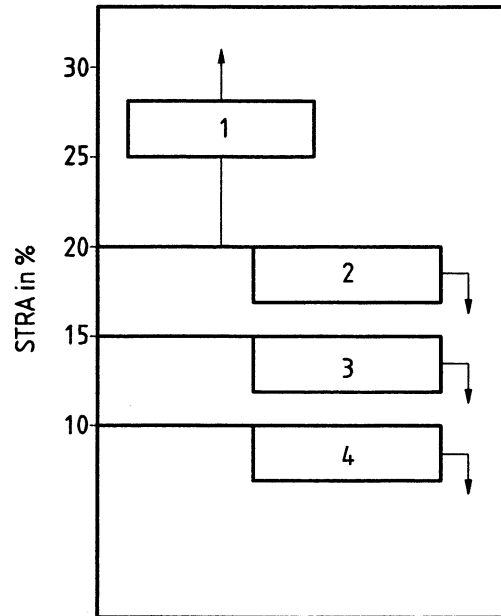
Kuva F.1 Paksuussuuntaisen murtokurouman (STRA) ja lamellirepeilyriskin yhteys jäykkyydeltään erilaisissa liitoksissa



Selitykset

- 1 STRA (%)
- 2 Rikkipitoisuus (%)
- 3 Alaraja

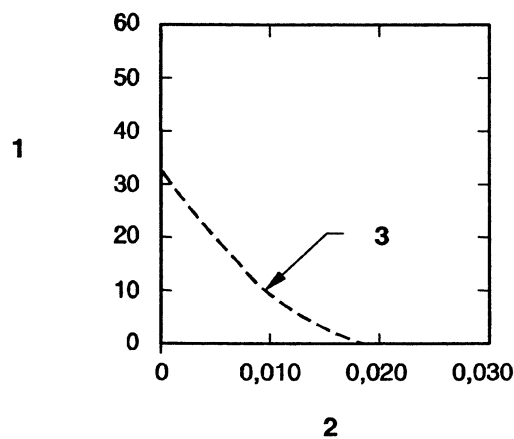
Kuva F.2 STRA-arvo rikkipitoisuuden funktiona levyn paksuusalueella 12,5...50 mm



Key

- 1 Probable freedom from tearing in any type of joint
- 2 Some risk in highly restrained joints, e. g. node joints
- 3 Some risk in moderately restrained joints, e. g. box columns
- 4 Some risk in lightly restrained T-joints, e. g. I-beams

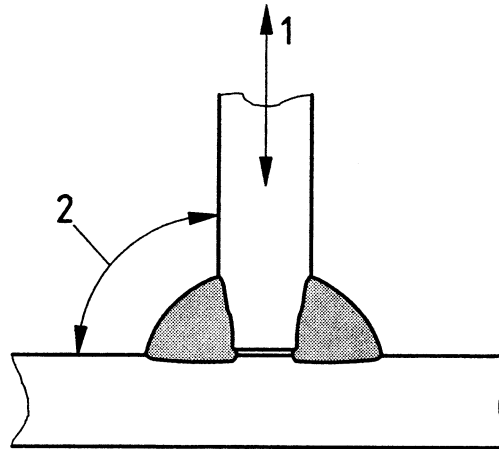
Figure F.1 Suggested STRA values appropriate to the risk of lamellar tearing in joints of differing restraint



Key

- 1 STRA %
- 2 Sulphur content % (m/m)
- 3 Lower bound

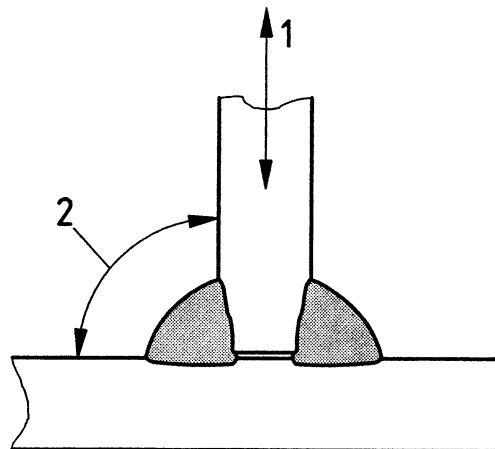
Figure F.2 STRA as a function of sulfur content for plates 12,5 mm to 50 mm thick (inclusive)



Selitykset

- 1 Vetojäykkyys
- 2 Taivutusjäykkyys

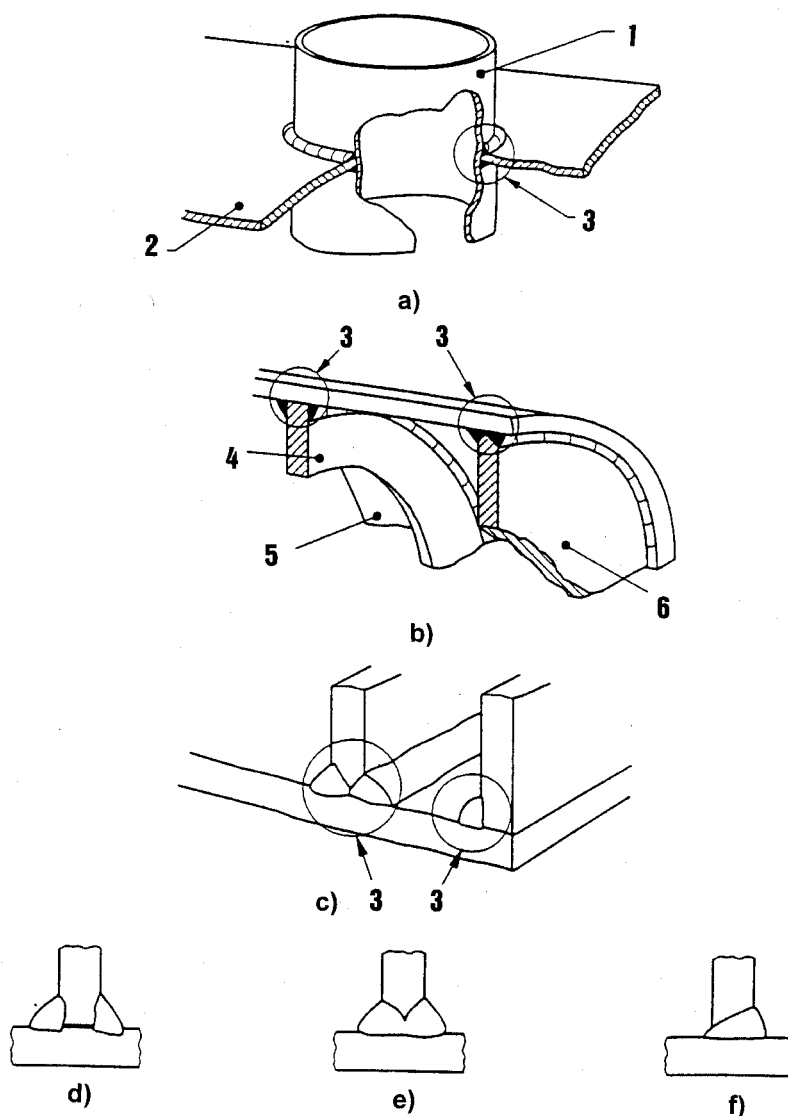
Kuva F.3 Esimerkki jäykkyydestä T-liitoksessa



Key

- 1 Tensile restraint
- 2 Bending restraint

Figure F.3 Example of restraints in T-joints with fillet welds

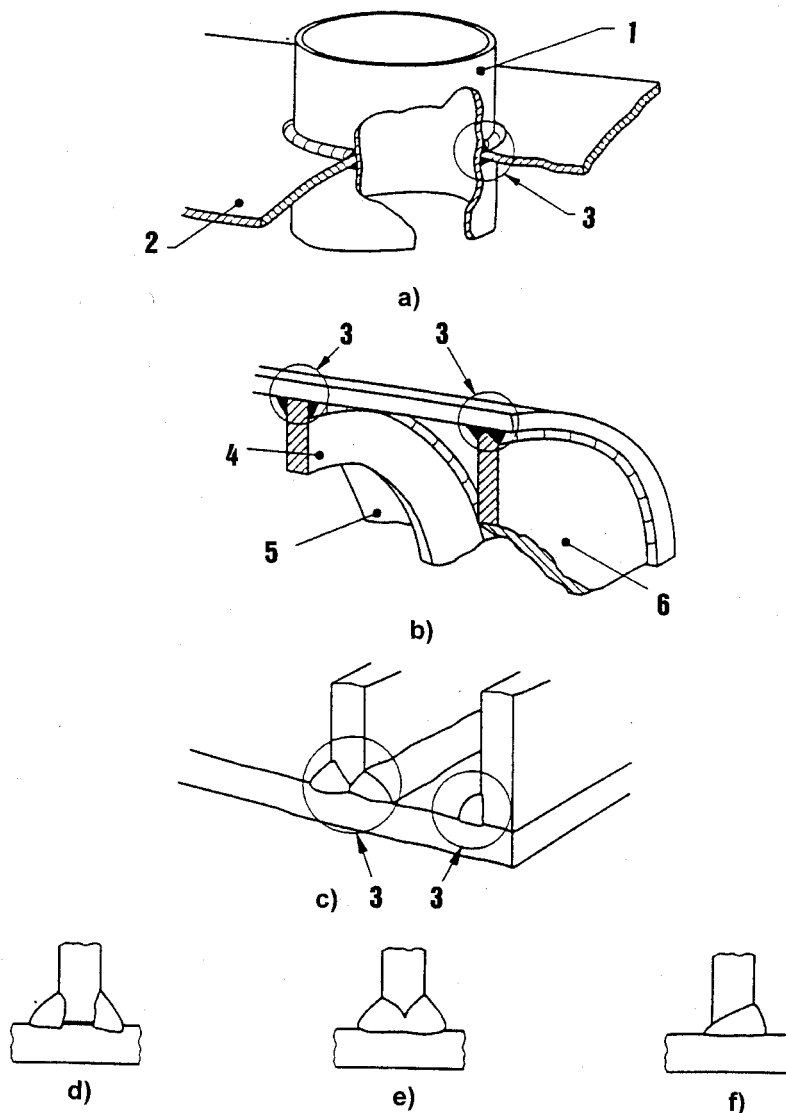


Selitykset

- 1 Valssatusta levystä valmistettu yhde
- 2 Jäykkä levy
- 3 Kriittinen liitos
- 4 Kehäjäykkääjä
- 5 Lieriömäinen kappale
- 6 Jäykkä päätylevy

- a) Yhteen läpivienti jäykän levyn läpi
- b) Jäykkääjä tai jäykkä pääty lieriössä
- c) Jäykkä kotelorakenne
- d) Pienahitsit T-liitoksessa
- e) Läpihitsattu yhdistelmähitsi T-liitoksessa, jossa on päittäis- ja pienahitsi
- f) Läpihitsattu päittäishitsi T-liitoksessa

Kuva F.4 Esimerkkejä yksityiskohdista ja liitoksista, joissa lamellirepeily on mahdollinen, kun valmistetaan suuria ja jäykkiä rakenteita



Key

- 1 Nozzle fabricated from rolled plate
- 2 Rigid plate
- 3 Critical joint
- 4 Circumferential stiffener
- 5 Cylindrical vessel
- 6 Rigid ends

- a) Nozzle through a rigid plate
- b) Stiffener or rigid end in a cylindrical fabrication
- c) Rigid box section
- d) T-joint with fillet welds
- e) T-joint with compound butt and fillet welds
- f) Corner joint with butt weld

Figure F.4 Details and joint configurations in which lamellar tearing is possible when fabricating large structures with a high degree of restraint

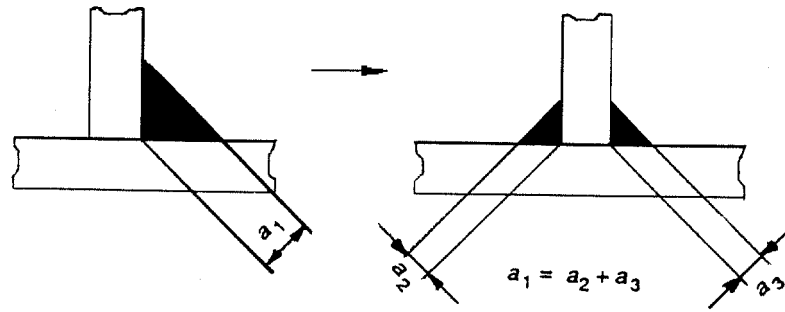


Figure F.5 Reduction of sensitivity to lamellar tearing by enlargement of the fusion face

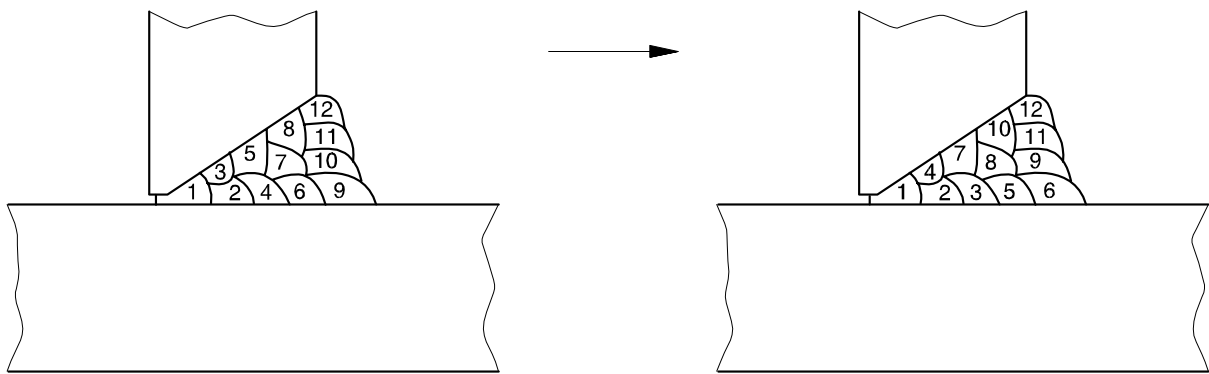
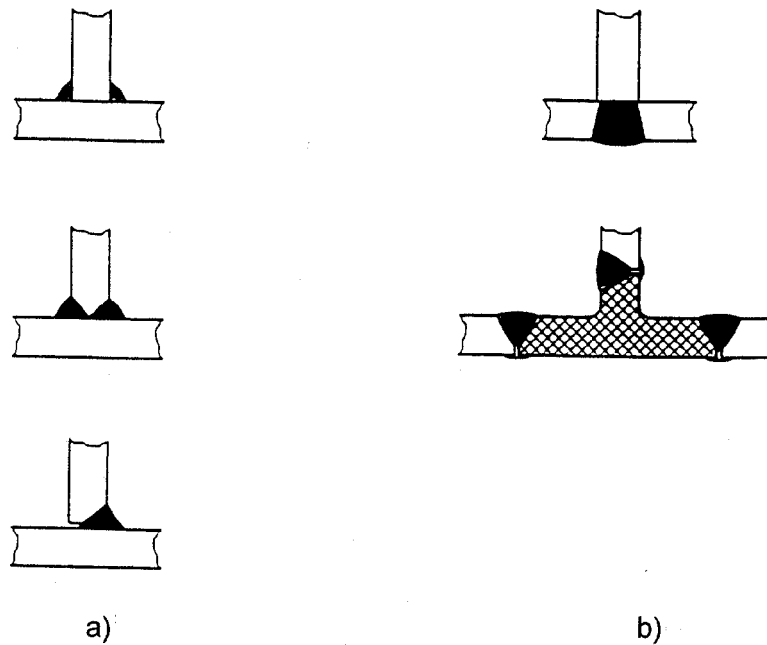


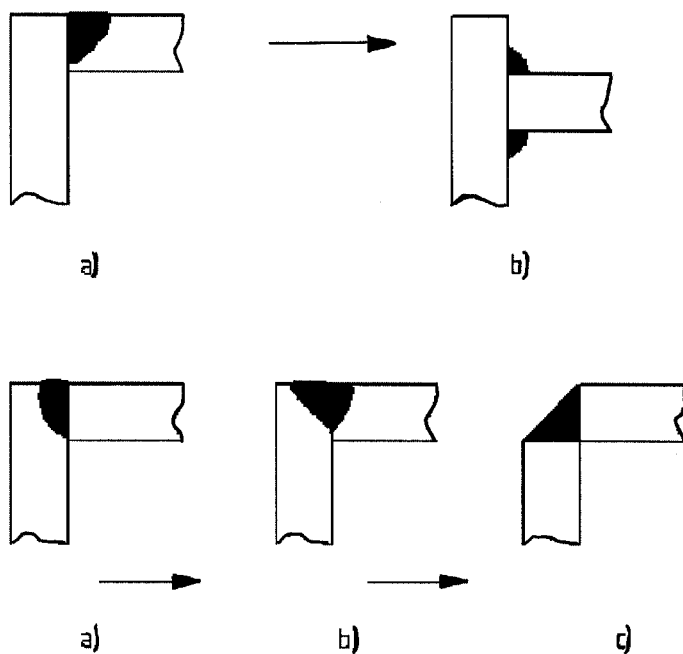
Figure F.6 Reduction of sensitivity to lamellar tearing by layer sequence



Key

- a) Sensitive
- b) Not sensitive

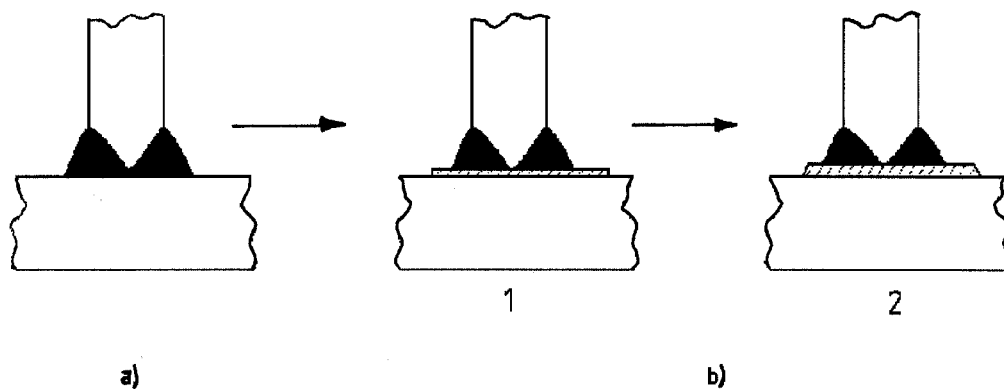
Figure F.7 Reduction of sensitivity to lamellar tearing by welding the full thickness of the rolled plate



Selitykset

- a) Repeilyherkkä
- b) Vähemmän repeilyherkkä
- c) Ei repeilyherkkä

Kuva F.8 Lamellirepeilyriskin pienentäminen

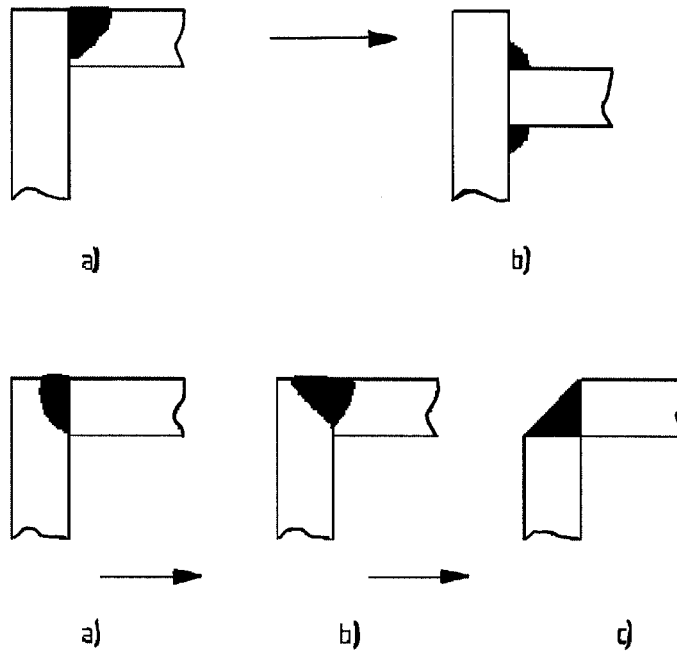


Selitykset

- 1 Puskurointi yhdellä palkokerroksella
- 2 Puskurointi kahdella palkokerroksella

- a) Repeilyherkkä
- b) Vähemmän repeilyherkkä

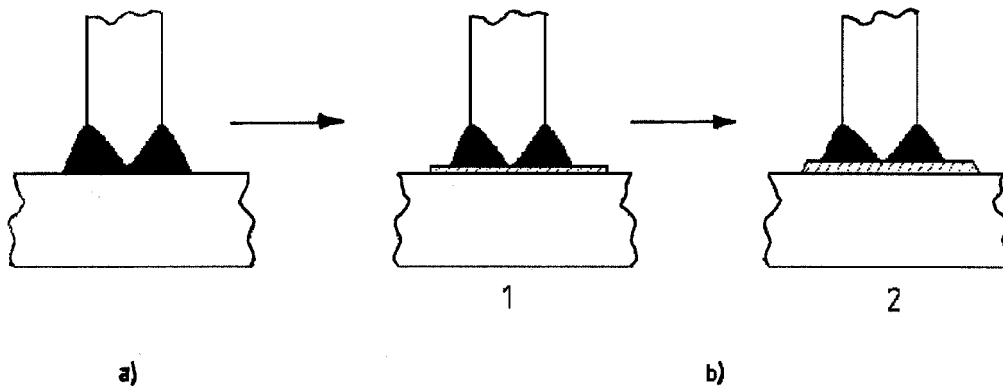
Kuva F.9 Lamellirepeilyriskin pienentäminen tekemällä puskurointihitsaus ja käyttämällä lisäainetta, jonka hitsiaineen lujuus on matala ja sitkeys hyvin suuri



Key

- a) Sensitive
- b) Less sensitive
- c) Not sensitive

Figure F.8 Reduction of sensitivity to lamellar tearing



Key

- 1 Single-layer buttering
- 2 Double-layer buttering

- a) Sensitive
- b) Less sensitive

Figure F.9 Reduction of sensitivity to lamellar tearing by buttering preferably with low strength high ductility weld metal

Liite G

(opastava)

Viittaukset liitteissä

EN 288-3:1997, *Specification and approval of welding procedures for metallic materials – Part 3: welding procedure tests for the arc welding of steels*

EN 288-8:1995, *Specification and approval of welding procedures for metallic materials – Part 8: Approval by a pre-production welding test*

EN 499, *Welding consumables – Covered electrodes for manual metal arc welding of non alloy and fine grain steels – Classification*

EN 1011-1:1998, *Welding – Recommendations for welding of metallic materials – Part 1: General guidance for arc welding*

EN 1708-1:1999, *Welding – Basic weld joint details in steel – Part 1: Pressurized components*

EN 1708-2, *Welding – Basic weld joint details in steel – Part 2: None internal pressurized components*

EN 10164, *Steel products with improved deformation properties perpendicular to the surface of the product – Technical delivery conditions*

ISO 3690:1983, *Welding – Determination of hydrogen in deposited weld metal arising from the use of covered electrodes for welding mild and low alloy steels*

CR ISO 15608, *Welding – Guidelines for a metallic material grouping system (ISO/TR 15608:2000)*

Annex G

(informative)

References in the annexes

EN 288-3:1997, *Specification and approval of welding procedures for metallic materials – Part 3: welding procedure tests for the arc welding of steels*

EN 288-8:1995, *Specification and approval of welding procedures for metallic materials – Part 8: Approval by a pre-production welding test*

EN 499, *Welding consumables – Covered electrodes for manual metal arc welding of non alloy and fine grain steels – Classification*

EN 1011-1:1998, *Welding – Recommendations for welding of metallic materials – Part 1: General guidance for arc welding*

EN 1708-1:1999, *Welding – Basic weld joint details in steel – Part 1: Pressurized components*

EN 1708-2, *Welding – Basic weld joint details in steel – Part 2: None internal pressurized components*

EN 10164, *Steel products with improved deformation properties perpendicular to the surface of the product – Technical delivery conditions*

ISO 3690:1983, *Welding – Determination of hydrogen in deposited weld metal arising from the use of covered electrodes for welding mild and low alloy steels*

CR ISO 15608, *Welding – Guidelines for a metallic material grouping system (ISO/TR 15608:2000)*

Liite ZA

(opastava)

Tämän eurooppalaisen standardin kohdat suhteessa EU:n direktiivien olennaisiin vaatimuksiin ja määräyksiin

Tämä eurooppalainen standardi on laadittu Euroopan komission ja EFTAn CENille antaman toimeksiannon perusteella ja standardi tukee Euroopan parlamentin ja ministerineuvoston 1997-05-29 vahvistamaa direktiiviä 97/23/EEC, joka koskee jäsenmaiden lakien soveltamista painelaitteille.

VAROITUS: Tämän standardin soveltamisalaan kuuluvia tuotteita saattavat koskea myös muut vaatimukset ja muut EU:n direktiivit.

Tämän standardin seuraavat kohdat lueteltuna taulukossa ZA.1 tukevat direktiivin 97/23/EEC vaatimuksia.

Tämän standardin noudattaminen on yksi tapa täyttää kyseessä olevan direktiivin ja siihen liittyvien EFTAn säädösten erityiset olennaiset vaatimukset.

Taulukko ZA.1 Tämän eurooppalaisen standardin ja direktiivin 97/23/EEC vastaavuus

Tämän standardin kohdat/ alakohdat	Direktiivin 97/23/EEC vastaavat olennaiset vaatimukset	Huomautuksia
5	4.1(e)	Perusaine
7	4	Hitsauslisäaineet
8	2.2.1	Hitsien yksityiskohdat
9	2.2.1	Tulppahitsit
10	3.1.1	Railonvalmistus
11	3.1.1	Päittäisrailojen hitsaussovitteet
12	3.1.4	Esikumennus
15	3.1.4	Lämmöntuonti
21	3.1.4	Jälkilämpökäsittely
Liite A	3.1.2	Haitalliset ilmiöt
Liite B	3.1.2	Ohjeita liitosten muotoiluun
Liite C	3.1.2	Vetyhalkeilu
Liite D	3.1.4	Muutosvyöhykkeen sitkeys ja kovuus
Liite E	3.1.2	Jähmettymishalkeilu
Liite F	3.1.2	Lamellirepeily

Annex ZA

(informative)

Clauses of this European Standard addressing essential requirements or other provisions of EU Directives.

This European standard has been prepared under a mandate given to CEN by the European Commission and the European Free Trade Association and supports essential requirements of EU Directive 97/23/EEC of the European Parliament and of the Council of 29 May 1997 on the approximation of the laws of the Member States concerning pressure equipment.

WARNING: Other requirements and other EU Directives may be applicable to the product(s) falling within the scope of this standard.

The following clauses of this standard as detailed in Table ZA.1, are likely to support requirements of the Directive 97/23/EEC.

Compliance with these clauses of this standard provides one means of conforming with the specific essential requirements of the Directive concerned and associated EFTA regulations.

Table ZA.1 Correspondance between this European Standard and Directive 97/23/EEC

Clauses/sub-clauses of this European Standard	Corresponding essential requirement of Directive 97/23/EEC	Qualifying remarks/Notes
5	4.1(e)	Parent metal
7	4	Welding consumable
8	2.2.1	Weld details
9	2.2.1	Welds in holes or slots
10	3.1.1	Preparation of joint faces
11	3.1.1	Alignment of butt welds before welding
12	3.1.4	Preheating
15	3.1.4	Heat input
21	3.1.4	Post weld heat treatment
Annex A	3.1.2	Detrimental phenomena
Annex B	3.1.2	Guidance on joint detail design
Annex C	3.1.2	Cold cracking
Annex D	3.1.4	Heat affected zone toughness and hardness
Annex E	3.1.2	Solidification cracking
Annex F	3.1.2	Lamellar tearing

Kirjallisuutta

Comparison of methods for determining weld procedures for the avoidance of hydrogen cracking in fabrication. Authors Hart P.H.M, Pargetter R.J, Wright M.D, IIW. Doc IX - 1602 - 90.

Determination of the lowest preheat temperature for cold cracking/safe welding of steels. Authors Uwer D, Hoehne H, IIW. Doc IX - 1631 - 91.

Opastavia tietoja

Vastaavat SFS-standardit kohtaan 2 Viittaukset

- | | |
|--------------|--|
| EN 288-2 | SFS-EN 288-2 <i>Hitsausohjeet ja niiden hyväksyntä metalleille. Osa 2: Hitsausohjeet kaarihitsaukselle. 1997. 14 s.</i> |
| EN 1011-1 | SFS-EN 1011-1 <i>Hitsaus. Metallisten materiaalien hitsausuositukset. Osa 1: Yleisohjeet kaarihitsaukselle. 1998. 19 s.</i> |
| EN 29692 | SFS-EN 29692 <i>Puikko-, metallikaasukaari- ja kaasuhitsaus. Railomuodot teräksen hitsaukseen. 1994. 18 s.</i> |
| EN ISO 13916 | SFS-EN ISO 13916 <i>Hitsaus. Esikuumennuslämpötilan, välipalkolämpötilan ja ylläpitölämpötilan mittausohjeet. 1996. 7 s.</i> |

Bibliography

Comparison of methods for determining weld procedures for the avoidance of hydrogen cracking in fabrication. Authors Hart P.H.M, Pargetter R.J, Wright M.D, IIW. Doc IX - 1602 - 90.

Determination of the lowest preheat temperature for cold cracking / safe welding of steels. Authors Uwer D, Hoehne H, IIW. Doc IX - 1631 - 91.