

HUIPPULUJALLA TERÄKSELLÄ KUSTANNUSSÄÄSTÖIHIN

DILLIMAX

TEKNINEN TIEDOTE NRO. II/2003

DILLINGER HÜTTE GTS





Toukokuu 2003



SISÄLTÖ

4

Teräsrakenteet painotarkkailuun

6

DILLIMAXin valmistus

Teräksen sulatus
Muovaus kvarttolevyksi
Vesinuorutus

8

DILLIMAXin materiaaliominaisuudet

Lujuus ja sitkeys
Ominaisuudet paksuussuunnassa
Kuumankestävyys
Virumislujuus

13

DILLIMAXin työstöominaisuudet

Kylmämuovaus
Kuumamuovaus
Muovaus jännitystenpoistohehkutuksen alueella
Terminen leikkaus
Hitsaus
Jännitystenpoistohehkutus
Liekilläoikaisu
Sinkitys
Koneistus

41

DILLIMAXin rakenneosaominaisuudet

44

Kirjallisuus

46

Hakusanaluettelo



TERÄSRAKENTEET PAINOTARKKAILUUN

Nostopuomit, raskaiden hyötyajoneuvojen alustat, telineet, sulkuportit tai sillankantorakenteet ovat teräsrakenteita, joilta vaaditaan erittäin suurta kantokykyä. Vaatimus, että tällaiset rakenteet samanaikaisesti noudattaisivat kevytrakentamisen periaatteita – materiaalikäytön vähentäminen, yksinkertainen ja hyvä työstettävyys –, olisi vielä muutama vuosi sitten ollut vaikeasti toteutettavissa. Nykyisin sitä vastoin on ilman muuta mahdollista yhdistää molemmat vaatimukset.

Esittelemme seuraavassa valikoi-
man teräslajeja, joilla voidaan toteuttaa teräsrakenteiden erittäin suuri kuormitettavuus mahdollisimman suurella varmuudella ja samalla vähentää materiaali- ja työstökustannuksia jopa 50 %: DILLINGER HÜTTE GTS:n valmistamat DILLIMAX teräkset.

Tunnetut rakennuskoneiden valmistajat käyttävät DILLIMAX teräksiä, ja niiden avulla on rakennettu huomattavia teräsrakennehankkeita. Esimerkkinä mainittakoon Berliinin Sony-Center, jonka vaativiin kattorakenteisiin on käytetty



DILLIMAX 690 aina 180 mm paksuuteen saakka (kts. kuva 18, s. 30). Tämä esimerkki esittää DILLIMAX käytön kaksi tärkeää näkökohtaa: rakenteiden omapainoa voidaan ratkaisevasti pienentää, koneet ja työkalut tulevat ketterämmiksi ja kuluttavat siten vähemmän energiaa.

DILLIMAX teräkset kuuluvat erittäin lujiin hitsauskelppisiin hienoraakenneteräksiin. Erittäin suuren lujuuden lisäksi niiden sitkeys on myös erittäin hyvä. Tämä lujuus mahdollistaa sen, että teräsrakenteiden levynpaksuutta voidaan huomattavasti pienentää verrattuna tavanomaiseen teräkseen. Näin säästetään materiaalikustannuksia. Hyvin suuren sitkeyden ansiosta, joka liittyy erittäin hyviin työstöominaisuuksiin, alenevat myös työstökustannukset. Tämä koskee erityisesti hitsausta, koska hitsainemäärää voidaan vähentää pienemmän levynpaksuuden johdosta.

Kuva 1: Ilman DILLIMAXin kaltaisia teräslatuja eivät tämän pituiset nostopuomit olisi ajateltavissa. (Kuva julkaistu Terex-Demag AG, Zweibrücken, yhtiön luvalla)



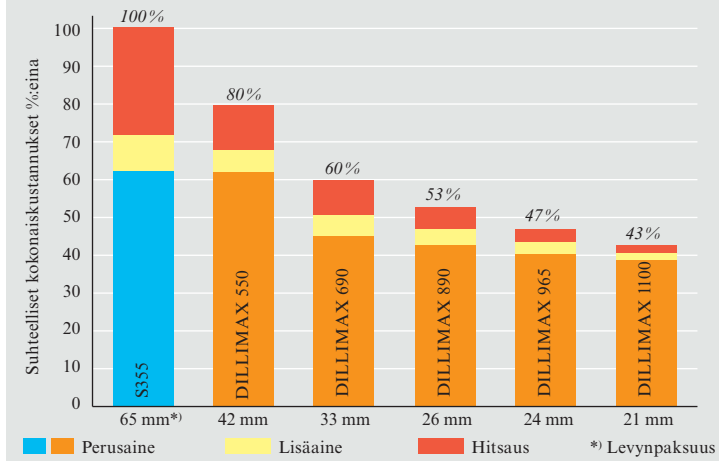
DILLIMAX teräslajeja on saatavissa hyvin porrastettu lujuusasteikko siten, että jokaiselle sovellustapaukselle löytyy sopiva teräs: DILLIMAX 460, 500, 550, 620, 690, 890, 965 ja 1100.

Kuvasta 2 käy ilmi, miten DILLIMAX teräksien avulla voidaan minimoida materiaali- ja työstämiskustannukset verrattuna perinteisiin laatuluokan S355 mukaisiin teräksiin.

DILLIMAX teräkset on kansainvälisesti hyväksi havaittu. Eurostandardi EN 10137-2 (tulevaisuudessa EN 10025 osa 6) kuvaa sellaisille teräksille asetettavat vaatimukset, jotka on tarkoitettu käytettäväksi ensisijaisesti korkeasti kuormitettuihin hitsattuihin rakenneosiin (esim. nosturirakenteet, rakennukset, sillat tai sulkuportit) ympäristölämpötiloissa ja alemmissa lämpötiloissa.

DILLIMAX teräslajit täyttävät nämä vaatimukset ja jopa ylittävät ne. DILLIMAX 690 E

Kuva 2: Materiaali- ja työstökustannukset: DILLIMAX-teräkset verrattuna tavanomaiseen teräkseen S 355



(S690QL1) -teräs on paksuuden alueella 6-50 mm Deutsches Institut für Bautechnik (DIBT) tutkimuslaitoksen hyväksymä käytettäväksi teräsrakenteisiin (Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-30.1-1 Rakennusteknillisen valvonnan yleislupa). Tämä lupa koskee käyttöä teräsrakenteissa DIN 1055-3 mukaan enimmäkseen lepotilas-

sa tai ei enimmäkseen lepotilassa olevalla kuormituksella.

Seuraavilla sivuilla esittelemme DILLIMAX teräksien erityiset ominaisuudet, esitämme, kuinka ne syntyvät ja kuinka niitä voidaan valikoivasti hyödyntää korkeasti kuormitettujen teräsrakenteiden valmistamiseksi kustannuksia säästämällä.



DILLIMAXIN VALMISTUS

DILLIMAX teräksien suurta lujuutta ja sitkeyttä ei saavuteta pelkästään valikoivalla seostamisella, vaan myös erikoisvalmistusmenetelmin: Valssaamisen jälkeen kvarttolevyt vesinuorutetaan. Kaikki prosessit – teräsvalmistus, muovaus kvarttolevyksi ja vesinuorutus – on sovitettu mitä tarkimmin yhteen jokaisessa teräsvalmistuserässä.

Teräksen sulatus

Sen jälkeen kun rikki on huolellisesti poistettu raakaraudasta, DILLIMAX teräkset sulatetaan huolellisella happipuhallusmenetelmällä, minkä jälkeen ne

käsitellään pannumetallurgisesti ja valetaan jatkuvavalumenetelmällä tavanomaisen mitoitusalueen mukaisten levyjen valmistamista varten. Hyvin paksujen, raskaiden levyjen valmistamista varten on vaihtoehtoisesti käytettävissä harkkovalumenetelmä.

Alhainen fosfori- ja rikkipitoisuus on edellytys korkealle sitkeydelle. Yleensä fosforipitoisuudet ovat enintään 0,020 %:n ja rikkipitoisuudet enintään 0,005 %:n luokkaa. Tarvittava seospitoisuus asetetaan tarkoin myös pannussa. Tällöin on tavoitteena erittäin suurien

mekaanisten tunnusarvojen ja hyvän työstettävyyden optimaalinen yhdistelmä.

Erityisesti tarkistetaan seospitoisuuden myötä kasvavaa hiilikvivalenttia (CEV, PCM tai CET). Alhaiset hiilikvivalentin arvot viittaavat hyvään hitsattavuuteen. Tarpeen on kuitenkin paksuuden myötä kasvava seososien minimi, jotta voidaan varmasti asettaa seuraavassa nuorutuksessa mekaanis-teknologisiin ominaisuuksiin kohdistuvat vähimmäisvaatimukset. Teräslajien DILLIMAX 690 ja 1100 hiilikvivalentin ohjearvot on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1: DILLIMAX 690 ... 1100 terästen hiilikvivalentti (ohjearvoja)

DILLIMAX	690				890			965		1100
Levynpaksuus (mm)	10	40	70	120	10	40	70	10	40	10
CEV	0,41	0,52	0,56	0,63	0,57	0,60	0,64	0,57	0,60	0,64
PCM	0,26	0,29	0,30	0,32	0,30	0,31	0,34	0,30	0,31	0,32
CET	0,31	0,35	0,36	0,38	0,35	0,36	0,39	0,35	0,36	0,37

Hiilikvivalentti:

$$CEV = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Cu + Ni)/15$$

$$PCM = C + Si/30 + (Mn + Cu + Cr)/20 + Mo/15 + Ni/60 + V/10 + 5xB$$

$$CET = C + (Mn + Mo)/10 + (Cr + Cu)/20 + Ni/40$$



Muovaus kvarttolevyksi

DILLINGER HÜTTE GTS:llä on käytössä kaksi maailman tehokkaimpiin kuuluvista valssituoleista. Niissä terästehtaan valmistamat aihiot valssataan tarkoin määritellyn ja teräksen kulloiseenkin kemialliseen analyysiin sovitetun valssausuunnitelman mukaan. Jopa suurilla levynpaksuuksilla saavutetaan suurten valssausvoimien ansiosta, jotka voivat ulottua aina 108.000 kN:iin (11.000 tonniin) saakka, riittävät muodonmuutokset levyn ytimessä. Tästä seuraava kiderakenne sopii sitten erittäin hyvin seuraavassa suori-

tettavaan nuorrutukseen ja on yksi niistä tekijöistä, joita DILLIMAX teräksien hyvät lujuus- ja sitkeysominaisuudet edellyttävät. Valssausprosessin toistettavuus valssauslämpötilojen, valssausvoiman ja paksuuden muovaamisen suhteen yksittäisissä valssausserissä varmistetaan tarkan mittauksen ja nopean prosessisäädön avulla.

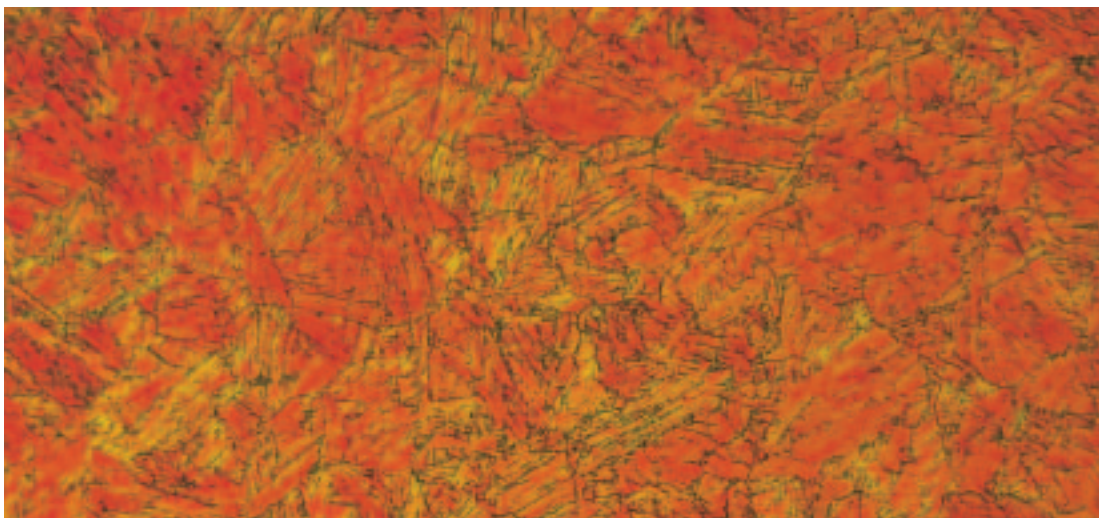
Vesinuorutus

Muovauksen jälkeen levyt kuumennetaan austenointilämpötilaan ja jäähdytetään sen jälkeen vedellä erikoislaitoksessa sellaisella nopeudella, että kideraken-

netila muuttuu suurimmaksi osaksi martensiittiseksi, jolloin levy syväkarkenee paksuudesta riippuen.

Karkaisua seuraavassa päästössä levy kuumennetaan 650 °C:n lämpötilaan. Tämä käsittely lisää levyn sitkeyttä.

Kuva 3 esittää DILLIMAXin tyypillisen hienorakeisen nuorrutuskiderakenteen.



Kuva 3: DILLIMAXin tyypillinen nuorrutuskiderakenne 500-kertaisena suuremmoksena



DILLIMAXIN MATERIAALIOMINAISUUDET

Lujuus ja sitkeys

DILLIMAX teräslajien lujuusominaisuudet ylittävät roimasti tavanomaisten terästen tason. Taulukko 2 sisältää myötörajan vähimmäisarvot ja taulukko 3 vetolujuuden sekä venymän vähimmäisarvot.

Suuresta lujuudesta huolimatta DILLIMAX teräslajeilla on erinomaiset sitkeysominaisuudet (kts. taulukko 4). Toimitettavissa on kolme sitkeysastetta: peruslaatu (B), jonka vähimmäisiskusitkeysarvot ovat -20 °C:n lämpötilassa, kylmäsitkeä laatu (T), jonka vähimmäisiskusit-

keysarvot ovat -40 °C:n lämpötilassa sekä kylmäsitkeä erikoislaatu (E), jonka vähimmäisiskusitkeysarvot ovat -60 °C:n lämpötilassa.

Taulukko 2: Myötörajan vähimmäisarvot levynpaksuuden mukaan

Myötöraja R_{eH} MPa:na ($R_{p 0,2}$ myötörajan ollessa tarkemmin määrittämättä)

Levynpaksuus (mm)	30	50	60	80	100	150
DILLIMAX 460	460			440		400
DILLIMAX 500	500			480		440
DILLIMAX 550	550			530		490
DILLIMAX 620	620			580 ¹⁾		560 ¹⁾
DILLIMAX 690		690			670 ¹⁾	630 ¹⁾
DILLIMAX 890	890			850 ¹⁾	830 ¹⁾	—
DILLIMAX 965	960		930	850		—
DILLIMAX 1100	1100	—	—	—	—	—

1) Sopimuksesta voidaan säätää suurempia vähimmäisarvoja.



Taulukko 3: Vetolujuuden ja murtovenymän vähimmäisarvot levynpaksuuden mukaan

Vetolujuus R_m MPa:na							Murtovenymä A_5 %:eina ²⁾	
	Levynpaksuus (mm)	30	50	60	80	100	150	kaikki paksuudet
DILLIMAX 460				550 – 720			500 – 670	17
DILLIMAX 500				590 – 770			540 – 720	17
DILLIMAX 550				640 – 820			590 – 770	16
DILLIMAX 620				700 – 890			650 – 830 ¹⁾	15
DILLIMAX 690				770 – 940			720 – 900 ¹⁾	14
DILLIMAX 890		940 – 1100		900 – 1100		880 – 1100	—	12
DILLIMAX 965		980 – 1150		950 – 1120		900 – 1100	—	12
DILLIMAX 1100	1200 – 1500	—	—	—	—	—	—	10

1) Sopimuksesta voidaan säätää suurempia vähimmäisarvoja.

2) Vähimmäismurtovenymä.

Taulukko 4: DILLIMAX teräksien lovi-iskutyön vähimmäisarvot (Charpy-V-koe)

DILLIMAX 460–965	Kokeen suunta	Lovi-iskutyö A_v [J] koestuslämpötilassa			
		0 °C	-20 °C	-40 °C	-60 °C
Peruslaatu (B)	pitkitt./poikitt.	40/30	30/27	—	—
Kylmäsitkeä laatu (T)	pitkitt./poikitt.	50/35	40/30	30/27	—
Kylmäsitkeä erikoislaatu (E) ¹⁾	pitkitt./poikitt.	60/40	50/35	40/30	30/27

DILLIMAX 1100 tarjotaan vähintään 30 J ja 27 J lovi-iskutyöarvoilla kulloinkin pitkittäis- ja poikittaissuunnassa -40 °C:n lämpötilassa.

1) Tämä vaihtoehto ei ole saatavissa DILLIMAX 965 laatuna



*Kuva 4: O&K-hydraulikaivuri RH 400: kantavat rakenteet DILLIMAX 690 T terästä
(kuva julkaistu Terex-O & K, Dortmund -yhtiön luvalla)*



Ominaisuudet paksuussuunnassa

Erinomaisten mekaanisten ominaisuuksien, ennen kaikkea murtokuristuman korkeiden arvojen, saavuttamiseksi levyn paksuussuunnassa, on erityisesti hyvin alhaisten ei-metallisten sulkeumien pitoisuuksien asettaminen sekä vedyn teräksessä aiheuttamien vaurioiden estäminen välttämätöntä.

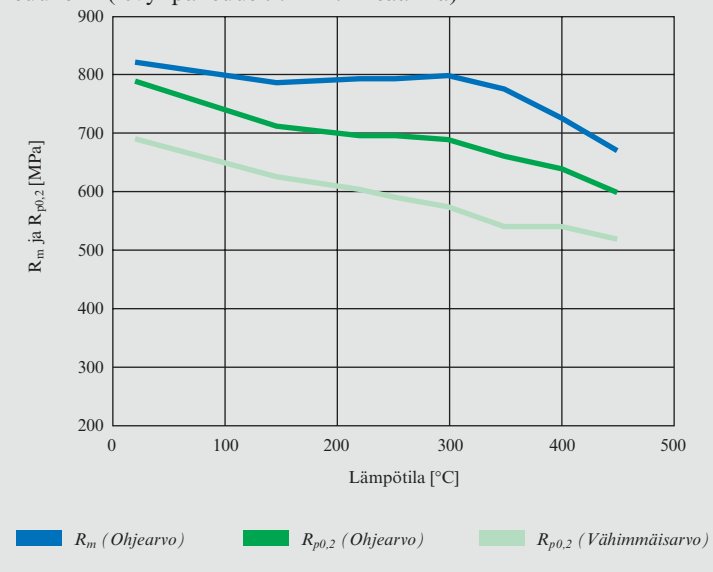
Vastaavan metallurgisen panoksen avulla DILLIMAX teräkset saavuttavat hyvin korkean sulfidisen ja oksidisen puhtausasteen sekä erittäin alhaiset vetypitoisuudet, jotka ovat selvästi tavanomaisia arvoja alhaisemmat. Täten on luotu perusedellytykset siihen, että pystytään esim. DILLIMAX 690:lle sopimuksesta takaamaan arvot aina Z-35 saakka.

Kuumankestävyys

Kun käytetään valikoidusti seos-elementtejä, kuten esim. molybdeeni ja kromi, DILLIMAX

teräkset saavat hyvän kuumankestävyyden aina 500 °C:seen saakka (kts. kuva 5). Sopimuksesta voidaan taata kuumamyötörajan vähimmäisarvot.

Kuva 5: Lämpötilan vaikutus DILLIMAX 690:n lujuusominaisuuksiin (levynpaksuus 50 mm:iin saakka)





Virumislujuus

Taulukko 5 esittää DILLIMAX 690 teräksen tyypilliset virumislujuusarvot. Nämä ominaisuudet

ovat mielenkiintoisia sellaisille rakenteille ja rakenneosille, joiden käyttölämpötila on korkea, kuten esim. suuret teollisuuspuhaltimet. Tunnetuissa virumis-

lujuusvaatimuksissa kiinnitetään huomio analyysin valinnalla riittäviin kromi- ja molybdeeni-pitoisuuksiin.

Taulukko 5: DILLIMAX 690 teräksen tyypilliset virumislujuusarvot

	Murto 100.000 h [MPa] jälkeen		$\epsilon = 1\%$ 100.000 h [MPa] jälkeen	
	450 °C	500 °C	450 °C	500 °C
Lämpötila	450 °C	500 °C	450 °C	500 °C
Levynpaksuus ≤ 20 mm	240	100	170	80
$20 > t \leq 50$ mm	270	120	180	90



DILLIMAXIN TYÖSTÖMINAISUUDET

DILLIMAX teräkset ovat työstettävissä yhtä hyvin kuin tavanomaiset alempien lujuusluokkien rakenneteräkset. Joissakin tapauksissa ne ovat jopa helpommin käsiteltävissä. Kuitenkin myös DILLIMAX teräksiä koskevat tietyt työstämisohjeet. Työstäjän on selvitettävä asiaankuuluvista standardeista, että laskenta-, suunnittelu- ja työmenetelmät ovat materiaalin mukaiset, vastaavat tekniikan tasoa ja sopivat aiottuun käyttötarkoitukseen.

Seuraavassa selostetaan muutama periaatteellinen asiayhteys ja annetaan DILLIMAX teräksiä koskevia käytännön työstämisohjeita.

Kylmämuovaus

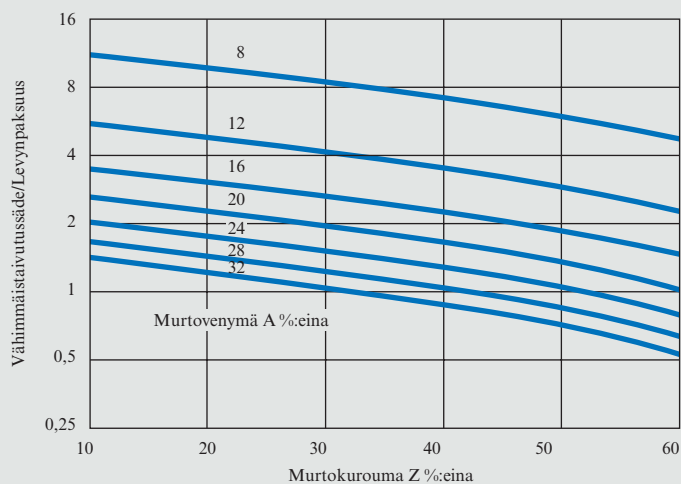
DILLIMAX teräksiä voidaan hyvin kylmämuovata taivuttamalla tai särmäämällä. Tällöin on otettava huomioon, että teräksen myötörajan noustessa

kasvatav muovaukseen tarvittavat voimat seinämävahvuuksien ollessa samat. Myös takaisinjousto kasvaa.

Reunoista lähtevän repeämämuodostusvaaran välttämiseksi tulee leikattuja tai polttoleikat-

tuja reunoja aiotun kylmämuovaamisen alueella käsitellä hioamalla. Vähimmäistaivutussäde riippuu teräksen muovattavuudesta ja se voidaan arvioida murtovenymästä ja -kuroumasta kuvasta 6.

Kuva 6: DILLIMAX teräksien vähimmäistaivutussäteet kylmämuovausta varten riippuen murtovenymästä ja murtokuroumasta





*Kuva 7: DILLIMAX 690 teräksestä valmistettuja putkijohdon osia vesivoimaloiden turbiini-rengasjohtoja varten
(Kuva julkaistu Sulzer Hydro Ltd, Zürich, Schweiz, yhtiön luvalla)*



Teräksen myötörajan kasvaessa sen murtovenymä alenee. Tiettyä maksimimuovausnopeutta oletettaessa (alle 10%:n venymä sekunnissa ulkokuidussa) voidaan DILLIMAX teräksille käyttää tiettyjä vähimmäistaivutussäteitä ja -matriisi-

leveyksiä ohjearvoina (kts. taulukko 6).

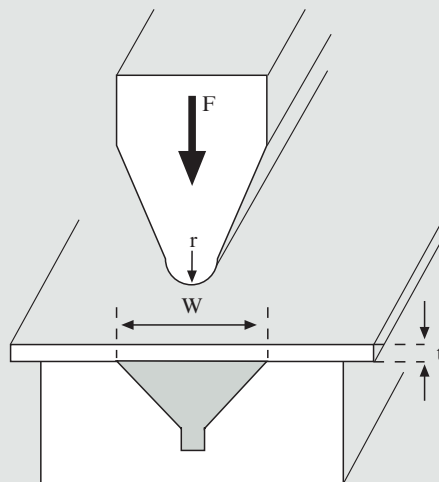
Kylmämuovaus aiheuttaa teräksen lujittumista, johon liittyy sitkeydenmenetys. Tämä voidaan todeta iskusitkeystaivutuskokeessa, jossa muovaus aiheuttaa

siirtymälämpötilan T_{27J} nousun (käyrä siirtyy oikealle). Tämä siirtymälämpötilan siirtyminen on nuorrutetuille ja normaalihehkutetuille teräksille käytännössä samansuuruinen ja on keskimäärin 3 kelviniä kylmämuovausprosenttia kohti.

Taulukko 6: Vähimmäistaivutussäteet ja matriisileveydet DILLIMAX teräslajien kylmämuovausta varten

DILLIMAX	460 , 500		550 , 620		690		890 , 965		1100	
Taivutuslinja valssaussuuntaan nähden	poik.	pitk.	poik.	pitk.	poik.	pitk.	poik.	pitk.	poik.	pitk.
Taivutussäde	1t	1,5t	1,5t	2,5t	2t	3t	3t	4t	5t	6t
Matriisinleveys	6t	7t	6t	7t	7t	9t	9t	12t	14t	16t

t = levynpaksuus; muovausnopeus > 2 s 90°:n taivutuskulmalle

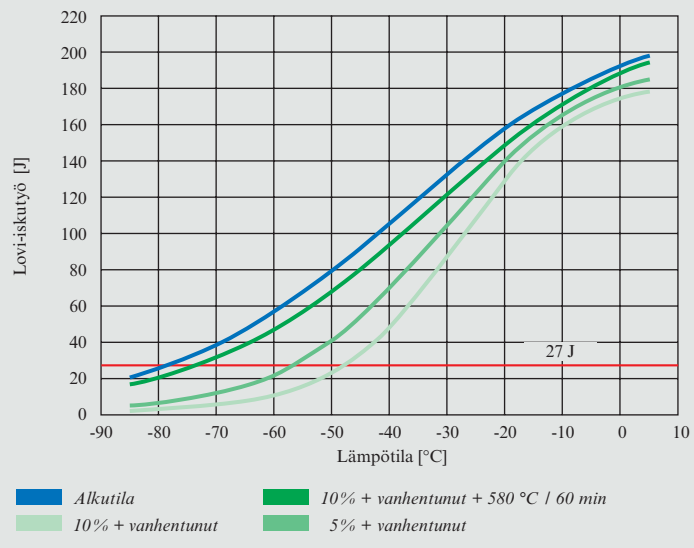




On kuitenkin otettava huomioon sitkeyden lisääntyminen niin sanotun vanhenemisen, haurastumisilmiön takia, joka ajan kuluessa kohdistuu kylmämuovattuihin teräksiin. Tämä tapahtuma voi kestää huoneenlämpötilassa vuosia, kun taas se noin 200 °C:ssa tapahtuu muutamassa minuutissa. Myös hitaamaisessa kylmämuovatuilla alueilla voi vanheneminen nopeutua. Ratkaisevaa kylmämuovattun teräksen varmuudelle haurasmurtumaa vastaan ja siten sen lähtötilassa omanneille sitkeysreserveille, on kylmämuovausaste sekä rakenteosan alhaisin käyttölämpötila.

Kuva 8 esittää lovi-iskutyölämpötila-käyrien avulla, etteivät kylmämuovaus ja vanheneminen altista DILLIMAX teräksiä keskimääräistä suuremmille sitkeyshäviöille.

Kuva 8: DILLIMAX 690 T teräksen (levynpaksuus 30 mm) tyypilliset lovi-iskutyölämpötila-käyrät kylmämuovauksen ja keinotekoisin vanhenemisen jälkeen





Muovauksen jälkeen suoritettu hehkutus jännitystenpoistohehkutuksen lämpötila-alueella (katso kappale “Jännitystenpoistohehkutus”, s. 36) vähentää vanhenemisen haurastamisvaikutusta.

Käyttötarkoituksen mukaan DILLIMAX teräksiä koskevat erilaiset säännöt, jotka määräävät suurimmat sallitut kylmämuovausmäärät ja vastaavat lämpökäsittelyt. Mikäli valmiiksi hitsattua rakennosaa joka tapauksessa jännitystenpoistohehkutetaan, voidaan kylmämuovauksen jälkeisestä erillisestä hehkutuksesta mahdollisesti luopua. 2 %:iin asti tapahtuvat kylmämuovaukset eivät yleensä edellytä jälkikäsittelyä.

Kuumamuovaus

Taivutussäteiden ollessa pieniä ja seinämäpaksuuksien ollessa suurehkoja voi olla edullista

muovata korkeammissa lämpötiloissa, koska siihen tarvitaan pienempiä muovausvoimia. Tällä menetelmällä on kuitenkin eräs huomattava haitta: Kuuma-
muovaus suoritetaan yleensä jännitystenpoistohehkutuksen suurimman sallitun lämpötilan yläpuolella. Tällä lämpötila-alueella DILLIMAX teräkset menettävät pakostakin alkupe-
räiset, vesinuorutuksen aikaansaamat mekaaniset ominaisuutensa.

Mikäli seuraavaksi ei suoriteta uudelleenuorutusta, ei DILLIMAX teräksien kuuma-
muovaus näin ollen ole sallittua.

On otettava huomioon, että myös uudelleenuorutuksessa voivat DILLIMAX teräksien mekaaniset ominaisuudet huonontua. DILLINGER HÜTTE GTS ei pysty takaamaan tyydyttäviä uudelleenuorutustuloksia. Yhtäältä on käsittelijöiden käytössä olevien lämpökäsittely-

laitteistojen teho kokemusten mukaan hyvin erilainen. Toisaalta on tyydyttävien nuorutustuloksien saavuttaminen monimutkaisella rakennegeometrialla vaikeaa verrattuna työstämättä olevaan levyyn. Siksi täytyy rakennosia varten, jotka työstön yhteydessä on tarkoitus nuoruttaa, sopia etukäteen DILLINGER HÜTTE GTS:n kanssa teräksen kemiallinen koostumus vastaavaksi.

Mikäli on tarkoitus nuoruttaa uudelleen, tulisi DILLIMAX terästen kuumamuovaus suorittaa mahdollisesti lämpötila-
alueella 880 °C ... 950 °C. Sitä seuraavassa karkaisussa on huolehdittava nopeasta lämmönpoistamisesta riittävän syväkarkaisun varmistamiseksi. Seuraava päästökäsittely riippuu kemiallisesta koostumuksesta, mitoista sekä vaadituista mekaanisista ominaisuuksista ja se tulisi myös sopia yhdessä DILLINGER HÜTTE GTS:n kanssa.



Muovaus jännitystenpoistohehkuksen alueella

Määritelmän mukaan tämä menetelmä katsotaan kuuluvaksi kylmämuovausmenetelmiin. Koska myötöraja on tällä lämpötila-alueella jo selvästi alhaisempi kuin huoneenlämpötilassa, pienenevät tarvittavat muovausvoimat verrannollisesti, kuitenkin ilman että nuorrutuskiderakenne muuttuu ratkaisevasti. Lisäksi sitkeyteen vaikutetaan vähemmän haitallisesti kuin huoneenlämpötilassa tapahtuvassa kylmämuovauksessa. Noin 50 °C ... 80 °C päästölämpötilan alapuolella olevissa muovauslämpötiloissa ja muokkausasteiden ollessa alle 2% voidaan luopua muovauksen jälkeen suoritettavasta uudelleennuorrutuksesta.

Muokkausasteiden ollessa suurempia tulisi tarkistaa, saavutaanko teräksen mekaaniset vähimmäisarvot (sitkeys, venymä) vielä sen jälkeen.

DILLIMAX 1100 teräksen muovaus ei jännitystenpoistohehkuksen alueella ole sallittua.

Terminen leikkaus

DILLIMAX terästen polttoleikkaus ja plasmasulatusleikkaus ovat asianmukaista työtapaa käytettäessä vaikeuksitta mahdollisia, mikäli käytetään moitteettomia ja kulloisellekin työlle sopivia työkaluja.

Koska eri valmistajat ovat kehittäneet erilaisia työkaluja, tulee kulloisetkin leikkaustaulukkojen muodossa annetut asetusarvot ja ohjeet (suuttimen valinta, kaasupaineet, työtavat, nopeus jne.) ottaa huomioon.

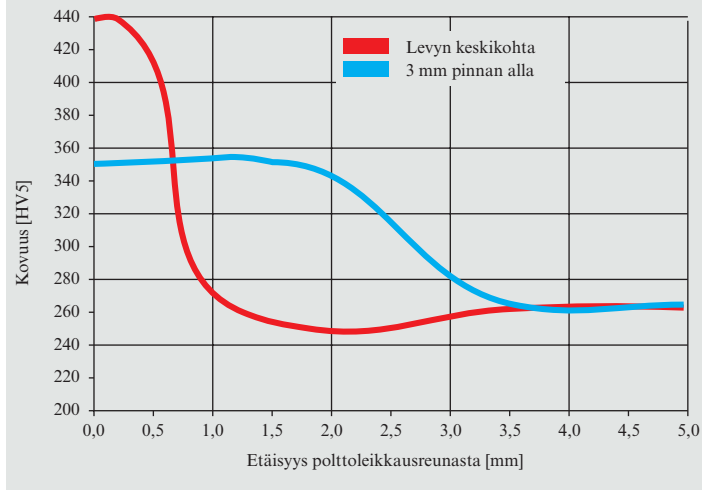
Lisäksi on tuotteiden pinnan tilalla huomattava vaikutus polttoleikkausehtoihin ja saavutettavissa olevaan leikkauspinnan laatuun. Kun leikkauspintaan kohdistuvat korkeat laatuvaatimukset, on työkappaleen leikkaussauman alue puhdistettava ylä- ja alapuolelta hilseestä, ruosteesta, maalista ja muista epäpuhtauksista. DILLIMAX 460 ja 500 teräksien esilämmitäminen ei yleensä poltto- ja sulatusleikkausta varten ole tarpeellinen; tällöin edellytetään, ettei työkappaleen lämpötila ole

alle 15 °C. Mikäli leikkausreunat kuitenkin kylmämuovataan jatkotyöstettäessä, kuten esim. taivuttamalla tai särmäämällä, on suuremman lujuuden omaavien DILLIMAX teräksien muovausalueella esilämmitettävä noin 100 mm leveä vyöhyke 120 °C ... 200 °C:n lämpötilaan tai polttoleikkauksella karkaitut alueet on poistettava muovausalueelta hiomalla.

Kuva 9 esittää tyypillisiä karkaisukulkuja DILLIMAX 690 teräksen polttoleikkausreunan lämmönvaikutusalueella. DILLIMAX 550 ... 1100 teräksiä koskien suosittelemme polttoleikkaukseen määrättyjen vähimmäisesilämmityslämpötilojen noudattamista (kts. taulukko 7).



Kuva 9: Tyypillinen DILLIMAX 690 teräksen polttoleikkausreunan karkaiseminen happi-asetyleeni-polttoleikkauksessa (levypaksuus: 20 ... 30 mm)



Taulukko 7: DILLIMAX 550 ... 1100 teräksien vähimmäisesilämmityslämpötilat polttoleikkauksessa

Levypaksuus [mm]	< 20	< 50	< 100	> 100
DILLIMAX 550	25 °C	25 °C	50 °C	100 °C
DILLIMAX 620	25 °C	50 °C	100 °C	150 °C
DILLIMAX 690	25 °C	50 °C	100 °C	150 °C
DILLIMAX 890	50 °C	100 °C	150 °C	—
DILLIMAX 965	50 °C	100 °C	—	—
DILLIMAX 1100	75 °C	125 °C ¹⁾	—	—

1) Dillimax 1100 on saatavissa vakiona vain 30 mm:n paksuuteen asti



Kuva 10: DILLIMAX 690 T teräksen kaasupolttoleikkaus



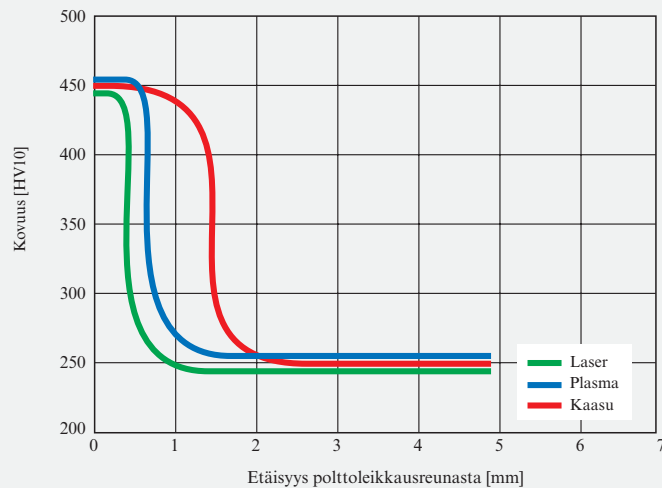
Laser- ja plasmaleikkaus:

Laser- ja plasmaleikkauksen olennaiset edut ovat siinä, että leikkausteho on suurempi ja leikkaussaumat kapeammat lämmöntuonin ollessa samalla erittäin pieni. Molemmilla leikkausmenetelmillä voidaan leikata mitä pienimpiä osia ja lamelleja ilman että nämä kieroutuvat ja menettävät kovuutta. Myös esilämmityksestä voidaan näitä menetelmiä käytettäessä luopua.

Laserleikkauksen perusedellytyksenä on levyjen moitteeton pinta, koska lasersuihkun tulee häiriöttä levyn pinnalla niin sanotussa polttokohdassa keskittyä ja imeytyä ilman heijastuksen aiheuttamia häviöitä.

Kaikki DILLIMAX teräslajit voidaan tilauksesta toimittaa erityisesti tätä tapausta varten myös puhallettuina ja pinnoitettuina. Saavutettavissa olevat leikkaustehot riippuvat paljolti laser-tehosta ja leikattavan levyn paksuudesta. Levyn ollessa 10 mm

Kuva 11: Erilaisten leikkausmenetelmien tyypillinen vaikutus vesinuorutetun hienoraakenneteräksen lämmönvaikutusalueeseen, myötörajan ollessa 690 MPa.



paksu ja tehon ollessa 2-3 kW ovat leikkausnopeudet aina 2000 mm/min saakka mahdollisia.

Käsittelmällä pintaa sopivasti, kuten esim. käyttämällä emulsiota, voidaan tehoa mahdollisesti vielä parantaa. Päinvastoin kuin laserleikkaus sopii plas-

maleikkaus myös > 30 mm paksujen levyjen leikkaamiseen. Lämmönvaikutusalue on kuitenkin hieman leveämpi. Kuva 11 esittää erilaisten leikkausmenetelmien tyypillisen vaikutuksen nuorutetun erittäin lujan hienoraakenneteräksen lämmönvaikutusalueeseen.



Hitsaus

Hitsattavuus: Mikäli yleisiä hitsaustekniikan sääntöjä (EN 1011, kts. kappale ”Kirjallisuus“, s. 44) sekä seuraavia ohjeita noudatetaan, sopivat DILLIMAX teräkset hitsattaviksi tavanomaisilla hitsausmenetelmillä. Jauhekaarihitsaus on mahdollista aina DILLIMAX 690:een, puikkohitsaus DILLIMAX 890:een ja suojakaasuhitsaus DILLIMAX 1100:aan saakka. Myötörajan noustessa edellyttää työstö, erityisesti lämmönohjaus hitsaamisessa, erityistä huolellisuutta.

DILLINGER HÜTTE GTS huomauttaa, että seuraavat hitsausta koskevat suositukset ovat luonteeltaan ainoastaan informatiivisia.

Moninaiset hitsausolosuhteet, rakenne sekä käytetyt lisäaineet vaikuttavat olennaisesti hitsausliitoksen laatuun. Koska eivät kulloisetkin työstöolosuhteet ole

tiedossa, ei ole mahdollista ennalta taata hitsisauman mekaanisia ominaisuuksia tai hitsausten virheettömyyttä. Käytäntö osoittaa kuitenkin hyviä tuloksia, kun luodaan sopivia hitsausolosuhteita.

Hitsisauman valmistelu: Sauman valmistelu voi tapahtua lastuvalla työstöllä tai termisellä leikkauksella (polttoleikkaus, plasma, laser). Hitsausta aloitettaessa on sauman alueen oltava metallisenkiiltävä ja kuiva eikä siinä saa olla polttoleikkauskuonaa, ruostetta, hilsettä, maalia ja muita epäpuhtauksia.

Hitsauslisäaineet ja apuaineet: Hitsauslisäaineet on valittava mekaanisille ominaisuuksille asetettujen vaatimuksien mukaan. Juurihitsaukset voidaan perusaineen aiheuttaman hitsiaineen mahdollisen seostumisen johdosta hitsata sellaisilla hitsauslisäaineilla, jotka antavat tulokseksi pehmeämmän hitsiaineen kuin siihen kuuluvat

täyte- ja pintapalot. Sama koskee ei-täyskuormitettuja pienahitseejä, myös tässä on monessa tapauksessa mahdollista turvautua saumanpaksuutta lisäämällä ”pehmeämpiin” lisäaineisiin.

Kaarihitsauksessa käytetään sitkeysystistä periaatteessa kalkkiemäksisellä päällyksellä varustettuja hitsauspuikkoja. Emäksisellä päällyksellä varustetuilla puikoilla on kaksi erinomaista ominaisuutta: hitsausaineen lovi-iskutyö on korkeampi (erityisesti alhaisissa lämpötiloissa) ja puikkojen vedyntuotto pienempi kuin kaikilla muilla päällystyypeillä.

Valmistajan palautuskuivatus- ja varastoimisohjeita on ehdottomasti noudatettava. Samoihin ajatuksiin perustuen tulee jauhekaarihitsauksessa käyttää vain emäksisiä jauheita.

Yhteenveto sopivista lisäaineista on esitetty taulukossa 8.



Taulukko 8: Hitsauslisäaineet ja apuaineet DILLIMAX teräksien hitsaamiseen

DILLIMAX	Puikkohitsaus	Jauhekaarihitsaus	Suojakaasuhitsaus (MAG)	Valmistaja
460	SH V1 (u,s)	Union S2Ni / UV 421 TT-LH (u,s)	Union K56 / M21 (u)	Thyssen
			Union K 5 Ni / M21 (u,s)	Thyssen
	Fox EV 60 (u,s)	EMS 3 ¹⁾ (u,s)	EMK 8 / M2, M3 (u,s)	Böhler
	Fox EV 63 (u,s)	EMS 2 Mo ¹⁾ (u,s)	DMO-IG / M2, M3 (u,s)	Böhler
	Fox DMO Kb (u,s)	EMS 3 Mo ¹⁾ (u,s)		Böhler
	Tenacito 38R (u,s)	OE-S2Mo / OP 121TT (u)	Carbofil 1a / M21 (u)	Oerlikon
		OE SD3 / OP121TT (u)	Carbofil Mo / M21 (u)	Oerlikon
	Fluxocord 31 / OP 121TT (u,s)	Fluxofil M10 / M21 (u,s)	Oerlikon	
	Fluxocord 35.25 / OP122 (u)	Fluxofil 31 / M21 (u)	Oerlikon	
500	SH V1 (u,s)	Union S2 NiMo / UV 421 TT-LH (u,s)	Union K 5 Ni / M21 (u)	Thyssen
			Union MoNi / M21 (u,s)	Thyssen
	Fox EV 65 (u,s)	3 NiMo1- UP ¹⁾ (u,s)	DMO-IG / M2,M3 (u,s) ²⁾	Böhler
	Fox U 80 N (u,s)	U80 -UP ¹⁾ (u,s)	NiMo1-IG / M2,M3 (u,s)	Böhler
	Tenacito 65R (u,s)	OE-S3NiMo1 / OP 121 TT (u,s)	Carbofil NiMo1 / M21 (u,s)	Oerlikon
		Fluxocord 40 / OP 121 TT (u)	Fluxofil 40 / M21 (u)	Oerlikon
		Fluxocord 41 / OP 121 TT (s)	Fluxofil 140 mod / M21 (u)	Oerlikon
		Fluxofil 41 (s)	Oerlikon	
550	SH Ni2 K90 (u,s)	Union S3 NiMo / UV 421 TT-LH (u,s)	Union MoNi / M21 (u,s)	Thyssen
	Fox EV 65 (u,s)	3 NiMo1- UP ¹⁾ (u,s)	NiMo1-IG / M2,M3 (u,s) ²⁾	Böhler
	Fox U 80 N (u,s)	U80 -UP ¹⁾ (u,s)	NiMo1-IG / M2,M3 (u,s)	Böhler
	Tenacito 65 (u,s)	OE-S3NiMo1 / OP 121 TT (u,s)	Carbofil NiMo1 / M21 (u,s)	Oerlikon
		Fluxocord 41 / OP 121 TT (u,s)	Fluxofil 41 / M21 (u,s)	Oerlikon
620	SH Ni2 K100 (u,s)	Union S3 NiMoCr / UV 421 TT-LH (u,s)	Union MoNi / M21 (u)	Thyssen
			Union NiMoCr / M21 (u,s)	Thyssen
	Fox EV 75 (u,s)	U 100-UP ¹⁾ (u,s)	NiMo-IG / M2, M3 (u,s) ²⁾	Böhler
	Fox U 100 N (u,s)		X70-IG / M21 (u,s)	Böhler
	Tenacito 75 (u)	Fluxocord 42 / OP 121 TT (u,s)	Carbofil NiMo1 / M21 (u)	Oerlikon
			Carbofil NiMoCr / M21 (u,s)	Oerlikon
		Fluxofil 42 / M21 (u,s)	Oerlikon	
		Fluxofil M42 / M21 (u,s)	Oerlikon	
690	SH Ni2 K100 (u,s)	Union S3 NiMoCr / UV 421 TT-LH (u,s)	Union NiMoCr / M21 (u,s)	Thyssen
			Union X85 / M21 (u,s)	Thyssen
	Fox EV 85 (u,s)	U 100-UP ¹⁾ (u,s)	X70-IG / M21 (u,s)	Böhler
	Fox U 100 N (u,s)	3NiCrMo2,5-UP ¹⁾ (u,s)		Böhler
	Tenacito 80 (u,s)	Fluxocord 42 / OP 121 TT (u,s)	Carbofil NiMoCr / M21 (u,s)	Oerlikon
			Fluxofil 42 / M21 (u,s)	Oerlikon
		Fluxofil M42 / M21 (u,s)	Oerlikon	
890	SH NNI 2K 130 (u)		Union X90 / M21 (u)	Thyssen
			Union X 96 / M21 (s)	Thyssen
	Fox EV 90 (u,s)	X90-UP ¹⁾²⁾ (u,s)	X90-IG / M21 (u,s)	Böhler
	Tenacito 100 (u)	Fluxocord 45 / OP 41TT (u)	Fluxofil 45 / M21 (u)	Oerlikon
965/1100 ³⁾	SH Ni 2K 150 (u)		Union X96 / M21 (u)	Thyssen
	Fox EV 90 (u,s) ²⁾		X90-IG / M21 (u,s) ²⁾	Böhler
	Tenacito 100 (u)	Fluxocord 45 / OP 41TT (u)	Fluxofil 45 / M21 (u)	Oerlikon

1) yhdistettävissä fluoridiemäksisiin jauheisiin, DIN EN 760 mukaan tyyppi FB, esim. OP41 TT, OP 121TT, LW 330, UV 420 TT

2) rajallisesti käytettävissä, esim. ohuiden seinämien liitoksissa

3) Tämän esitteen julkaisupäivänä ei ollut käytettävissä hitsauslisäaineita, jotka olisivat saavuttaneet perusainetta vastaavan myötörajan samanaikaisesti rakennetarkoituksiin riittävällä sitkeydellä.

u = hehkuttamatta, s = jännitystenpoistohehkutettu

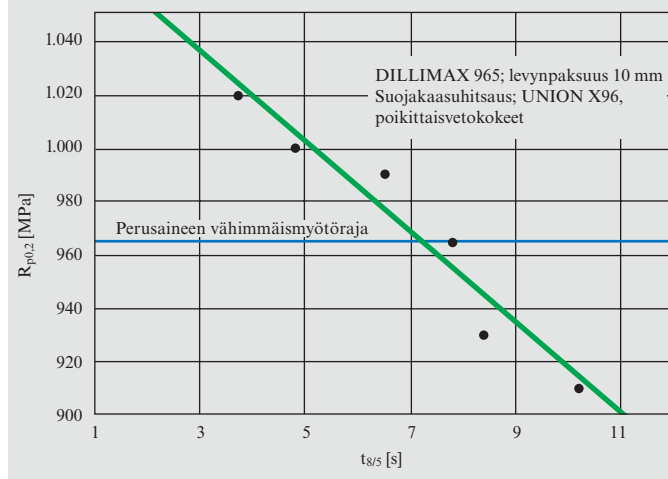


Hitsausenergia ja lämpötila-ajankulku hitsaamisessa:

Hitsaamisessa tapahtuvan lämpötila-ajankulun tunnusarvoksi valitaan yleensä jäähtymisaika, jonka kuluessa hitsipalosa kuljetaan lämpötila-alueen 800 °C ... 500 °C ($t_{8/5}$ -aika) läpi. Sen määrää ensisijaisesti hitsausenergia, esilämmitys- tai välipalkolämpötila ja, erityisesti ohuilla levyillä, levynpaksuus.

Sen varmistamiseksi, että teräksen ominaisuudet eivät kärsi termisestä kuormituksesta sallittua enempää, on tarpeen rajoittaa jäähtymisaikaa ja siten erityisesti hitsausenergiaa ylöspäin. Kuva 12 esittää, miten kasvava $t_{8/5}$ -aika vaikuttaa hitsiaineen myötörajaan ($R_{p0,2}$). Mutta myös alaspäin on $t_{8/5}$ -ajan rajoittaminen välttämätöntä: liian nopea jäähtyminen voi aiheuttaa muutosvyöhykkeen

Kuva 12: $t_{8/5}$ -ajan vaikutukset DILLIMAX 965:n hitsiaineen myötörajaan



voimakkaan karkenemisen.

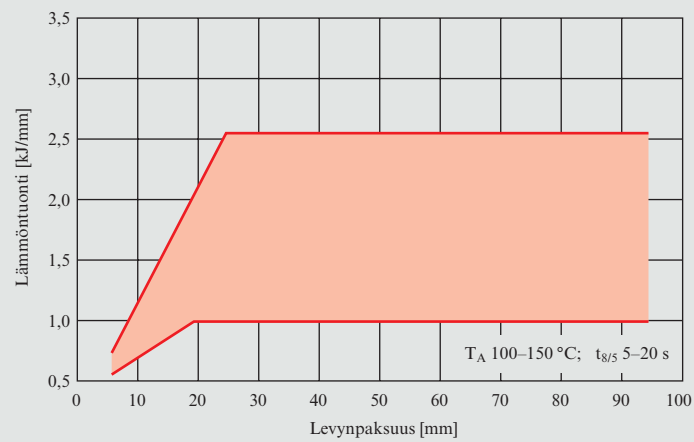
Lisäksi estyy vetyeffuusio, mikä edistää vedyn mukanaan tuomaa kylmärepeämämuodostusta hitsiaineessa ja muutosvyöhykkeessä (vrt. kappale “Kylmärepeäminen välttäminen”, s. 31).

Suosituksia sopivien $t_{8/5}$ -aikojen valintaan sekä suurimman sallitun lämmöntuontiin hitsattaessa DILLIMAX 690, 890 ja 965 teräksiä on esitetty kuvissa 13 ... 17.

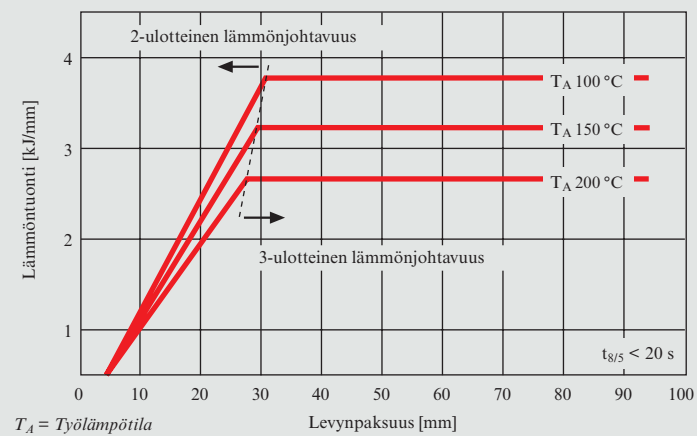


Kuva 13: DILLIMAX 690: Lämmöntuonti hitsattaessa levynpaksuuden mukaan

(a) suositeltava työalue



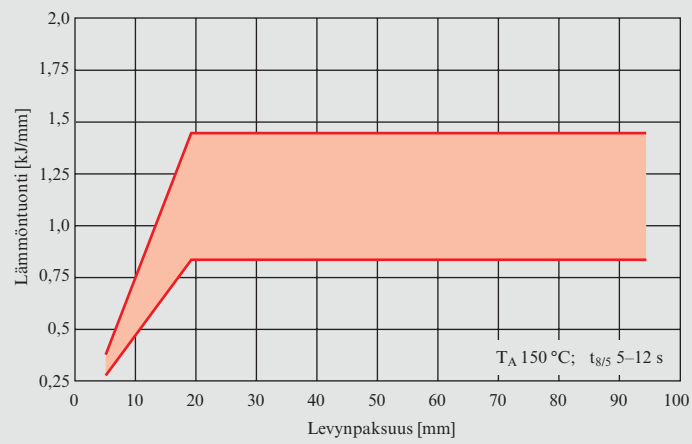
(b) suurin sallittu lämmöntuonti



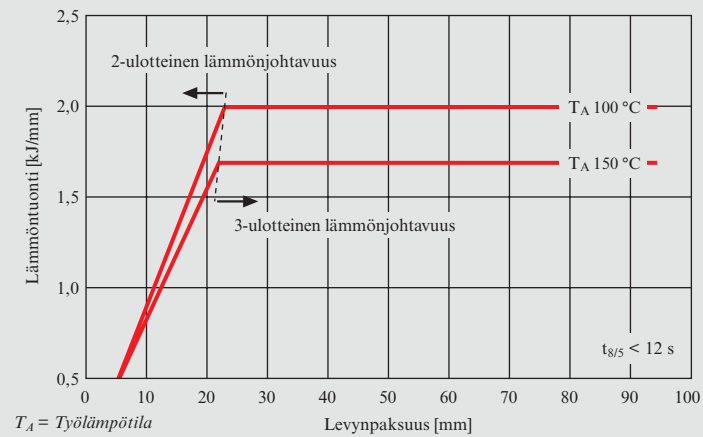


Kuva 14: DILLIMAX 890: Lämmöntuonti hitsattaessa levynpaksuuden mukaan päittäishitsillä

(a) suositeltava työalue



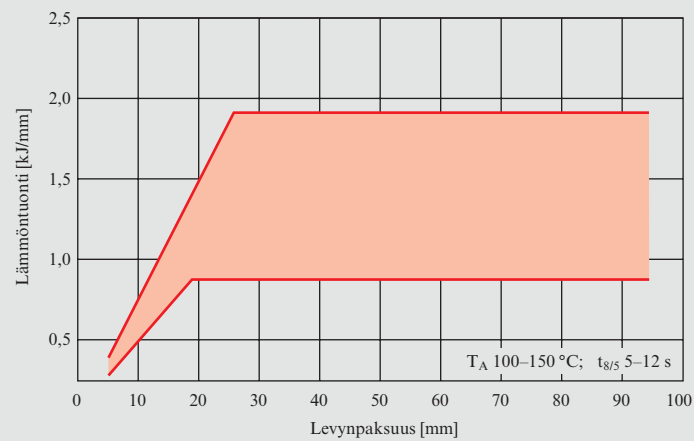
(b) suurin sallittu lämmöntuonti



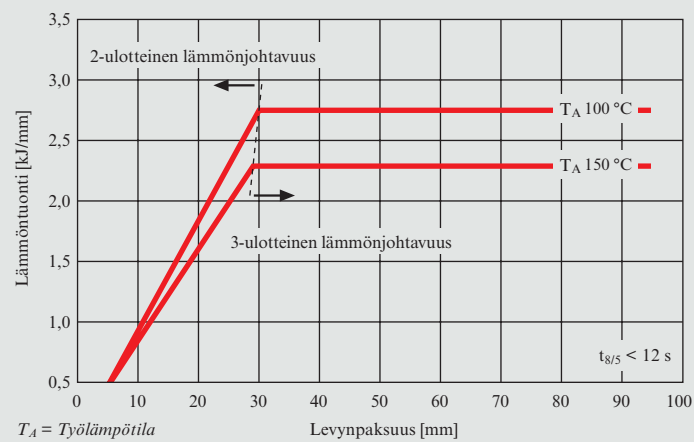


Kuva 15: DILLIMAX 890: Lämmöntuonti hitsauksen yhteydessä levynpaksuuden mukaan pienahitsillä

(a) suositeltava työalue



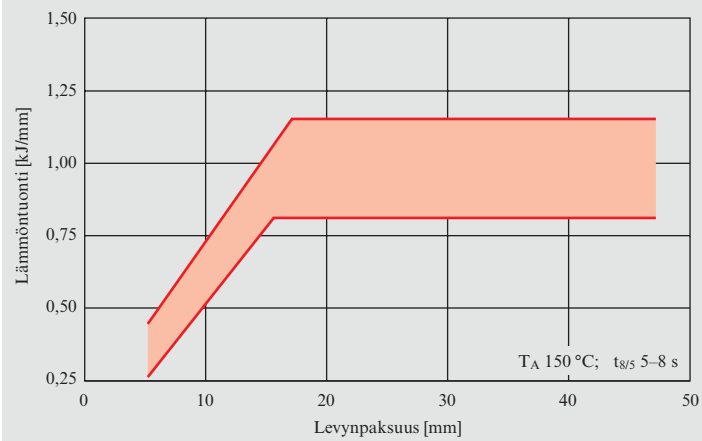
(b) suurin sallittu lämmöntuonti



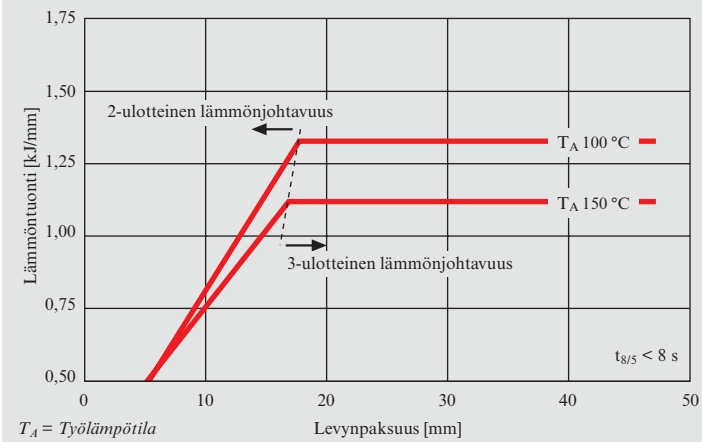


Kuva 16: DILLIMAX 965/1100: Lämmöntuonti hitsattaessa levynpaksuuden mukaan päittäishitsillä

(a) suositeltava työalue



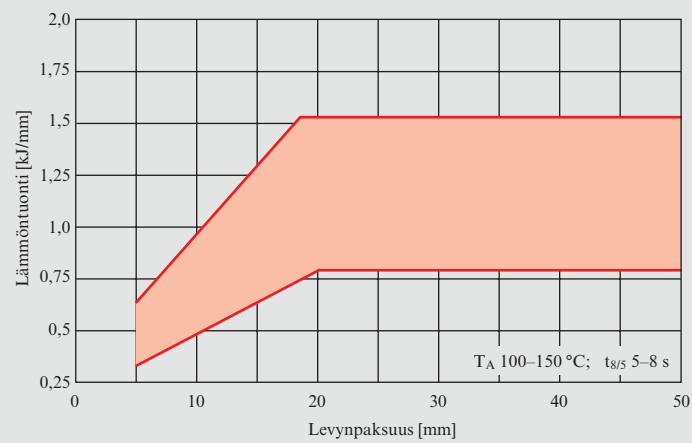
(b) suurin sallittu lämmöntuonti



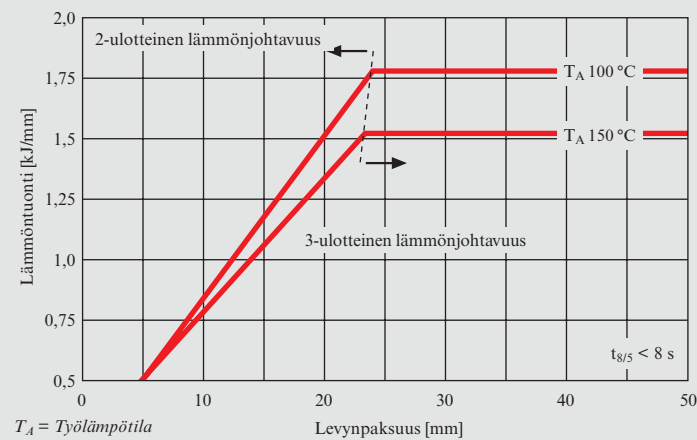


Kuva 17: DILLIMAX 965/1100: Lämmöntuonti hitsattaessa levynpaksuuden mukaan pienahitsillä

(a) suositeltava työalue



(b) suurin sallittu lämmöntuonti





Vaijerien levitysltiitos

Vaijerien ankkurointiliitos

Kuva 18: Berliinin Sony-Centerin kattorakenne, jonka rengaspalkin hahlot sekä vaijerien levitys- ja ankkurointiliitokset ovat DILLIMAX 690 terästä (kuva julkaistu Waagner-Biró AG, Wien, yhtiön luvalla)



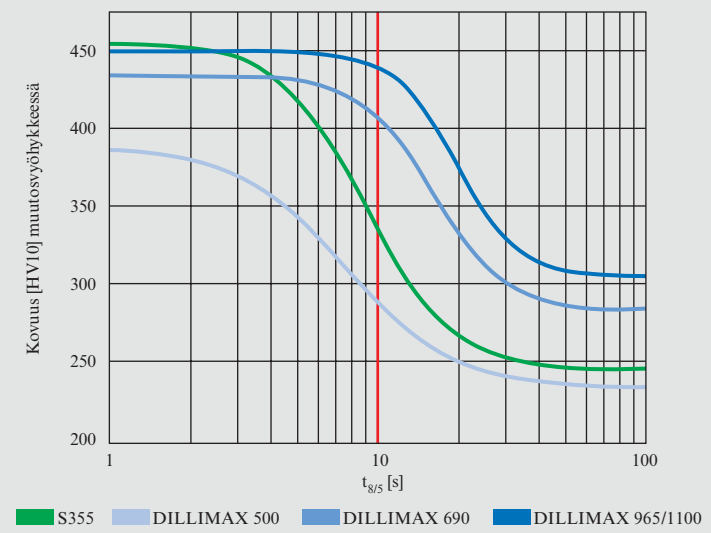
Kylmärepeämien välttäminen:

Kuten kaikilla erittäin lujilla nuorrutetuilla hienoraakerakente-teräksillä on myös DILLIMAX teräksillä epäedullisissa olo-
suhteissa taipumus kylmärepeä-
mien muodostumiseen hitsisau-
man alueella.

Vaarallista on, että repeämiä
voi esiintyä vielä 48 tunnin
viiveellä hitsaamisen jälkeen.
Tämä on repeämätarkastukses-
sa otettava huomioon.

Periaatteessa kylmärepeämät
ovat kuitenkin estettävissä, kun
hitsattaessa ryhdytään sopiviin
varovaisuustoimenpiteisiin ja
ennen kaikkea suljetaan pois
kaksi tekijää, jotka edistävät
kylmärepeämien muodostusta:
hitsiaineessa oleva vety sekä
ominaisjännitykset. Kolmas
vaikuttava tekijä, karkaisu
DILLIMAX teräksien muutos-

Kuva 19: Eri DILLIMAX teräksien muutosvyöhykkeen karkais-
tuminen verrattuna tavanomaiseen S355 teräkseen eri $t_{8/5}$ -ajoissa
tapahtuvan jäähtytyksen jälkeen



vyöhykkeessä, on teräksen ja
hitsauslisäaineiden kohonnen
seosainepitoisuuden vuoksi oh-
jattavissa vain rajallisesti.

Kuva 19 esittää eri DILLIMAX
teräksien tyypilliset muutos-
vyöhykkeen karkaistumisarvot
eri $t_{8/5}$ -ajoille.



Molekyylisen vedyn kertymä hitsiainekiderakenteen raerajoille ja sularajalle on pääsyy kylmärepeämien muodostumiselle. Vety tuodaan kosteiden hitsauslisäaineiden, hitsauksen reunoilla olevien kosteuskalvojen tai valokaarta ympäröivän ilmakehän kautta. Tämä on vältettävissä valitsemalla sopivia hitsauslisäaineita ja varastoimalla ne kuivassa, ennen kaikkea kuitenkin esilämmittämällä hitsattava rakenneos. Esilämmittäminen saa aikaan rakenneosan viivästyneen jäähtymisen hitsauksen jälkeen, jolloin vedyllä on riittävästi aikaa ulosdiffundoitumiseen. Tämä tapahtuu pääasiallisesti 300 ja 100 °C:n välisellä lämpötila-alueella. Esilämmittämisellä ei tässä yhteydessä ymmärretä vain sauman alueen lämmittämistä hitsauksen alussa, vaan myös tietyn vähimmäislämpöti-

lan ylläpitämistä koko hitsauksen ajan (työlämpötila).

Esilämmitetyn alueen tulisi sauman molemmin puolin olla vähintään 100 mm leveä.

Suosittelavat esilämmityslämpötilat DILLIMAX 690 ... 1100 teräksille on esitetty kuvissa 20 ... 22.

Kun levy on yli 30 mm paksu ja hitsausmenetelmä johtaa suurempaan vedyntuontiin (esim. jauhekaarhitsaus), on suositeltavaa välittömästi hitsaamisen jälkeen suorittaa vedynpoistoherkutus 200 °C:ssa. Hehkutuksen kesto riippuu tällöin rakenneosan paksuudesta eikä sen tulisi alittaa 2 tuntia.

Se vaara, että hitsausliitoksissa esiintyy ominaisjännitysten seurauksena repeämiä, on erittäin

suuri, kun hitsin poikkipinta on vasta osittain täytetty. Siksi on jäähtymistä alle määrätyn työlämpötilan vältettävä koko hitsausajan.

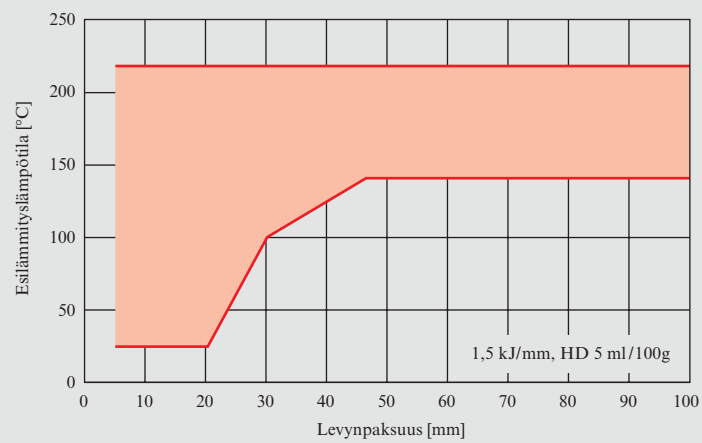
Ominaisjännitysten alhaisempiä pitämiseksi on vältettävä myös jyrkkiä poikkipintasiirtymiä ja hitsisaumojen kasautumisia. On huolehdittava myös yhteen hitsattavien yksittäisten rakenneosien hyvästä yhteensopivuudesta sekä hitsisaumojen mahdollisimman uurteettomasta suorituksesta. Myös edullisella hitsausjärjestyksellä voidaan vähentää ominaisjännityksiä.

Hitsausjärjestys tulisi periaatteessa valita siten, että yksittäiset rakenneosat voivat mahdollisimman kauan vapaasti kutistua.

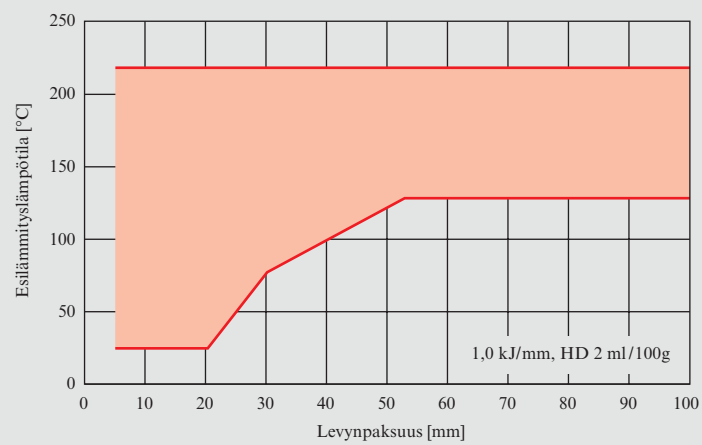


Kuva 20: DILLIMAX 690: suositeltavat esilämmityslämpötilat levynpaksuudesta riippuen

(a) Puikkohitsaus



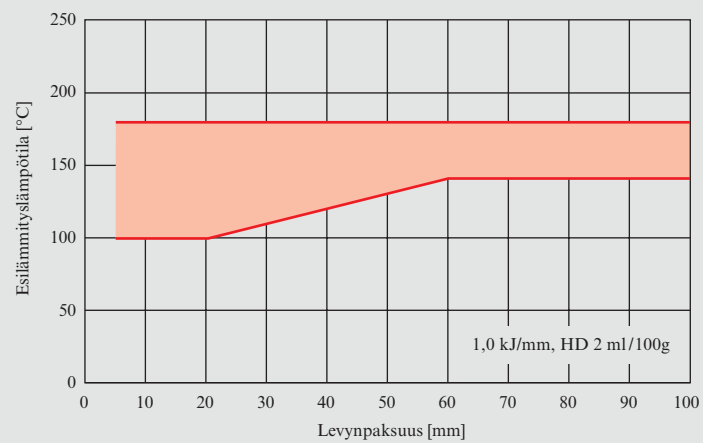
(b) MAG-hitsaus



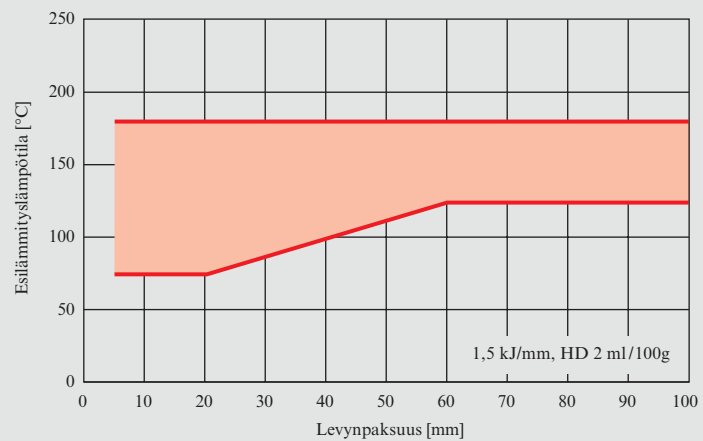


Kuva 21: DILLIMAX 890: suositeltavat esilämmityslämpötilat levynpaksuudesta riippuen

(a) Puikkohitsaus



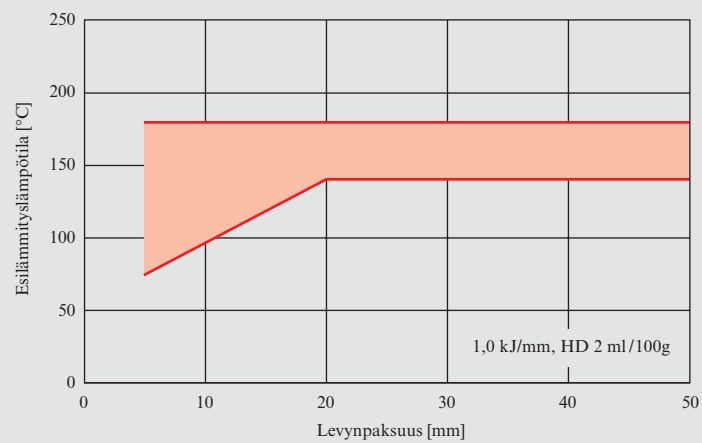
(b) MAG-hitsaus



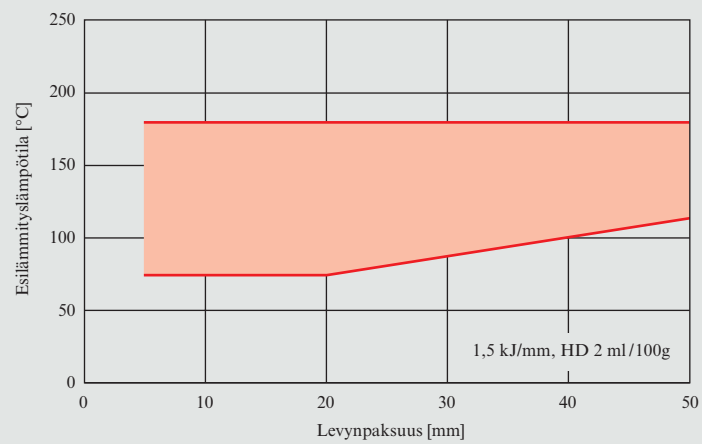


Kuva 22: DILLIMAX 965/1100: suositeltavat esilämmitys-
lämpötilat levynpaksuudesta riippuen

(a) Puikkohitsaus



(b) MAG-hitsaus





Jännitystenpoistohehkutus

DILLIMAX teräksillä ja niiden aineenmukaisesti suoritetuilla hitsausliitoksilla on riittävän suuri sitkeys, joten niitä voidaan käyttää myös erittäin kuormiteuissa rakenneosissa yleensä ilman jännitystenpoistohehkutusta.

Mikäli rakentamismääräysten perusteella tai rakenteellisista syistä edellytetään jännitystenpoistohehkutusta, suositellaan ottamaan yhteyttä DILLINGER HÜTTE GTS:ään. Yleensä tulisi jännitystenpoistohehkutuksen suurimman lämpötilan 40 °C olla alle vesinuorrutuksen päästölämpötilan. Mikäli työstäjän on tarkoitus suorittaa tällainen lämmönkäsitely, on tieto todellisesta päästölämpötilasta tilattava valmistajan todistukseen tai on otettava yhteyttä DILLINGER HÜTTE GTS:ään. Hehkutuksessa pitoaika ei saa ylittää 60 minuuttia. Mikäli on määrätty pidempiä pitoaikoja, on jännitystenpoistohehkutuslämpötilaa päästölämpötilaan nähden vielä lisää alennettava. Hehkutuslämpötilaan lämmitettäessä on, ennen kaikkea rakenneosien omajännitystason ollessa korkea ja valmistuspaksuuden suuri, otettava huomioon, että rakenneosassa vältetään suuria

lämpötilaeroja. Tapauksissa, joissa jännitystenpoistohehkutuslämpötilat on määrätty, eikä työstäjä siis voi noudattaa valmistajalla tapahtuneen vesinuorrutuksen päästölämpötilaa, tulisi tästä jo kyselyvaiheessa sopia DILLINGER HÜTTE GTS:n kanssa.

Kemiallisesta koostumuksesta ja lämpökäsittelystä johtuen DILLIMAX teräksillä on suhteellisen korkea kuumamyötöraja. Siksi niillä on jännitystenpoisto jännitystenpoistohehkutuksessa vähemmän täydellinen kuin yksinkertaisilla rakenneteräksillä.

DILLIMAX 1100:n jännitystenpoistohehkutus ei ole sallittu.

Liekilläoikaisu

Levyjen liekilläoikaisu on teräsrakentamiskäytännössä usein monimutkaisten rakenneosien muovaamiseen ja tasaisten poikkipintojen saavuttamiseen käytetty menetelmä. Kaikki DILLIMAX teräkset aina DILLIMAX 965:een saakka voidaan ongelmitta oikaista liekillä. Kuten tavanomaisten teräksien työstämisessä on kuitenkin myös tässä noudatettava tiettyjä reunaehtoja. Tällöin on tehtävä ero lämpöradoilla ta-

pahtuvan liekilläoikaisun ja lämpöpisteiden ja lämpökiilojen avulla tapahtuvan liekilläoikaisun välillä.

DILLIMAX 1100:n liekilläoikaisu ei ole sallittu.

Liekilläoikaisu lämpöratojen avulla:

Käyttökokeissa on todettu, että viivamaaisessa liekilläoikaisussa aina 800 °C:seen saakka ei tapahdu DILLIMAX 690:n lujuusominaisuuksien eikä iskusitkeysominaisuuksien heikkenemistä.

Korkeamman myötörajan omaavien DILLIMAX teräksien lujuusominaisuuksien heikkenemistä on kuitenkin lämpöä runsaasti tuotaessa odotettavissa.

Liekilläoikaisu lämpöpisteiden ja lämpökiilojen avulla:

Verrattuna lämpöradoilla tapahtuvaan liekilläoikaisuun ulottuu kuumentaminen tässä menetelmässä koko levynpoikkipintaan. Tällöin syntyy pidempiä huippulämpötilassa (pitkästi päästölämpötilan yläpuolella) pitoaikoja sekä pidempiä jäähtymisaikoja. Kaikille DILLIMAX teräksille aina DILLIMAX 965:een saakka on suositeltava ettei ylitetä liekilläoikaisulämpötilaa 650 °C.



Sinkitys

Yleensä DILLIMAX teräkset eivät sovellu kuumasinkitykseen, koska peittauksessa tapahtuva aineen vastaanottaminen aiheuttaa haurastumisvaaran. Rakennosien kuumasinkitykseen valmistelun puitteissa suosittelemme ehdottomasti ottamaan yhteyttä vastaavaan sinkityslaitokseen.

Koneistus

DILLIMAX teräksiä voidaan niiden korkeasta lujuudesta huolimatta hyvin työstää lastuamalla. Lujempien DILLIMAX teräksien työstämisessä on tosin noudatettava joitakin perus-

sääntöjä: Tärinöitä tulee välttää. Siksi työstö suositellaan suorittamaan mahdollisimman jäykässä koneessa ja pitämään työkalupaleen ja koneen (pylväs) välinen etäisyys mahdollisimman pienenä. Samoin on suositeltavaa kiinnittää työkalupale lujasti penkkiin.

Aina työstön mukaan tulee varmistaa riittävän hyvä jäähdytys. Keskeytetty tai liian vähäinen jäähdytysväliaineensyöttö voi johtaa terän ylikuumentumiseen, mikä lisää teränreunan kulumista ja johtaa pahimmassa tapauksessa työkalun murtumiseen. Työkaluvalmistajien asiaankuuluvia määräyksiä on noudatettava.

Seuraavissa taulukoissa annetuissa työkalujen valintaa ja DILLIMAX teräksien mekaanista työstämistä koskevissa suosituksissa on kysymys ohjearvoista, jotka aina koneesta riippuen voivat johtaa erilaisiin lopputuloksiin. Niiden pätevyys on työstäjän tarkistettava paikan päällä. Lastuavaa työstöä ja optimaalista työkaluvalintaa koskevien yksityiskohtaisempien tietojen saamiseksi suosittelemme ottamaan yhteyttä työkaluvalmistajiin tai DILLINGER HÜTTE GTS:ään.



Poraaminen: DILLIMAX teräksiä voidaan hyvin porata. Sopivia työkaluja ovat koboltti-seostetut HSS-kierreporanterät, juotetuilla kovametalliterillä varustetut kierreporanterät, VHM-kierreporanterät (mahdollisesti sisäjäähdytyksellä) sekä kääntöterillä varustetut

poranterät. Suositellaan käyttämään lyhyitä poranteriä. Tukevien poranterien yhteydessä tulee syöttö lastuamisen alussa asettaa hieman suuremmaksi, jotta saadaan nopeasti aikaan tukeva kosketus. Tämä edesauttaa vähentämään tärinää. Ennen poranterän materiaalista

poisvetämistä tulee syöttö keskeyttää hetkeksi. Tällä tavalla koneesta ja työkalusta poistetaan jännitykset ja vältetään leikkausreunojen murtumisilta.

Työkalujen valintaa, leikkauksenopeuksia ja syöttöjä koskevat tiedot löytyvät taulukosta 9.

Taulukko 9: Ohjearvot DILLIMAX 690 ... 1100 teräksien poraamiseen

DILLIMAX	Työkalutyyppe (Leikkuuaine)	Leikkauksenopeus V_c [m/min]	Syöttö f [mm/U] halkaisijasta riippuen		
			5 – 15 mm	20 – 30 mm	30 – 40 mm
690	Koboltti-seostetut HSS-kierreporanterät ¹⁾ (TIN, TiCN) ²⁾	10 – 15	0,05 – 0,15	0,15 – 0,25	0,20 – 0,25
	Kääntöterällä varustetut poranterät ¹⁾	80 – 100	–	0,10 – 0,12	0,12
890	Juotetuilla HM-terillä varustetut poranterät tai VHM-kierreporanterät ²⁾	35 – 50	0,05 – 0,15	0,15 – 0,25	0,20 – 0,25
	Koboltti-seostetut HSS-kierreporanterät ¹⁾	8 – 12	0,05 – 0,16	0,20 – 0,25	–
	Kääntöterällä varustetut poranterät ¹⁾	70 – 90	–	0,10 – 0,12	0,12
965	VHM-suurtehoporanterät (TIN) ²⁾	35 – 50 ilman sisäjäähdytystä 40 – 70 sisäjäähdytyksellä	0,10 – 0,20	0,15 – 0,25	–
	Koboltti-seostetut HSS-kierreporanterät ¹⁾	8 – 10	0,05 – 0,16	0,16 – 0,25	–
	Kääntöterällä varustetut poranterät ¹⁾	60 – 80	–	0,10 – 0,12	0,12
1100	VHM-suurtehoporanterät (TIN) ²⁾	35 – 50 ilman sisäjäähdytystä 40 – 70 sisäjäähdytyksellä	0,10 – 0,20	0,18 – 0,25	–
	Koboltti-seostetut HSS-kierreporanterät ¹⁾	6 – 10	0,05 – 0,16	0,18 – 0,25	–
	Kääntöterällä varustetut poranterät ¹⁾	50 – 70	–	0,10	0,10

1) Tulokset saatu yrityksen Ferrotec, Bielefeld valmistamilla työkaluilla

2) Tulokset saatu yrityksen Fette GmbH, Schwarzenbek valmistamilla työkaluilla

Jäähdytys- tai voiteluaine: emulsio



Upotusporaus: Lieriömäiset ja kartiomaiset upotusporaukset voidaan työstää lujempiin DILLIMAX levyihin parhaiten, kun työkalu on varustettu ohjaustapilla. Tällöin vältytään värinöiltä. Kolmiteräisten upotusporausterien käyttö voi myös auttaa vähentämään värinöitä. Leikkausnopeutta ja syöttöä koskevat ohjearvot käyvät ilmi taulukosta 10.

Kierreporaus: Kierteitä voidaan yleisesti työstää koneella. Työkalujen, leikkausnopeuksien ja kierroslukujen valintaa koskevat tiedot löytyvät taulukosta 11.

Sahaus: Lujempien DILLIMAX teräksien sahaamiseen vanne-sahalla suosittelemme poltto-leikkausreunan hiomista sahaus-alueella 1 - 2 mm syvään ja pienimmän poikkipinnan sahaamista. Käytännössä ovat koboltiseostetut sahanterät tai kova-metalliterillä varustetut sahanterät osoittautuneet käyttökelpoisiksi. Hyvään jäähdytykseen on kiinnitettävä huomiota.

Taulukko 10: Ohjearvot DILLIMAX 690 ... 1100 teräksien upotusporaukseen

DILLIMAX	Työkalutyyppi (leikkuuaine)	Leikkausnopeus V_c [m/min]	Syöttö f [mm/U] halkaisijasta riippuen	
			15 – 30 mm	30 – 60 mm
690 890 965 1100	VHM- tai kovametallikääntöterillä varustetut poranterät ¹⁾	30 – 40	0,10 – 0,20	0,15 – 0,25

¹⁾ Tulokset saatu yritysten Fette GmbH, Schwarzenbek ja Ferrotec, Bielefeld valmistamilla työkaluilla

Jäähdytys- tai voiteluaine: emulsio

Taulukko 11: Ohjearvot DILLIMAX 690 ... 1100:in upotusporaukseen

DILLIMAX	Työkalutyyppi (leikkuuaine)	Leikkausnopeus V_c [m/min]	Kierrosluku n [1/min] kierteiden halkaisijasta riippuen				
			M10	M16	M20	M30	M42
690 890 965 1100	Käsi- tai konekierreporanterät HSS-Co ¹⁾ (HSS, TiN, TiCN) ²⁾	3 – 8	60 – 120	50 – 100	40 – 80	30 – 60	20 – 50

¹⁾ Tulokset saatu yrityksen Ferrotec, Bielefeld valmistamilla työkaluilla

²⁾ Tulokset saatu yrityksen Fette GmbH, Schwarzenbek valmistamilla työkaluilla

Jäähdytys- tai voiteluaine: emulsio



Jyrsintä: DILLIMAX teräkset ovat työstettävissä pikaterästyökaluilla (HSS, TiN, TiCN) ja kääntöterillä varustetuilla työkaluilla.

On otettava huomioon, että polttoleikkattujen reunojen kovuus (lämmönvaikutusalue) voi olla huomattavasti suurempi.

Siksi ensimmäisen leikkauksen tulee mennä vähintään 2 mm syvälle eli kyllin kauas karkautun lämmönvaikutusalueen alapuolelle. Kovametallikäntöterät ovat herkkiä tärinälle. Tärinöitä on siis kaikin mahdollisin toimenpitein vähennettävä, esim. siten, että työkappale kiinnitetään vakaasti. Kun

on tarkoitus työstää suuria pinta-aloja, suositellaan levyn työstämistä vuorotellen kummaltakin puolelta, koska tällä menettelytavalla voidaan välttää työkappaleen vääntymiseltä. Leikkausnopeuden ja syötön ohjearvot taso- ja reunajyrsintää varten käyvät ilmi taulukosta 12.

Taulukko 12: Ohjearvot lujempien DILLIMAX teräksien taso- ja reunajyrsintää varten

DILLIMAX	Työkalutyyppe (leikkuaaine)	Leikkausnopeus V_c [m/min]	Syöttö/hammas f_z [mm]
890	Tasojyrsin (FC 220N) ¹⁾ (HC-P20 + TiN)	130 – 190	0,12 – 0,20
965	Tasojyrsin/karkeisyrsin (FC 220N) ¹⁾ (HC-P20 + TiN)	120 – 180	0,10 – 0,18

1) Tulokset saatu yrityksen Fette GmbH, Schwarzenbek valmistamilla työkaluilla

Jäähdytys- tai voiteluaine: ei mitään



DILLIMAXIN RAKENNEOSAOMINAISUUDET

Etusijalla ovat väsymysominaisuudet. Ylemmän lujuusalueen hitsattavia hienoraerakenteitä kuten DILLIMAX 690 ... DILLIMAX 1100 käytetään ensisijassa komponenteissa, joiden paino on alennettava minimiin (esimerkiksi kuljetus- ja nostotekniikan rakenteet). DILLIMAX teräksien korkea lujuus on erityisen edullinen rakenteisiin, jotka pienemmän kestopuun perusteella mitoiteetaan näennäisstaattisesti (esim. liikkuvat nosturit). Käytössä syklisiin kuormituksiin joutuvi- sa rakenneosissa nämä voivat olla ratkaisevia mitoitukselle.

DILLIMAX teräksillä on hyvä lujuus syklisessä kuormituksessa. Mutta paljon perusainetta voimakkaammin ovat hitsisau- mat väsymiselle alttiina, mikä sitten voi johtaa rakenneosan pettämiseen.

Teräksen korkeamman lujuuden hyödyntämiseksi on DILLIMAX teräksien käytössä lisäksi erityisesti kiinnitettävä huomiota hitsauksen laatuun ja sen jälki- käsittelyyn. Ensisijaisen tärkeää on minimoida hitsisau- moista lähtevä lovi vaikutus. Hitsisau- man käyttäytyminen riippuu paljon sauman geometriasta johtuvasta jännityksenkeskitys- kertoimesta.



Kuva 23: Liikkuva nosturi rakennusnosturin asennustyössä
(kuva julkaistu Liebherr-Werk Ebingen GmbH, Ebingen-
-yhtiön luvalla)



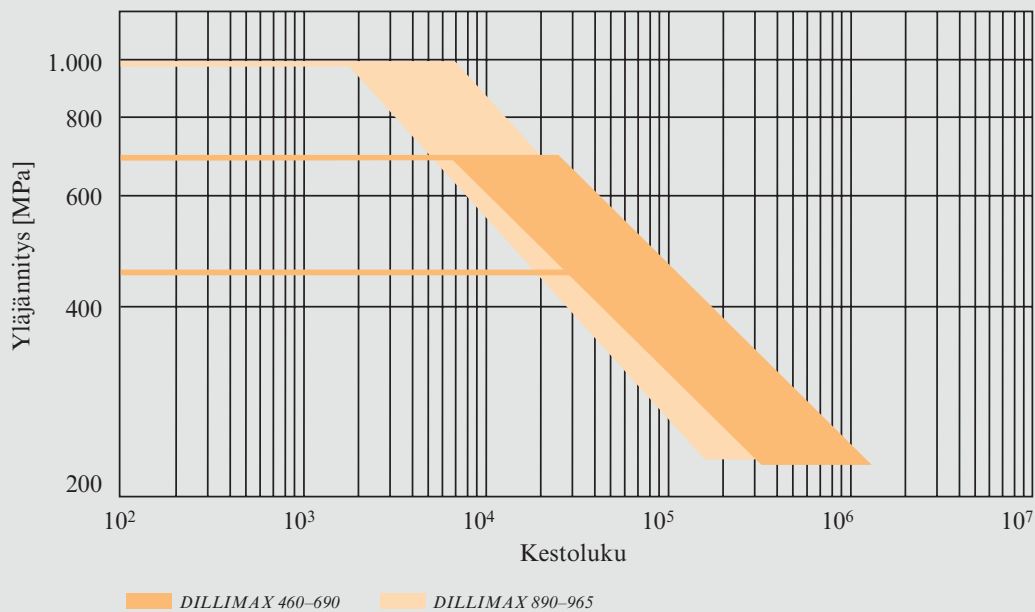
Kuva 24 esittää Wöhler-hajontakäyrät DILLIMAX teräksien V-saumaliitoksille. Kuten kuvasta näkyy, ei väsymislujuus kasva yhtäläisesti myötörajan kanssa. Ääritapauksessa suurilla kestopuvuilla (s. o. alhaisilla jännityksillä) jopa ylimmän lujuusalueen teräkset (DILLIMAX 890-965) ovat herkempiä kuin

teräkset, joiden lujuus on pienempi (DILLIMAX 460-690).

Päittäishitsien WIG-käsittelyllä saavutettavissa olevat käyttöikäparannukset perustuvat uran geometrian parannukseen (pehmeämpi ylimeno levynpinnan ja sauman pintapalon välillä) (kts. kuva 25).

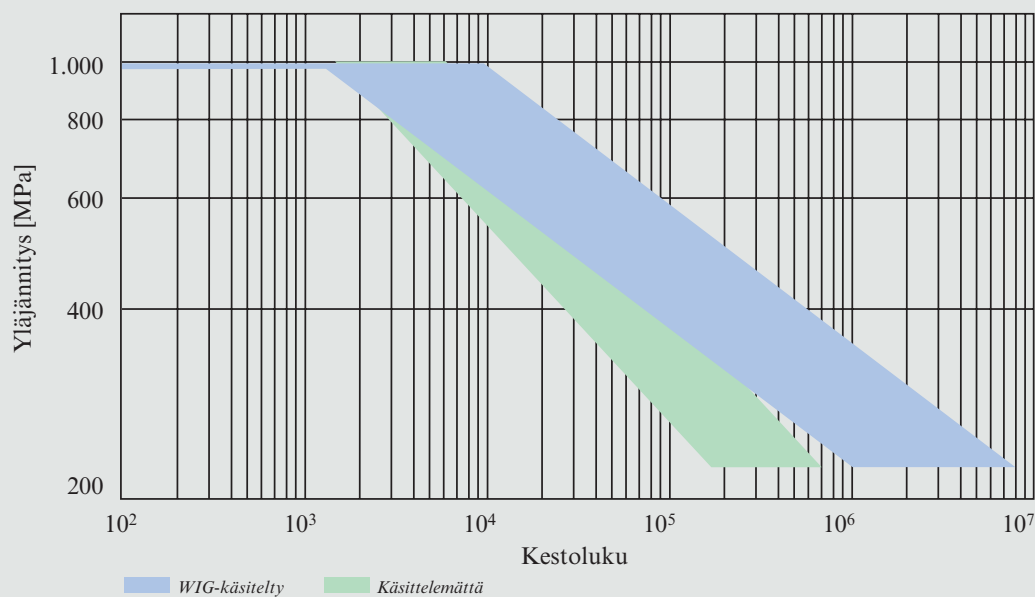
Taulukko 13 esittää, kuinka muilla hitsisaumojen jälkikäsitelyillä rakenneosan käyttöikää voidaan selvästi pidentää. Esitetyt arvot ovat ainoastaan ohjeellisia.

Kuva 24: Wöhler-hajontakäyrät DILLIMAX teräksien hitsausliitoksille (10 ... 90 % murtotodennäköisyys, V-sauma-kokeet, 60°, levynpaksuus 10 mm, R = 0)





Kuva 25: WIG-käsittelyn vaikutus DILLIMAX 890/965 teräksien hitsausliitosten Wöhler-hajontakäyrin (10 ... 90 % murtotodennäköisyys, R = 0)



Taulukko 13: DILLIMAX teräksien perusaineiden ja hitsiliitosten syklinen yläjännitys MPa:na erilaisten jälkikäsittelyjen jälkeen (50 % murtotodennäköisyys, arvot ohjeellisia)

Kestoluku	DILLIMAX 690		DILLIMAX 890		DILLIMAX 965	
	10 ⁵	2•10 ⁶	10 ⁵	2•10 ⁶	10 ⁵	2•10 ⁶
Perusaine	560	350	670	410	530	350
V-sauma käsittelemättä	360	180	370	160	330	160
V-sauma jännitystenpoistohehkutettu	320	200	270	160	—	—
V-sauma WIG-käsitelty	490	290	470	235	450	210
V-sauma WIG-käsitelty ja jännitystenpoistohehkutettu	460	270	420	245	—	—
V-sauma teräspuhallettu	475	340	400	245	—	—
V-sauma teräspuhallettu ja jännitystenpoistohehkutettu	330	195	—	—	—	—
V-sauma WIG-käsitelty ja teräspuhallettu	420	300	—	—	—	—



KIRJALLISUUS

Kappaleeseen „Teräsrakenteet painotarkkailuun“ liittyvä kirjallisuus

Auvigne J.F. : Un exemple industriel d'allègement par l'emploi des HLE: Cas des grues mobiles PPM, Tôles en acier HLE - Choix et mise en œuvre, Journées organisées par le CETIM, l'OTUA et le CNISF, 03/1994, p. 57-63

Nimal F. : Participation des aciers HLE dans l'allègement des pièces mécaniques creuses faites à partir de tôles - Bilan économique, Tôles en acier HLE - Choix et mise en œuvre, Journées organisées par le CETIM, l'OTUA et le CNISF, 03/1994, pp. 65-75

NF EN 10137 : Tôles et larges plats en aciers de construction à haute limite d'élasticité à l'état trempé et revenu ou durci par précipitation, AFNOR, 12/1995

Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-30.1-1: Bauprodukte aus hochfesten schweißgeeigneten Feinkornstählen S460N und NL, S460NH und NHL, S690QL und S690QL1. Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin, 1997

Kappaleeseen „DILLIMAXin työstöominaisuudet“ liittyvä kirjallisuus

C. Bouhelier: Le formage des tôles fortes, CETIM, 1982

Uwer D. et al : Schweißen moderner hochfester Baustähle (soudage des aciers de construction HLE modernes), Stahl u. Eisen 112 (1992) 4, pp. 29-35

DIN EN 1011 (09/2002): Empfehlungen zum Schweißen metallischer Werkstoffe, DIN, Beuth Verlag, Berlin

Thiele W.-R. : Gefüge von hochfesten Feinkornbaustählen nach Flammrichtvorgängen. Linde AG Sonderdruck 114. Linde AG Werksgruppe Technische Gase, Höllriegelskreuth



Osama A.K. : Flammrichten von schweißgeeigneten Vergütungsstählen mit niedrigem Kohlenstoffgehalt, Schweißen und Schneiden 35 (1983) 5, s. 216-219

Nieß M. et al. : Auswirkungen des Flammrichtens auf die mechanischen Güterwerte von hochfesten Feinkornbaustählen. DVS-Berichte Band 112. DVS-Verlag, Düsseldorf, 1988

Beratung Feuerverzinken : Arbeitsblätter "Feuerverzinken" (fiches « galvanisation à chaud »). Institut Feuerverzinken GmbH, Düsseldorf, 1996

Kappaleeseen „DILLIMAXin rakenneosaominaisuudet“ liittyyvä kirjallisuus

Ring M. et al. : Fatigue properties of laser-beam weldments on high-strength steels, Steel Research 65 (1994) 11, s. 505-510

Fischer F. et al. : Risseinleitungs- und Rissausbreitungswiderstand hochfester Baustähle bei statischer Beanspruchung, Stahl und Eisen 114 (1994) 11, s. 125-128

Hübner P. et al. : MAG-Schweißverbindungen des Stahls StE 885 bei statischer, dynamischer und zyklischer Beanspruchung (joints soudés MAG de l'acier StE 885 sous sollicitation statique, dynamique et cyclique), Stahl und Eisen 115 (1995) 7, s. 81-86

Hübner, P. et al. : Schwingfestigkeit der hochfesten schweißbaren Baustähle StE 885 und StE 960. Dissertation. Technische Universität Freiberg, 1996

Franke S. et al. : Einfluss von Strukturparametern auf statische und zyklische Bruchzähigkeitskennwerte. Bericht EUR 16782 DE. Technische Forschung Stahl, 1994.



HAKUSANALUETTELO

Analyysi, kemiallinen	6
Hiliekvivalentti	6
Hitsattavuus	22
Hitsauslisäaineet	22
Jauhekaarihitsaus	22
Jyrsintä	40
Jäähymisaika	24
Jännitystenpoistoehkutus	17, 36
Kaaripuikkohitsaus	22, 33
Kierteitys	39
Koostumus, kemiallinen	6
Kuumalujuus	11
Kuumamuovaus	17
Kylmämuovaus	13
Kylmärepeämälittius	24, 31
Laserleikkaus	21
Liekilläoikaisu	36
Lovi-iskutyö	9, 16
Lämmön vaikutusalue (muutosvyöhyke)	18, 21
Matriisinleveys	13
Murtovenymä	8
Myötöraja	8
Ominaisjännitykset	31, 40
Paksuussuunta, ominaisuudet	11
Plasmasulatusleikkaus	21
Polttoleikkaus, kaasuleikkaus	18
Poraus	38
Päästö	7, 17
Sahaus	39
Sinkitys	37
Suojakaasuhitsaus	22, 33
Taivutussäde	13
Upotusporaus	39
Uudelleennuorutus	17
Vanheneminen	15
Vesinuorutus	7
Vetolujuus	8
Virumislujuus	12
Vähimmäisesilämmityslämpötila	19, 33
Väsytysominaisuudet	41



MYYNTIORGANISAATIOT

Saksa

Vertriebsgesellschaft
Dillinger Hütte GTS
Postfach 104927
D-70043 Stuttgart
Puh: +49 711 61 46-300
Fax: +49 711 61 46-221

Ranska

DILLING-GTS Ventes France
Immeuble Pacific
TSA 10001
F-92070 La Défense CEDEX
Puh: +33 1 41 25 87 28
Fax: +49 6831 7 68 71 49

Muut maat

Muiden maiden yhteyshenkilöt
ilmoittaa Dillingenin
koordinointitoimistomme:
Puh: +49 6831 47 23 85
Fax: +49 6831 7 68 71 70

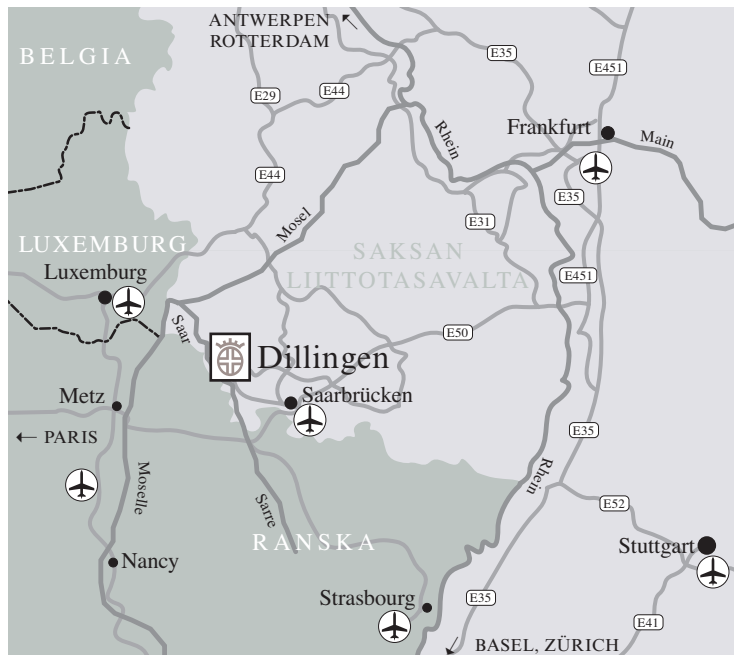


AG der Dillinger Hüttenwerke

Postfach 1580
D-66748 Dillingen/Saar
Puh: +49 6831 47 21 46
Fax: +49 6831 7 68 71 12

e-mail: info@dillinger.biz
<http://www.dillinger.de>

Yleinen huomautus (vastuu):
Tiedot aineiden tai tuotteiden
laadusta tai käytettävyydestä
ovat yksinomaan kuvauksia.
Lupaukset, jotka koskevat
ominaisuuksia tai sopivuutta
johonkin tiettyyn käyttötarkoi-
tukseen, edellyttävät aina
erillistä kirjallista sopimusta.



Näin löydät meille