



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

RIKU PURRA

NDT tarkastus

Pintatarkastukset konepajassa

KONETEKNIIKAN TUTKINTO-OHJELMA
2021

Tekijä Purra, Riku	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Joulukuu 2021
	Sivumäärä 42	Julkaisun kieli Suomi
Julkaisun nimi NDT tarkastus, pintatarkastukset konepajassa.		
Tutkinto-ohjelma Konetekniikan tutkinto-ohjelma		
Tiivistelmä Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia ja päivittää Lehtosen Konepaja Oy:llä tehtäviä NDT pintatarkastuksia ja miten niitä voi kehittää. Työssä perehdyttiin kolmeen NDT-tekniikkaan. (VT, PT ja MT tarkastus) Työssä käytettiin aineistona standardeja, yrityksen NDT-tarkastajaa, NDT-tarkastus materiaalia. Lisäksi kirjoittajan vuosien työkokemusta.		
Avainsanat NDT, hitsaus, tarkastus, standardi		

Author Purra, Riku	Type of Publication Bachelor's thesis	Date December 2021
	Number of pages 42	Language of publication: Finish
Title of publication NDT Inspection, surface inspection's in workshop		
Degree program Bachelors degree programme in Mechanical Engineering		
<p>Abstract</p> <p>The purpose of the thesis was to study and update the NDT surface inspections performed at Lehtosen Konepaja Oy and how they can be developed. The work introduced three NDT techniques. (VT, PT and MT inspection)</p> <p>The material used in the work was standards, the company's NDT inspector, NDT inspection material. In addition, the author's years of work experience.</p>		
<p>Keywords</p> <p>NDT, welding, inspection, standard</p>		

SISÄLLYS

1 ENSIMMÄINEN LUKU/ JOHDANTO.....	6
2 NDT	9
3 KÄYTETYT NDT-MENETELMÄT	10
3.1 VT Visuaalinen tarkastus	10
3.1.1 VT tarkastuksen kuvaus.....	10
3.1.2 VT hyväksymisrajat.....	14
3.2 PT Tunkeumanestetarkastus.....	15
3.2.1 PT tarkastuksen kuvaus	17
3.2.2 PT hyväksymisrajat	21
3.3 MT Magneettijauhetarkastus.....	23
3.3.1 Magnetointi sähkövirran avulla	27
3.3.2 MT tarkastuksen kuvaus	29
3.3.3 MT Hyväksymisrajat	31
4 MENETELMIEN VALINTAPERUSTEET	34
5 TARKASTUSLAAJUDET	36
6 VIKATYYPIT	38
7 KORJAAVAT TOIMENPITEET	40
8 HENKILÖSTÖ	41
9 TULOKSET	42
LÄHTEET	

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

NDT	(engl. Nondestructive testing) rikkomaton aineenkoetus
VT	(engl. Visual testing) silmämääräinen tarkastus
PT	(engl. Penetrant testing) tunkeumanestetarkastus
MT	(engl. Magnetic particle testing) magneettijauhetarkastus
AEL	Ammattienedistämislaitos

1 ENSIMMÄINEN LUKU/ JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tarkastella Lehtosen Konepajalla suoritettavia NDT pintatarkastusmenetelmiä ja kuinka paljon korjauksia aiheuttavia virheitä löytyy. Konepajalla tehtäviä pintatarkastusmenetelmiä ovat VT silmämääräinen tarkastus, PT tunkeumanestetarkastus sekä MT magneettijauhetarkastus. Tarkastusmenetelmillä löydetään pintaan aukeavat viat sekä muotovirheet.

NDT-tarkastustoimintaa ohjaa yrityksen omat tarkastusohjeet sekä aihekohtaiset standardit. Omat tarkastusohjeet on valmistettu konepajan oman päätoimisen NDT-tarkastajan toimesta alkuvuodesta 2021 ja ne ovat hyväksytetty kolmannen osapuolen tason 3 tarkastajan toimesta kesällä 2021. Standardit ovat kirjallisia julkaisuja, joissa on määritetty esimerkiksi palveluiden ja tuotteiden vaatimuksia ja ominaisuuksia tai järjestelmien toimintaa.

LEHTOSEN KONEPAJA OY

Lehtosen Konepaja Oy toimii alihankkijana useille merkittävillä kansainvälisillä markkinoilla toimiville suomalaisille metalliteollisuuden vientiyrityksille, joko osien tai kokonaisuuksien toimittajana. Yrityksen erityisosaamista ovat kokonaisalihankinta, runkojen valmistus ja vaativien koneistettavien osien valmistus. Konepaja toimii Kokemäen Peipohjassa 120 ammattitaitoisen henkilön ja nykyaikaisen konekannan voimin, saavuttaen n. 18 miljoonan euron liikevaihdon. Toiminta pohjautuu ISO-9001 laatujärjestelmään. Hitsauksessa noudatetaan standardin EN-3834-2 mukaista laatu- ja järjestelmää. Nykyaikainen konekanta ja jatkuva laadunparannustyö takaavat tuotteiden laadun.



LEKO Group, Lehtosen Konepaja. (LEKO Group [www-sivut](http://www-leko.fi))

Yritys on osa LEKO Group konsernia johon kuuluvat Lehtosen Konepaja Oy, Leko Fans Oy, TK-Vilmet Oy ja Siirtoruuvi Oy. Lehtosen Konepaja Oy on alihankintakonepaja joka keskittynyt raskaaseen levy- ja hitsaustyöhön sekä koneistamiseen, jonka juuret ulottuvat 1920-luvulle. Nykyään Lehtosen Konepaja Oy on osa LEKO Group konsernia johon kuuluvat Lehtosen Konepaja Oy:n lisäksi LEKO Fans Oy, TK Vilmet Oy ja Siirtoruuvi Oy.

Leko Fans Oy on kokonaisvaltainen teollisuuden puhallinpalvelujen valmistaja ja toimittaja. Tarjontaan kuuluu keskipakoispuhaltimien lisäksi kattavat puhaltimien varaosapalvelut asennuksineen.

TK-Vilmet Oy on Mänttä-Vilppulassa toimiva alihankintakonepaja joka valmistaa kone- ja laiterakenteita sekä komponentteja asiakkaiden tarpeiden mukaan asennusvalmiiksi tuotteiksi ja kokonaisuuksiksi. Palveluihin kuuluvat myös vaativat valukoneistukset.



LEKO Group, TK-Vilmet. (LEKO Group [www-sivut](#))

Siirtoruuvi Oy on erikoistunut ruuvikuljettimien, kuljetinruuvien ja ruuvipumppujen suunnitteluun ja valmistukseen.



LEKO Group, Siirtoruuvi Oy. (LEKO Group [www-sivut](#))

2 NDT

NDT (eng. Nondestructive testing, NDT) eli rikkomaton aineenkoetus on joukko tarkastusmenetelmiä, joita käytetään mm. metallirakenteiden, valujen ja hitsien tarkastamiseen ilman että valmista lopputuotetta rikotaan. NDT-menetelmillä voidaan löytää hitsisaumoista ja materiaaleista halkeamia, säröjä, sulkeumia ja muita poikkeamia. Yleisimpiä NDT-menetelmiä ovat silmämääräinen tarkastus, tunkeumanestetarkastus, magneettijauhetarkastus, ultraäänitarkastus sekä teollisuusradiografia. Rikkomaton aineenkoetus on standardoitua toimintaa ja NDT:tä suorittaville henkilöille ja laitoksille on oma pätevänti- ja sertifiointijärjestelmänsä.

Yleisimmin konepajoissa käytetyistä menetelmistä puhutaan kirjainlyhenteillä:

VT= visuaalinen eli silmämääräinen tarkastus

PT= tunkeumanestetarkastus

MT= magneettijauhetarkastus

UT= ultraäänitarkastus

RT= radiografinen tarkastus (yleisimmin röntgenkuvaus)

Tarkastusmenetelmät jaotellaan useimmiten kahteen eri luokkaan: pinta- ja volymetrisiin tarkastusmenetelmiin. Pintatarkastusta on silmämääräinen tarkastus, magneettijauhetarkastus ja tunkeumanestetarkastus ja volymetrisiä taas ultraäänitarkastus ja sekä radiografinen tarkastus.

Pintamenetelmillä voidaan todeta vain kappaleen pintaan asti aukeavat viat, eli säröt, halkeamat, avo- ja sulkeumat ja imuontelot.

Volymetrisillä voidaan varmistua pinnan alaisesta eheydestä jolloin voidaan todeta hitsin sekä perusaineen sisäinen huokoisuus, kuonakulkeumat, liitosviat, epätäydellinen hitsin tunkeuma ja halkeamat jotka eivät aukena pintaan asti. Useimmiten pinta- ja volymetrisiä menetelmiä käytetään toisiaan täydentävinä testausmenetelminä.

3 KÄYTETTY NDT-MENETELMÄT

3.1 VT Visuaalinen tarkastus

Yksi tärkein ja eniten käytetty ainetta rikkomaton NDT tarkastus menetelmä on silmämääräinen tarkastus (visual testing VT). Silmämääräisen tarkastusprosessin lähtökohdiana on tarkistaa ihmisen silmällä onko materiaalissa tai hitsissä virheitä erilaisia apuvälineitä käyttäen. Silmämääräinen tarkastus itsessään on erittäin tehokas laadunvalvontaväline ja taloudellisin tarkastusmenetelmä joka on syytä tehdä aina ennen toista NDT menetelmää. Tarkastusta pitääkin suorittaa koulutettu ja kokenut tarkastaja. Visuaalinen tarkastus on myös erittäin tärkeä menetelmä esivalmisteluiden edetessä, termisen leikkauksen toleranssit, terästyön laatuvaatimus, hiontasyvyyden rajat ja hitsatun rakenteen toleranssit ja silmämääräistä tarkastusta käytetäänkin mm. seuraaviin tarkoituksiin:

- Railon ja sen sovituksen tarkastus. (railokulma, railopintojen laatu, ilmarako, suunnaispoikkeamat, silloitus)
- Hitsin muoto ja ulkonäkö (hitsikuvun korkeus ja leveys sekä vajoitus, liittyminen perusaineeseen, pinnan laatu, roiskeet, sytytysjäljet)
- Pintavirheiden toteaminen (halkeamat, liitosvirhe, juurivirhe, reunahaava, roiskeet)

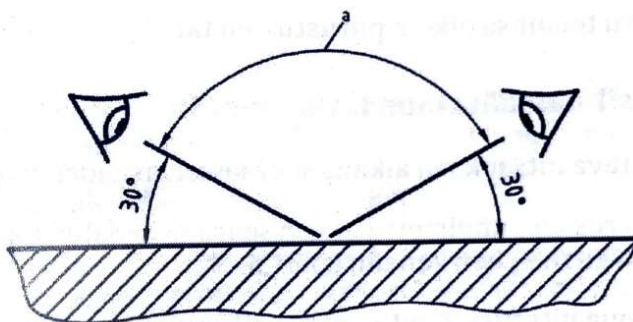
Jokainen ammattitaitoinen hitsaaja suorittaa hitsauksen jälkeisen silmämääräisen tarkastuksen ja luokittelee työnsä tuloksen hyväksyttävään ja hylättyyn laatuun.

3.1.1 VT tarkastuksen kuvaus

Hitsien tarkastuksen suorittamiseen liittyy paljon tekijöitä, jotka riippuvat paljon tarkastettavasta tuotteesta. Tarkastuksen luotettavuus on myös monen tekijän summa ja sulahitsausliitoksen silmämääräiselle tarkastukselle annetaan suosituksia standardissa SFS-EN 17637:2016

Valaistuksevoimakkuuden on oltava pinnalla vähintään 350 lx; käytettäessä värjättyjä suojalaseja (esim. suojaavia aurinkolaseja) valaistusvoimakkuuden on oltava suurempi. Suositeltava valaistusvoimakkuus on 500 lx.

Suorassa tarkastuksessa luoksepäästävyuden on oltava riittävä, jotta tarkastusetaisyys on korkeintaan 600mm tarkastettavasta pinnasta ja, ettei kulma ole pienempi kuin 30°



^a Alue

Kuva 1. Luoksepäästävyys tarkastusta varten (SFS-EN ISO 17637:2016)

Lisävalonlähdettä voidaan käyttää hitsausvirheiden ja taustan välisen kontrastin ja korkeuvailmiön parantamiseksi. Mikäli tarkastuksen tulokset ovat epämääräisiä, olisi silmämääräistä tarkastusta täydennettävä muilla rikkomattomilla pintatarkastus menetelmillä.(SFS-EN ISO 17637:2016)

Tarkastajalla on oltava riittävä tieto tarkastettavasta kohteesta. On mahdoton saada luotettavaa tarkastusta ellei tarvittavaa tietoa ole saatavana esim. piirustusta. Tiedoista on tultava julki hitsimerkinnät (WPS tai piirustusmerkki). Tarkastajan on vaikea tietää ilman informaatiota onko hitsin oltava kahdelta puolelta hitsattu, pitääkö kupu hioa, vaaditaanko jouhea liittymisen. Saako olla kiinteä juurituki ja mikä on esim. suunnittelijan määräämä a-mitta.

Tarkastettavien pintojen on oltava puhteita rasvasta, liasta ja kuonasta ja tarkastus on tehtävä ennen maalausta tai muuta jälkikäsittelyä.

Tarkastuksen vaiheistus: milloin ja mitä tarkastetaan

- Ennen hitsausta: Railo tarkastetaan niin että se vastaa WPS:n tai muun ohjeen vaatimuksia. Railosta tarkastettava railokulma, railon mitat, ilmarako ja

sovitus. Railojen oltava puhtaat ja kuivat ennen hitsausta. Mahdollinen esikuumentuslämpötila mitattava ohjeen mukaisesti. ($4 \cdot t$, max 50mm etäisyydeltä)

- Hitsauksen aikana: Palkojen sijoittelu ja palkojen puhdistus ennen seuraavaa palkoa jos se on tarpeen. Havaitut hitsausvirheet korjataan ennen seuraavaa palkoa. Palkojen välisen lämpötilan valvonta.
- Hitsauksen jälkeen: Valmis hitsi tarkastetaan sovitun hyväksymisrajastandardin mukaan. Huomioitava mahdolliset halkeamat myös tilapäisten kiinnitysten poistossa tai ylikuumenemisen hionnassa jos materiaali ei sitä salli. Huomioitava myös jos hitsataan juuripalko se arvostellaan hitsiluokkastandardissa pintapalon mukaisesti. Tarkastuksessa on huomioitava myös maalaus ja muut jälkikäsittelyvaatimukset sekä korroosiotekijät ruostumattoman teräksen hitsauksissa (pintojen hapettumat). Tarkastusajankohta voi olla määrätty esim. lämpökäsittelyn jälkeen tai sekä ennen että jälkeen lämpökäsittelyn.

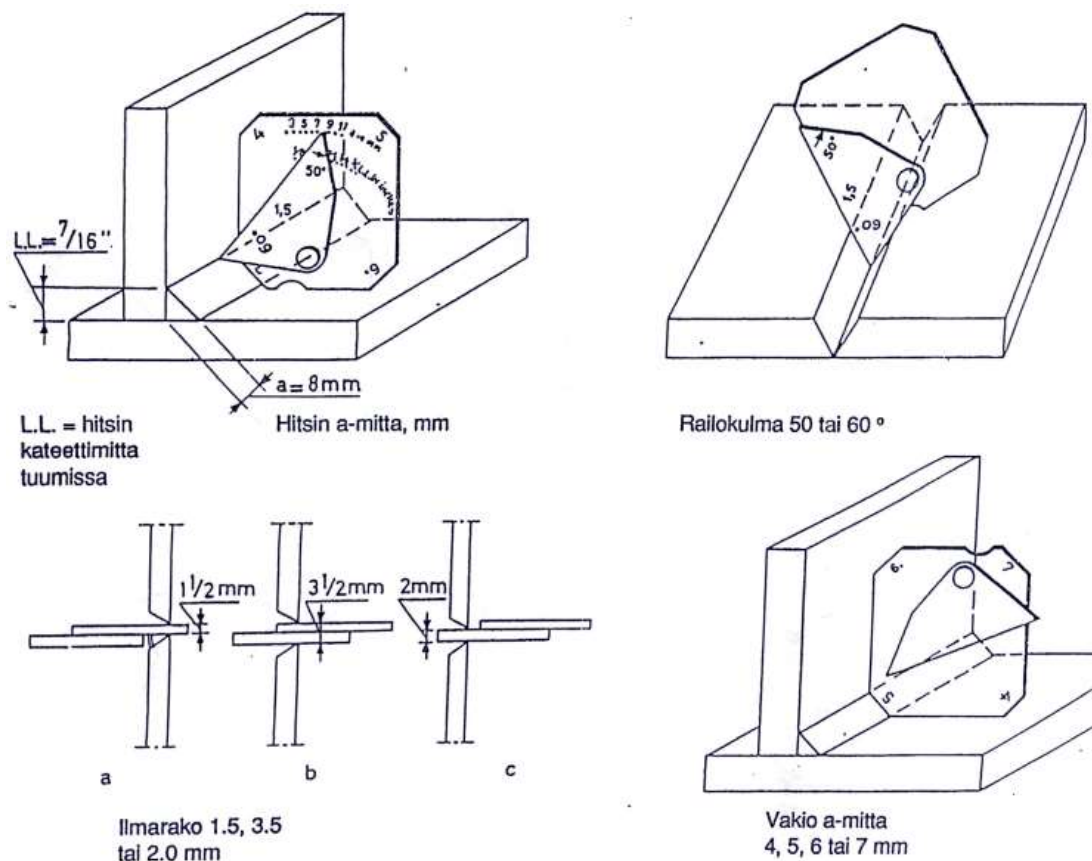
Silmämääräisessä tarkastuksessa käytetään tarkastusvälineitä hitsin muodon ja mittojen määrittämiseksi sekä hitsausvirheiden arvostelemiseksi. Tarkastusvälineet voidaan jakaa käyttötarkoituksen mukaan mittauslaitteisiin ja tarkastuksen apuvälineisiin.

Mittauslaiteet:

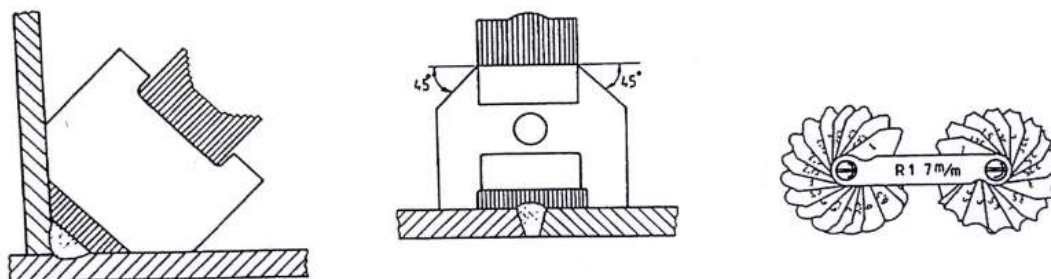
- Viivoitin tai mittanauha
- Työntömitta
- Rakomitta, 0,1-3mm, 0,1 mm:n portailla
- Sädetulkki
- Hitsimittoja, asteikon tarkkuus 1 mm tai pienempi
- Suurennuslasi, suurennus 2-2,5 kertainen
- Profiilin mittauslaite, langan halkaisija 1 mm, pyöreä pää

(AEL opintomateriaali, Eero Toivanen)

Kuvissa 2 ja 3 esitetty erilaisia mittalaitteita ja niiden käyttöä.



Kuva 2. A-mitta (AEL opintomateriaali, Eero Toivanen)



Kuva 3. Profiilikampa ja sädetulkki (AEL opintomateriaali, Eero Toivanen)

Hitsit joiden luoksepääsy on rajoitettu, silmämääräiseen tarkastamiseen voidaan käyttää erilaisia apuvälineitä. Näitä käytettäessä on kuitenkin huomattava se, että hitsistä ja sen virheistä ei saada kolmiulotteista kuvaa, kuin suoraan sitä tarkasteltaessa.

Apuvälineet:

- Peili
- Endoskooppi
- Erilaiset kuituoptiset laitteet
- TV-kamerat

Kuvissa 4 ja 5 apuvälineitä.



Kuva 4 ja 5. Endoskooppi ja peilejä (Motonet WWW-sivut)

3.1.2 VT hyväksymisrajat

Visuaalisen tarkastuksen hyväksymisrajat määräytyvät standardissa SFS-EN ISO 5817. Hitsausvirheet ryhmitellään kyseisessä standardissa kolmeen hitsiluokkaan B, C ja D. Hitsiluokat määräytyvät suunnittelijan toimesta, valitaan valmistajan, käyttäjän tai muun osapuolen kanssa tai käytetään sovellusstandardia. (SFS-EN ISO 5817 2014)

3.2 PT Tunkeumanestetarkastus

Tunkeumanestetarkastus on rikkomaton tarkastusmenetelmä, jolla voidaan havaita pintaan avautuvia epäjatkuvuuskohtia kiinteässä ja käytännöllisesti katsottuna ei-huokoisessa materiaalissa. Epäjatkuvuuskohdat voidaan havaita riippumatta tarkastettavan kohteen muodosta, koosta, rakenteesta tai epäjatkuvuuskohtien suuntautumisesta. Löydettyjen vikojen muoto ei rajoita tarkastusta ja tunkeumanestetarkastus sopiikin mm. pintasäröjen, huokosten, laminaation, läppien ja vastaavien materiaalivikojen etsimiseen. (NDT-tekniikka. Tunkeumanestetarkastus 1 ja 2, AEL opintomateriaali. Juha Toivanen (päivitetty 17.10.2016, Henri Dolk))

Tunkeumanestetarkastus perustuu ennen varsinaista tunkeumanestetarkastusta käytettyyn öljy-liitumenetelmään. Menetelmää käytettiin varsinkin rautatiekaluston tarkastuksissa vuosisadan vaihteessa. Öljy-liitu-menetelmässä tarkastettava kohde kasteltiin likaisella paloöljyllä muutamaksi minuutiksi ja pestiin pois huolellisesti. Pinta värjätettiin tämän jälkeen alkoholi-liitu-suspensiolla. Tällöin vikakohdista liituu imeytynyt öljy värjäsi liidun vikojen kohdalta.

Tunkeumanestetarkastuksen luotettavuus riippuu oleellisesti oikeasta suoritustavasta. Tärkeää on myös oikean, kohteeseen parhaiten sopivan tarkastustekniikan valinta. Lopputulos voidaan pilata jokaisessa työvaiheessa, jos työtä ei tehdä riittävällä huolellisuudella. Tavallisimpia syitä tarkastuksen epäonnistumiseen ovat mm:

- Tarkastettavat pinnat eivät ole riittävän puhtaat.
- Tunkeutumisaika on liian pitkä tai se ei ole riittävä.
- Ylimääräisen tunkeumanesteen puhdistuksessa ei olla riittävän huolellisia.
- Liiallisesta pesusta / pesupaineesta johtuen pestään tunkeumaneste pois myös epäjatkuvuuskohdista.
- Kehitteen sekoitus ei ole riittävä tai kehitettä levitetään liian paksu kerros.
- Kehitteen vaikutusaika on riittämätön.
- Käytetään sekaisin eri tuotemerkkien aineita.
- Tarkastus suoritetaan magneettijauhetarkastuksen jälkeen jolloin magneettijauhe on saattanut tukkia pienet epäjatkuvuuskohdat.

- Tarkastuksen ajankohta on väärä. Hionnan, hiekkapuhalluksen jne. takia saat-
taa pienet epäjatkuvuuskohdat umpeutua. (NDT-tekniikka. Tunkeumanestetar-
kastus 1 ja 2, AEL opintomateriaali. Juha Toivanen (päivitetty 17.10.2016,
Henri Dolk))

Tunkeumanestetarkastusaineet jaetaan tunkeumanesteisiin, puhdistusaineisiin, emul-
gaattoreihin ja kehitteisiin.

Tunkeumanestetarkastus menetelmä jaetaan tekniikoihin ylimääräisen nesteen poisto-
tavan, ilmaisutavan, kehitetyypin, emulgaattorin tai kemiallisen pohjan mukaan.

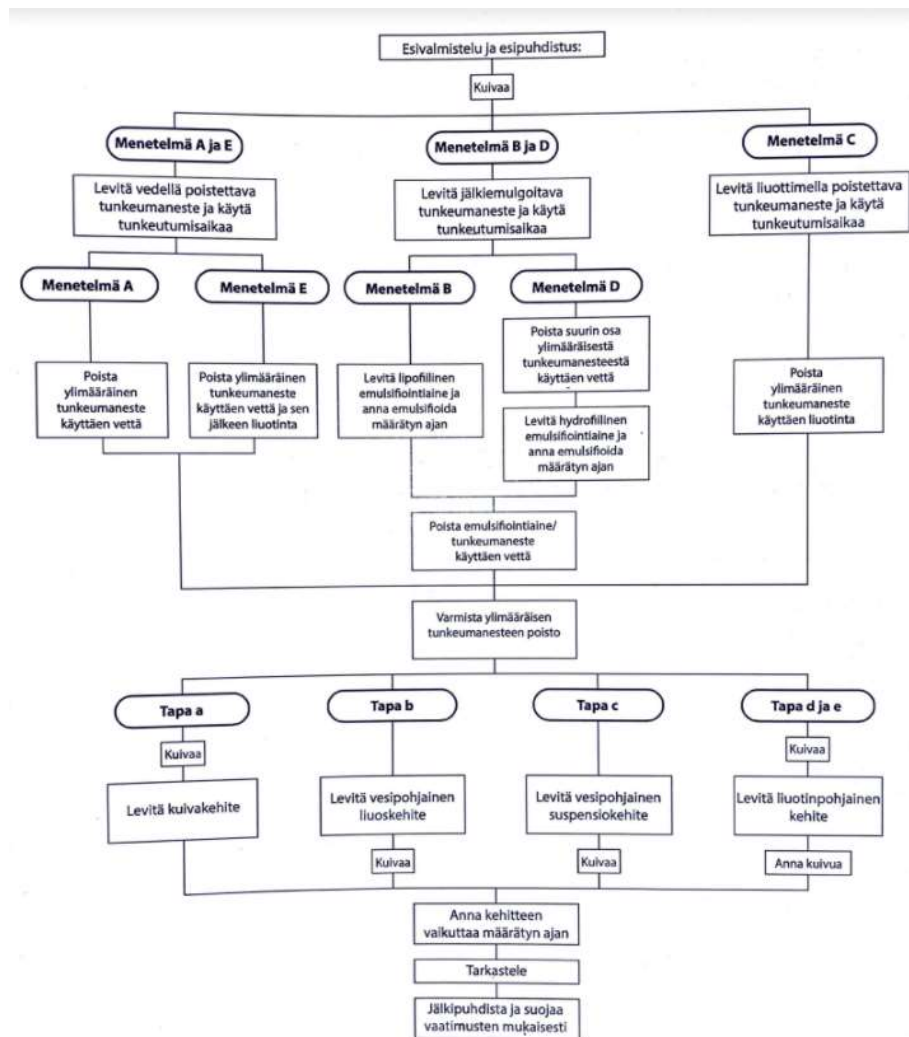
Tunkeumanestetarkastuksessa on neljä varsinaista työvaihetta. Lisäksi valitun tekni-
kan tai nesteiden ominaisuuksista riippuen saatetaan tarvita joitakin aputyövaihteita.
Seuraavassa kuvissa on esitetty tunkeumanestevaihtoehdot, kuva 6 ja mahdolliset vaiheet
erityyppisten tunkeumanesteiden tapauksissa poistotavan (vedellä pestävä, jälkiemul-
goitava ja liuottimella pestävä) mukaan kuva 7. (NDT-tekniikka. Tunkeumanestetar-
kastus 1 ja 2, AEL opintomateriaali. Juha Toivanen (päivitetty 17.10.2016, Henri
Dolk))

Tunkeumaneste		Poistoaine		Kehite	
Tyyppi	Nimitys	Menetelmä	Nimitys	Kehitystapa	Nimitys
I	Fluoresoiva tunkeumaneste	A	Vedellä poistettava	a	Kuiva jauhe
II	Värillinen tunkeumaneste	B	Jälkiemulgoitava, lipofiilinen	b	Vesipohjainen liuos
III	Kaksoistoiminen tunkeumaneste (fluoresoiva värillinen tunkeumaneste)	C	Liuottimella poistettava ^{a)} : — Luokka 1, halogenisoitu — Luokka 2, ei-halogenisoitu — Luokka 3, erikoissovellutus	c	Vesipohjainen suspensio
				d	Liutinpohjainen (ei-vesipohjainen tyyppille I)
				e	Liutinpohjainen (ei-vesipohjainen tyypeille II ja III)
		E	Vedellä ja liuottimella poistettava	f	Erytisovellutus

Erityistapauksissa on tarpeen käyttää tunkeumanestetarkastusaineita, jotka edellyttävät erityisvaatimusten käyttöä koskien leimahtavuutta, rikki-, halogeeni- ja natriumpitoisuuksia ja muita epäpuhtauksia, ks. standardi ISO 3452-2.

^{a)} Menetelmän C luokka ei ole osa tunnusmerkintää.

Kuva 6. Tunkeumanestevaihtoehdot (SFS-EN ISO 3452-1)



Kuva 7. Tunkeumanestetarkastuksen päävaiheet (SFS-EN ISO 3452-1)

3.2.1 PT tarkastuksen kuvaus

Tunkeumanestetarkastuksen värillinen menetelmä:

1. Tarkastettavan pinnan puhdistus. Pinta on puhdistettava huolellisesti ennen tunkeumanesteen levitystä. Kaikki lika, ruoste, maali, valssihilse, öljy jne. saatavat estää tunkeumanesteen imeytymisen pieniin epäjatkuvuuskohtiin.

Mekaanisia puhdistusmenetelmiä ovat esimerkiksi teräsjauhe-, hiekka- ja lasikuulapuhallus sekä teräsharjaus. Mekaanista puhdistusta on aina suoritettava äärimmäisen varovaisesti, koska voimakas pinnan muokkaaminen aiheuttaa kappaleen pinnalle puristusjännityksen, mikä saattaa aiheuttaa pienten epäjatkuvuuskohtien yhteenpuristumisen. Erityyppiset hienojakoiset puhallusjauheet saattavat myös täyttää epäjatkuvuuskohtia.

Liutinpuhdistus tehdään tavallisesti siten, että liutin levitetään kankaalla kappaleen pinnalle. Orgaaninen liutin poistaa tehokkaasti rasvan ja öljyn. Haittana on alhainen leimahduspiste ja terveydelle haitalliset höyryt.

Peittaus puhdistaa pinnan tehokkaasti hapoista ja oksidikerroksesta. Peittausaine voi olla hapan tai emäksinen. Yleensä peittausliuokset ovat melko laimeita ja käsittelyn jälkeen kappaleen pinta on pestävä vedellä ja kuivattava.

2. Tunkeumanesteen käyttö. Tunkeumaneste levitetään pinnalle, joka on puhdas kaikenlaisesta liasta, rasvasta jne. Myös puhdistuksessa käytetyt aineet tulee puhdistaa tarkasti kappaleen pinnalta. Pinta ei saa olla märkä, joten mahdollisuuksien mukaan kappale tulee kuivata lämpimällä ilmalla tai uunissa. Kun tunkeumanestettä aletaan levittää, kappaleen pinta ei saa olla kuumempi tai kylmempi kuin kyseisen tunkeumanesteen käyttölämpötila.

Yleisimmät tunkeumanesteen levitystavat ovat sively, ruiskutus ja upotus altaaseen. Levitystavan valintaan vaikuttaa kappaleen koko, muoto, materiaali ja automaatioaste.

Tarkastettaessa pieniä kohteita tai osia suurista kohteista voidaan tunkeumaneste levittää suoraan ruiskuttamalla aerosolipurkista. Sarjatuotannossa voidaan käyttää myös irtonestettä ja erillisiä ruiskuja ja sumuttimia.

Kappaleen upotus altaaseen soveltuu parhaiten sarjatuotantoon. Yleensä pienet kappaleet ladotaan koreihin, joissa ne upotetaan altaaseen. Upotuksen jälkeen kori nostetaan altaan yläpuolelle ja ylimääräinen neste saa valua takaisin altaaseen. Menetelmällä säästetään tunkeumanestettä.

Sivelemällä voidaan myös säästää tunkeumanestettä verrattuna ruiskutukseen. Menetelmää käytetäänkin usein suuriin tarkastuskohteisiin, joihin kuluu paljon tunkeumanestettä.

3. Tunkeutumisaika. Tunkeutumisaika ei ole vakio, vaan riippuu tarkastettavan kohteen materiaalista, etsittävistä vioista, kappaleen lämpötilasta ja käytetystä tunkeumanesteestä. Näiden muuttujien mukaisesti kokemukseen perustuen valitaan oikea tunkeutumisaika.

Pienet ja kapeat säröt vaativat pitemmän tunkeutumisajan kuin lämpökäsittelyhalkeamat. Lämpötilan vaihtelu ja käytetty tunkeumaneste vaikuttavat tunkeuma-aikaan dramaattisesti, vaikutusaika voi olla sekunneista jopa tuntiin. Jos tunkeuma-aika ylittää puoli tuntia, tulee kappaleen pinnalle levittää uutta nestettä tunkeutumisajana, koska kantonesteen haihtumisen myötä

tunkeutumiskyky heikkenee. Vaarana on myös, että osa tunkeumanesteestä kuivuu epäjatkuvuuskohtaan.

4. Ylimääräisen tunkeumanesteen poisto. Riittävän tunkeutumisajan jälkeen kappaleen pinnalta poistetaan ylimääräinen neste mahdollisimman tarkkaan. Tavallisesti poisto aloitetaan pyyhkimällä kuivalla kankaalla ylimääräinen neste pois. Tavoitteena on poistaa kaikki neste muualta kuin epäjatkuvuuskohdista. Tunkeumanesteen poistossa noudatetaan valmistajan antamia ohjeita.

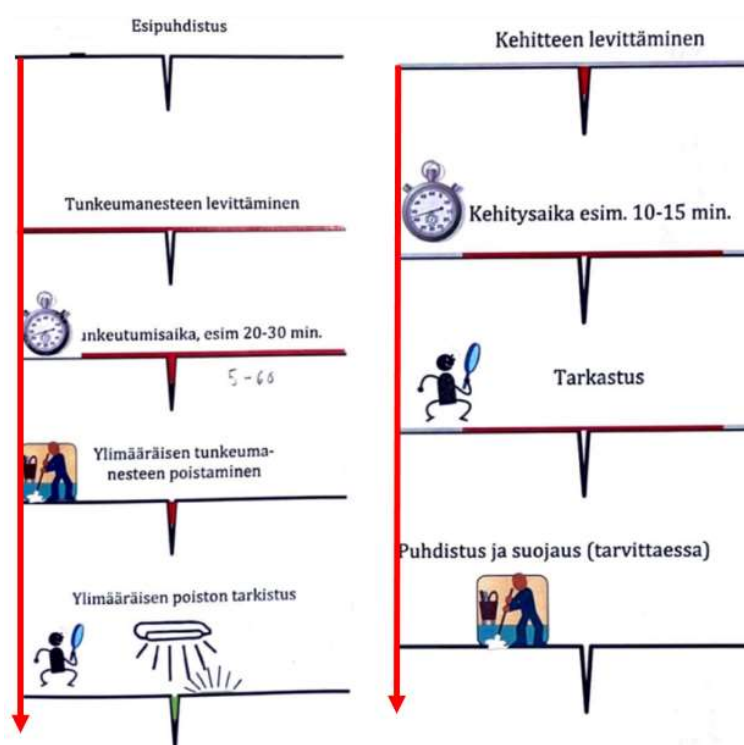
Vedellä poistettavat tunkeumanesteet puhdistetaan tavallisimmin juoksevassa vedessä käyttäen sopivaa suutinta. Paras tulos saavutetaan, kun suuttimesta purkautuva vesi on karkeapisaraista ja paineeltaan noin 200...300 kPa. Jos käytetään suurempaa painetta, tunkeumaneste saattaa peseytyä pois myös epäjatkuvuuskohdista. Pesua voidaan tehostaa käyttämällä lämmintä vettä. Veden lämpötila ei saa kuitenkaan tavallisilla tunkeumanesteillä ylittää 40...45°C. Pestäessä tulee vettä käyttää säästelemättä.

Liuottimilla poistettavat tunkeumanesteet pyyhitään tavallisesti pois kappaleen pinnalta liuottimeen kastetulla kankaalla. Liuotinta voidaan myös sumuttaa tai ruiskuttaa kappaleen pinnalle. On kuitenkin huomioitava, että liuotin ei saa kastaa pintaa märäksi, vaan kosteaksi. Puhdistettaessa kankaalla voidaan pesutulosta tarkkailla siitä, lähteekö kankaaseen enää väriä pyyhittäessä.

5. Kuivaus. Kuivaus suoritetaan tunkeumanestejärjestelmästä riippuen joko ennen tai jälkeen kehityksen. Kappale kuivataan ennen kehitystä, jos käytetään vesiliukoista tunkeumanestettä ja kuivakehitettä tai ei-vesiperustaista märkäkehittettä. Jos käytetään vesiperustaista märkäkehittettä, suoritetaan kuivaus kehityksen jälkeen. Jos sekä tunkeumaneste että kehite eivät ole vesiperustaisia, ei ylimääräistä kuivatusvaihetta yleensä tarvita, koska muut kantonesteet ovat helposti haihtuvia. Työmaaolosuhteissa kuivamista voidaan nopeuttaa käyttämällä lämmenilmapuhallusta. Puhallusilman lämpötila ei saa ylittää 100°C eikä kappaleen pintalämpötila 50°C.
6. Kehittäminen. Ennen kehitteen levittämistä on varmistuttava siitä, että tarkastettava pinta on kuiva. Kehittämisessä on oleellista, että kappaleen pinnalle saadaan mahdollisimman tasainen ja riittävän ohut kehitekerros. Kehitekerros pidetään kappaleen pinnalla riittävän kauan, jotta näyttämät ehtivät muodostua. Aika riippuu monista tekijöistä mutta vaihtelee useimmiten 5...30 minuutin

välillä. Kehitteen vaikutusajan tulee olla joka tapauksessa vähintään puolet tunkeumanesteen tunkeutumisajasta.

Arvostelu. Näyttämiä aletaan tarkastella heti kehitteen levittämisen jälkeen, koska näyttämien ilmestymisnopeudesta voidaan päätellä summittaisesti mahdollisen vian suuruutta. Jos näyttämä tulee voimakkaana esille heti kehitteen levittämisen jälkeen, voidaan vian olettaa olevan tilavuudeltaan melko iso ja aukevan melko isona pintaan. Jos taas näyttämä ilmestyy vasta aivan kehityksajan loppuvaiheessa heikkona, voidaan päätellä vian olevan pieni ja tiukasti yhteen puristunut. Edellä mainitun takia näyttämiä tarkkaillaan heti kehitteen levittämisen jälkeen muutamia minutteja koko ajan. Sen jälkeen ilmaantuvia näyttämiä tarkkaillaan sopivin väliajoin ja viimeinen tarkastus tehdään kehityksajan päätyttyä. Normaalisti kehitysaika on maksimissaan noin 30 minuuttia. Joissakin ohjeissa kehitysaika on jopa 60 minuuttia. Vähintään kehitysaika on kuitenkin puolet tunkeumanesteen imeytymisajasta. Kuvassa 8 esitetään toimintaperiaate havainnollistettuna. (NDT-tekniikka. Tunkeumanestetarkastus 1 ja 2, AEL opintomateriaali. Juha Toivanen (päivitetty 17.10.2016, Henri Dolk))



Kuva 8. Toimintaperiaate (NDT-tekniikka. Tunkeumanestetarkastus 1 ja 2, AEL opintomateriaali. Juha Toivanen (päivitetty 17.10.2016, Henri Dolk))

3.2.2 PT hyväksymisrajat

Tunkeumanestetarkastuksen hyväksymisrajat määritellään metallisten materiaalien hitseissä esiintyvälle pintaan saakka avoimille hitsausvirheiden näyttämille standardissa SFS-EN ISO 23277. Hyväksymisrajat on ensi sijassa tarkoitettu käytettäväksi valmistuksen aikana tapahtuvaan tarkastukseen, mutta tarvittaessa niitä voidaan käyttää myös määräraikaistarkastukseen. Hyväksymisrajat voidaan kytkeä hitsausstandardeihin, määräyksiin ja ohjeisiin.

Termit ja määritelmät:

- Lineaarinen näyttämä, näyttämä jonka pituus on suurempi kuin kolme kertaa sen leveys.
- Epälineaarinen näyttämä, näyttämä jonka pituus on pienempi tai yhtä suuri kuin kolme kertaa sen leveys.

Tarkastettavaan alueeseen kuuluu hitsi ja sen viereinen perusaine 10 mm leveydeltä hitsin molemmin puolin.

Suunnilleen linjassa peräkkäin olevia näyttämiä, joiden välinen etäisyys on pienempi kuin pienemmän näyttämän pituus, on pidettävä yksittäisenä jatkuvana näyttämänä. Kuvassa 9 on esitetty standardin näyttämien hyväksymisrajat ja kuvassa 10 suositellavat tarkastusparametrit (SFS-EN ISO 23277).

Mitat millimetreinä			
Näyttämän tyyppi	Hyväksymisraja ^a		
	1	2	3
Lineaarinen näyttämä l = näyttämän pituus	$l \leq 2$	$l \leq 4$	$l \leq 8$
Epälineaarinen näyttämä d = suurin läpimitta	$d \leq 4$	$d \leq 6$	$d \leq 8$
^a Hyväksymisrajat 2 ja 3 voidaan määrittää lisämerkillä "X". Tämä osoittaa, että kaikki havaitut lineaariset näyttämät arvioidaan hyväksymisrajan 1 mukaan. On kuitenkin huomattava, että näin pienille näyttämille havaitsemistodennäköisyys voi olla pieni.			

Kuva 9. Hyväksymisrajat (SFS-EN ISO 23277).

Hyväksymisraja	Pinnan laatu	Tunkeumanestetarkastusjärjestelmä
1	Hieno pinta ^a	Fluoresoiva järjestelmä, normaali tai korkeampi tarkastusherakkyys standardin ISO 3452-2 mukaisesti. Värillinen järjestelmä, suuri herakkyys standardin ISO 3452-2 mukaisesti
2	Sileä pinta ^b	Mikä tahansa
3	Yleispinta ^c	Mikä tahansa

^a Hitsin kupu ja perusaine ovat sileät ja puhtaat, eikä niissä esiinny huomioon otettavaa reunahaavaa, aaltomaisuutta tai roiskeita. Pinnan laatu on tyypillinen hitsille, jotka on tehty automaattisella TIG-hitsauksella, jauhekaarihitsauksella (täysin mekanisoitu) ja puikkohitsauksella suurriittoisuuspuikoilla.

^b Hitsin kupu ja perusaine ovat kohtuullisen sileät pienellä reunahaavalla, aaltomaisuudella ja roiskeisuudella. Pinnan laatu on tyypillinen hitsille, jotka on tehty puikkohitsauksella pystyhitsauksena alaspäin ja MAG-hitsauksella käyttäen argonpitoista suojakaasua.

^c Hitsin kupu ja perusaine on käsittelemättä. Pinnan laatu on tyypillinen hitsille, jotka on tehty puikkohitsauksella tai MAG-hitsauksella missä tahansa hitsausasennossa.

Kuva 10. Suositeltavat tarkastusparametrit (SFS-EN ISO 23277).



Kuva 11. Tunkeumanestetarkastusaineet sekä tunkeumanestetarkastettu Siipipyörä konepajalla. (Riku Purra 2021)

3.3 MT Magneettijauhetarkastus

Magneettijauhetarkastus on vanhimpia, eniten arvostettuja ja käytettyjä NDT- menetelmiä. Menetelmä soveltuu ferromagneettisten aineiden pinnassa ja pinnan läheisyydessä olevien erityisesti kapeiden epäjatkuvuuskohtien kuten säröjen havaitsemiseen. Pintatarkastusmenetelmien käyttökelpoisuuden perustana on se että rasitetun komponentin suurimmat jännitykset esiintyvät pinnassa. Pinnasta lähtevätkin melkein poikkeuksetta kriittisimmät epäjatkuvuuskohdat kuten säröt. Tästä syystä onkin tärkeää varmistua pinnan eheydestä joka takaa kestävyysden varsin pitkälle.

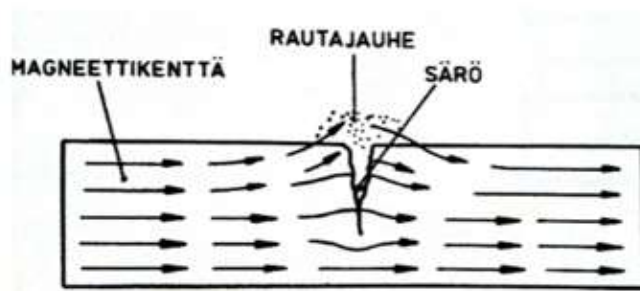
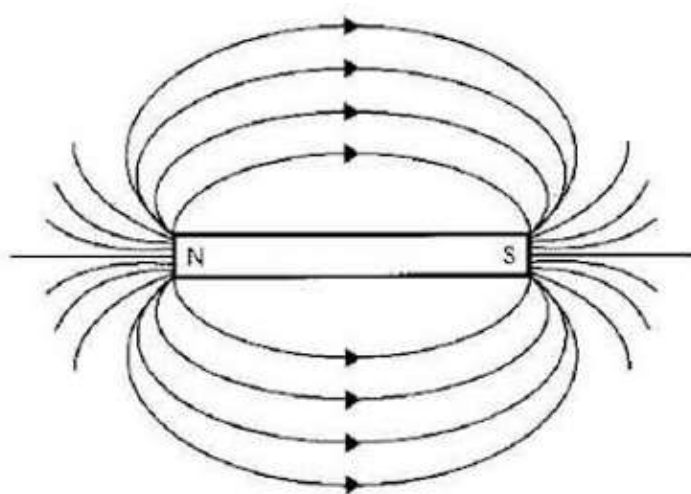
Ensimmäisen kerran magnetismia käytettiin NDT-menetelmänä ilmeisesti 1860-luvulla Englannissa tykkien tarkastukseen kompassin ja magneetin avulla. Majuri William E. Hoke sai magneettijauhetarkastuksesta patentin vuonna 1922, kun hän työssään armeijan standardisointitoimistossa havaitsi että rautajauheet osoittivat hiotuissa mittapaloissa säröjä niiden ollessa kiinnitettynä magneetti-istukoihin. Amerikkalainen professori A. V. de Forest alkoi hyödyntää patenttia kun siihen yhdistettiin erään toisen amerikkalaisen R. Switzerin patentti fluorenssin hyväksikäytöstä joka oli pohja ole-massa nykypäivän magneettijauhemenetelmien käyttöönotolle. (AEL. opintomateriaali, NDT-tarkastuskäsikirja, magneettijauhetarkastus, Thomas Åström.)

Magneettijauhetarkastus hyödyntää suoraviivaista fysikaalista ilmiötä eli vuotokenttien syntymistä epäjatkuvuuskohdista. Menetelmä on varsin vähän altis ulkopuolisille häiriöille ja luotettava ja tulee puolustamaan paikkaansa myös tulevaisuudessa.

Magneettijauhetarkastus on menetelmä, jolla saadaan pinnan läheisyydessä ja pinnassa olevia virheitä esille. Menetelmä perustuu epäjatkuvuuskohtien synnyttämien vuotokenttien havaitsemiseen.

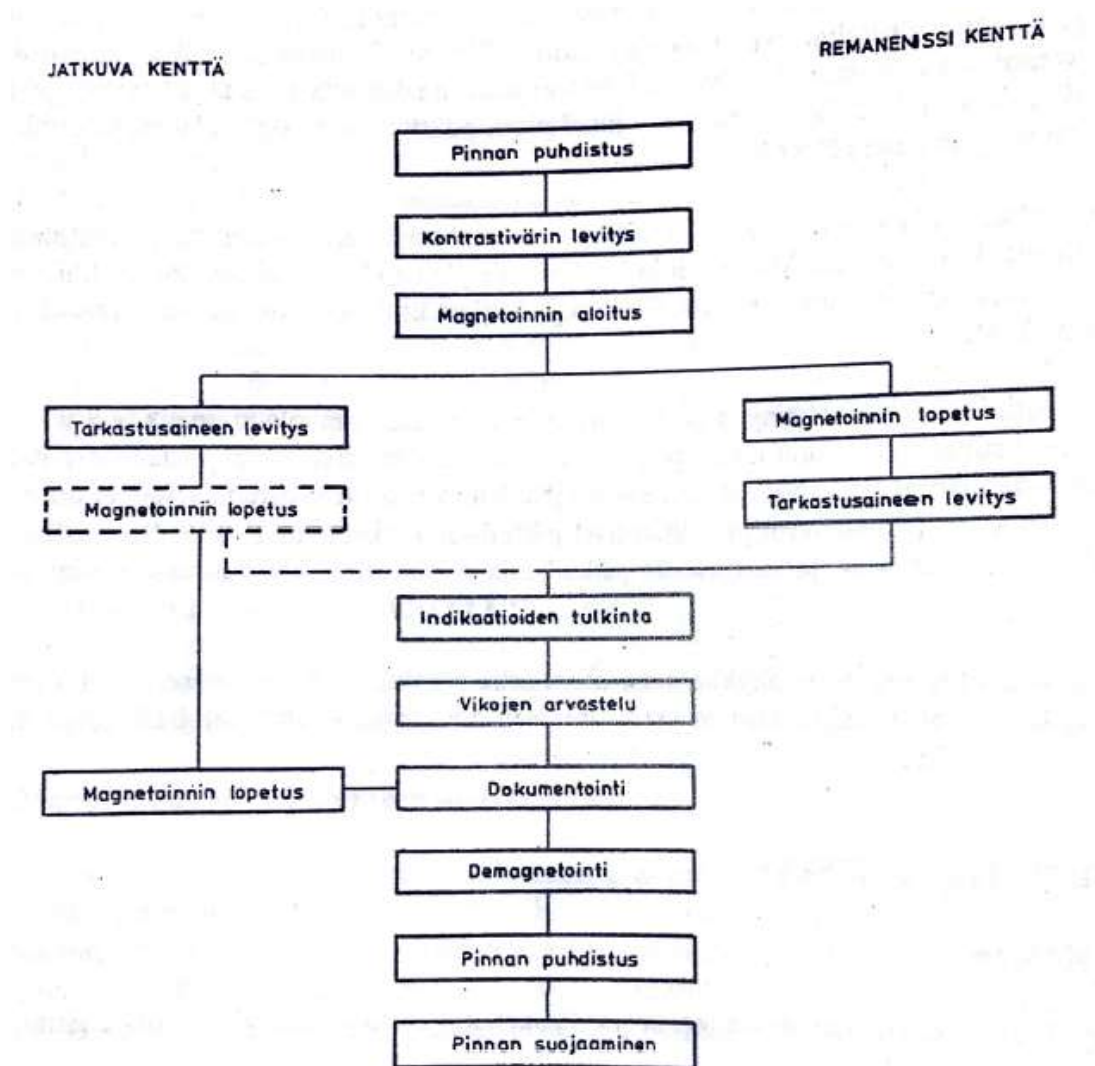
Kapea epäjatkuvuuskohta useimmiten särön aiheuttama magneettinen vuotokenttä kerää ympärilleen ferromagneettista hiukkasista muodostuneen sillan jonka leveys on muutama kymmenysosamillimetriä, kun taas särön leveys voi olla esimerkiksi vain 0,1 μm . Tähän näyttämän eli indikaation optiseen suurennokseen, joka näin ollen voi olla jopa 1000-kertainen, perustuu magneettijauhetarkastusmenetelmän kyky paljastaa aineen epäjatkuvuuskohtia. Magneettijauhetarkastus on siis visuaalisen tarkastuksen erikoissovellus ja tulosten lopullinen arvosteluhan tapahtuu silmämääräisesti.

Kappaletta magnetoidessa magneettiset voimaviivat jakautuvat tasaisesti kappaleen poikkipinnassa pyrkien kuitenkin pysymään aineet hyvän magneettisen läpäisykyvyn eli permeabiliteetin ansiosta kappaleen sisällä. Jos magneettivuolle tulee este kappaleen varsinaisen virheen tai geometrian takia, osa vuosta kulkee esteen alta, osa läpäisee virheen ja osa pyrkii etenemään virheen kautta (kuva 12). Näin saadaan epäjatkuvuuskohdan ympärille vuotokenttä, jolla on kappaleeseen nähden vastakkainen napaisuus ja se toimii täten eräänlaisena pienoismagneettina ja orientoi magneettisia indikaatiopartikkeleita muodostaen näyttämän. Syntynyttä napaisuutta käytetään hyväksi epäjatkuvuuskohtien havaitsemisessa. Tarkastuksessa levitetään pintaan rautahiukkasia, jotka kerääntyvät vuotokenttään. Kerääntyneet rautahiukkaset muodostavat sillan joka voidaan havaita visuaalisesti. (AEL. opintomateriaali, NDT-tarkastuskäsikirja, magneettijauhetaarkastus, Thomas Åström.)



Kuva 12. Navat sekä magneettivuon kulku kappaleessa jossa on pintasärö, (Åström, 1987b)

Ihmissilmä voi havaita rautahiukkasista koostuvan indikaation edellyttäen, että se on riittävän leveä, toisin sanoen riittävän voimakas vuotokenttä on syntynyt kappaleen pintaan sekä optinen kontrasti rautahiukkasten ja taustan välillä on riittävän suuri. Tämän kontrastin saavuttamiseksi käytetään yleensä värillisiä hiukkasia vaalealla ohuella kontrastiväripohjalla (värillinen menetelmä, kuva 13) tai fluoresoivia hiukkasia ilman kontrastiväriä fluoresoivalla menetelmällä. (AEL. opintomateriaali, NDT-tarkastuskäsikirja, magneettijauhetarkastus, Thomas Åström.)



Kuva 13. Värillinen menetelmä. (Åström, 1978b)

Magneettijauhetarkastuksessa havaittava indikaatio muodostuu niistä rautahiukkasista, jotka kerääntyvät ja jäävät vuotokenttään ko. tarkastusolosuhteissa. Tämä indikaatio ilmaisee näin ollen särön sijainnin, muodon ja osittain myös laajuuden.

Magneettijauhetautarkastuksessa vuotokenttien voimakkuudella on varsin ratkaiseva merkitys. Mitä tehokkaammin särö pystyy katkaisemaan kappaleen magneettisia voimaviivoja, sitä voimakkaammaksi muodostuu polarisoituminen ja napaisuusero särön kylkien välillä. Teräväpohjainen syvä särö polarisoi näin ollen tehokkaammin.

MT-tarkastuksessa havaittavia vuotokenttiä syntyy etenkin sulkeumien ja säröjen yhteydessä, lisäksi saattaa voimakkaita vuotokenttiä syntyä lovien, terävien reunojen ja jyrkkien poikkipintamuutosten kohdalla. (AEL. opintomateriaali, NDT-tarkastuskäsikirja, magneettijauhetautarkastus, Thomas Åström.)

MT-tarkastuksen kyky ja luotettavuus ilmaista virheitä riippuu useasta seikasta, mm:

- Tutkittavan kappaleen magneettisista ominaisuuksista (jäännösmagnetismi, permeabiliteetti jne.)
- Magneetikentän voimakkuudesta ja suunnasta virheisiin nähden.
- Magneettijauheen ominaisuudet.
- Ulkoset tekijät kuten tarkastushenkilökunnan kokemus, valaistus tarkastuspaikan olosuhteet jne.
- Tutkittavan kappaleen pinnan laadusta.

Magneettijauhetautarkastuksella voidaan yleensä havaita 0,1 - 1 mm:n levyiset ja muutaman mm:n pituiset säröt. Hyvissä olosuhteissa voidaan havaita säröt, joiden koko on vain kymmenysosa edellä mainituista.

Magneettijauhetautarkastuksen etuja ovat:

- toimintavarmuus
- nopeus
- herkkyys
- yksinkertaisuus
- indikaatiot antavat luonnollisen kuvan epäjatkuvuudesta
- lähellä pintaa olevat epäjatkuvuuskohdat havaittavissa
- pinta saa olla ohuen epämagneettisen kalvon peittämä (esim. maalikerros)
- tarkastettavilla kappaleilla ei ole muotonsa ja kokonsa suhteen rajoituksia

- menetelmä helposti mekanisoitavissa
- halpa ja koneet yksinkertaisia ja varmoja.

Magneettijauhetarkastuksen rajoituksia ovat:

- indikaatioiden tulkinta ja arviointi vaatii kokemusta ja tietoa.
- menetelmä soveltuu ainoastaan ferromagneettisille aineille
- tarkastuksen jälkeen on usein suoritettava demagnetointi
- magneettivuon suunnalla suuri merkitys vikaan nähden
- suurien virtojen käyttö voi aiheuttaa kappaleen kuumenemistä ja aiheuttaa polttojälkiä tarkastettavaan pintaan
- pinnat vaativat useasti jälkipuhdistamisen. (AEL. opintomateriaali, NDT-tarkastuskäsikirja, magneettijauhetarkastus, Thomas Åström.)

3.3.1 Magnetointi sähkövirran avulla

Konepajoilla yleisin käytetty magnetointitapa on magnetointi sähkövirralla ja magnetointilaitteena on vaihtovirtaies. Kuvassa 14 näytetään vaihtovirtaies ja värillisen menetelmän tarkastusaineet. Iesmagnetointilaitteet ovat kevyitä ja aikaansaavat tehosta riippuen hyvinkin voimakkaan kentän kappaleen pintaan. Vaihtovirtaieet ovat huokeita, yleiskäyttöön sopivia ja käyttövarmoja. Vaihtovirralla magnetoitaessa valtaosa kentästä rajoittuu noin 1-2 mm:n syvyyteen. Iesmagnetointi on napamagnetointimenetelmä jossa kohteeseen pakotetaan ulkoinen kenttä joka muodostuu ikeen napojen välille. Kohteeseen muodostuu etelä- ja pohjoisnapa ja virta kulkee kappaleessa etelästä pohjoiseen ja ilmassa pohjoisesta etelään. Poikittain kentän suuntaan olevat viat muodostavat vuotokentän johon muodostuu uudet navat ja kappaleen pinnalle levitetty magneettijauhe kerääntyy vuotokentän kohtaan ja muodostaa näyttämän. Näyttämä on vian muotoinen ja pituinen, leveyssuuntaan suurentunut. Vian tulee olla pintaan avautunut tai välittömästi pinnan alla. Magneettijauhetarkastuksen avulla saadaan viasta suurennettu näyttämä, viasta taustasta hyvin erottuva näyttämä eli suurennos ja kontrasti. (AEL. opintomateriaali, NDT-tarkastuskäsikirja, magneettijauhetarkastus, Thomas Åström.)



Kuva 14. Iesmagnetointilaite ja värillisen sekä fluorensioivan tarakastuksen tarkastusaineet (Riku Purra 2021)

3.3.2 MT tarkastuksen kuvaus

Magneettijauhettarkastus ikeellä värillisellä määrällä menetelmällä:

1. Pinnan esipuhdistus

Tarkastettava pinta tulee puhdistaa kaikesta pinnalla olevista hiukkasista, jotka saattaisivat vaikeuttaa tulosten tulkintaa ja tarkastusta. On otettava huomioon karkeita pintoja tarkastettaessa että pinnan karheus ja pienin varmuudella havaittava virhe ovat riippuvaisia toisistaan.

Sopivia esipuhdistusmenetelmiä ovat rasvan poisto pinta-aktiivisilla tai orgaanisilla puhdistusaineilla, hiekkapuhallus, teräsharjaus tai pinnan kevyt työstäminen.

Päällystettyjä tai maalattuja pintoja tarkastettaessa edellytyksenä on että pintakalvo ei ole liian paksu. Tarkastuksen tarkkuus on epäsuorasti sidoksissa kalvon paksuuden kanssa. Yleensä voidaan hyväksyä tarkastus 100 µm:n paksuisten ja tarkoissa tarkastuksissa maksimissaan 50 µm:n paksuisten ei-magneettisten pintakalvojen päältä.

Jos kappale on tullut käytön aikana magneettiseksi esim. sähköisen kentän vaikutuksesta tai aikaisemmin magnetoitu niin saattaa olla tarpeellista magnetismin poistolle, jotta tarkastusta häiritsevät navat vapautuisivat.

2. Kontrastiväri

Kontrastivärillä on kaksi päätehtävää tarkastuksen suorituksessa. Väri parantaa optista kontrastia tummien rautahiukkaskasautumien ja taustan välillä sekä väri tasoittaa pinnan epätasaisuuksia poistaen kitkaa pinnan ja hiukkasten välillä. Kitkan pieneminen lisää hiukkasten liikkuvuutta ja indikaatioiden muodostuminen helpottuu.

Kontrastivärissä käytetään väriaineena titaanioksidia ja se on ohut, helposti kuivuva epäaktiivinen maali. Maali levitetään parhaiten aerosolipullosta jolloin saavutetaan ohut ja tasainen, yleensä 10 – 15 µm:n paksuinen kerros. Maalin voi myös levittää siveltimellä, näin levitettynä maali on epätasaisempaa ja

suuret kalvonpaksuusvaihtelut saattavat aiheuttaa näyttämien tulkinnassa vaikeuksia. Värillistä menetelmää käytettäessä kohteen pinnassa oleva maali voi toimia kontrastivärinä, jos magneettihiukkasten väri erottuu maalista selvästi.

3. Magnetointi ja jauheen levitys

Tarkastusaineen levittämisen yhteydessä jatkuvalla menetelmällä on magnetointia levittämisen jälkeen niin kauan, että näyttämien tulkinta on suoritettu. Muussa tapauksessa mahdollisesti syntyneet näyttämät voivat huuhtoa pois. Märällä menetelmällä magneettijauhesekoitus levitetään pintaan joko käsiruiskutuspullosta tai suoraan aerosolipullosta.

4. Näyttämien tarkastelu ja arvostelu

Magneettijauhetarkastuksen arvostelu on kaksivaiheinen. Ensimmäisessä vaiheessa tapahtuu näyttämien (indikaatioiden) tulkitseminen ja toisessa vaiheessa virheiden arvostelu. Näyttämät voivat olla peräisin vuotokentästä, joka ei aina johdu viasta, tällöin kyseessä on niin sanottu valenäyttämä. Kaikki näyttämät on näin ollen perusteellisesti tutkittava ja jos näyttämä on peräisin virheestä niin se on arvosteltava.

Näyttämien arvostelijalla on oltava tieto käytetystä valmistusprosessista, koe-kappaleen käyttöhistoriasta sekä käytetystä materiaalista. Taustatiedot kertovat, missä paikassa ja suunnassa sekä mitä virheitä on odotettavissa ja miltä ne näyttävät. Terävä indikaatio viittaa siihen että kysymyksessä on pintaan ulottuva epäjatkuvuus, esimerkiksi särö, leveä indikaatio viittaa syvällä olevaan virheeseen. Epäterävä indikaatio on ominainen pinnan alla olevalle virheelle.

Indikaation hiukasmäärä sekä indikaation muodostumisnopeus kertoo epäjatkuvuuden geometriasta, esim. pieni kasauma kertoo matalasta säröstä ja suuri kasauma esim. syvemmästä säröstä. Mitä nopeammin indikaatio muodostuu, sitä syvemmästä ja terävämmästä epäjatkuvuudesta on kyse.

5. Loppupuhdistus

Tarkastuksen jälkeen suoritetaan loppupuhdistus jossa tarkastetut pinnat puhdistetaan tarkastusaineista. Loppupuhdistukseen riittää tavallisesti kevyt

mekaaninen puhdistus. Värillisessä menetelmässä käytetty kontrastiväri on poistettava ja se onkin tehty yleensä helposti irtoavaksi. Kontrastivärin poistaminen käy teräsharjalla ja joskus jopa paineilmalla puhaltaen. Epätasaisilta pinnoilta voidaan joutua käyttämään liuottimia.

Fluorensioivan tarkastusnesteen puhdistus onnistuu liuottimella.

6. Demagnetointi (tarvittaessa)

Demagnetoinnilla tarkoitetaan magneettijauhetarkastuksessa kappaleeseen jääneen jäännösmagnetismin poistamista sopimalla menetelmällä.

Kappaleeseen jääneen jäännösmagnetismin voimakkuus on monesta tekijästä riippuvainen. Voimakkuuden määrään vaikuttavat mm. aineen magneettiset ominaisuudet, magnetoinnin suunta ja voimakkuus sekä kohteen geometria.

Demagnetointi suoritetaan yleensä siihen tarkoitettuun demagnetointilevyllä tai kelassa käyttämällä vaihtovirtaa. Demagnetoinnin perusedellytyksenä on että demagnetoinnin kenttävoimakkuus on vähintään yhtäsuuri kuin magnetoinnin sekä demagnetoinnin ja magnetoinnin samansuuntaisuus. Kenttävoimakkuutta on pienennettävä niin matalaan arvoon kuin on mahdollista. (AEL. opintomateriaali, NDT-tarkastuskäsikirja, magneettijauhetarkastus, Thomas Åström.)

3.3.3 MT Hyväksymisrajat

Magneettijauhetarkastuksen hyväksymisrajat määritellään ferromagneettisten terästen hitseissä esiintyvillä näyttämillä, kun hitsejä tarkastetaan magneettijauhetarkastuksella standardissa SFS-EN ISO 23278. Hyväksymisrajat on ensi sijassa tarkoitettu käytettäväksi valmistuksen aikana tapahtuvaan tarkastukseen ja voidaan myös käyttää tarvittaessa määräraikaistarkastukseen.

Tämän kansainvälisen standardin hyväksymisrajat perustuvat erotuskykyyn, joka on odotettavissa, kun käytetään standardissa ISO 17638 esitettyjä tekniikoita ja kuvassa 15 suositeltuja parametreja. Hyväksymisrajat voidaan kytkeä hisausstandardeihin, soveltuvuusstandardeihin, ohjeisiin tai määräyksiin. Tällainen kytkentä esitetään standardissa ISO 17635, jossa hyväksymisrajastandardi on kytketty hitsiluokkastandardiin ISO 5817. Standardissa SFS-EN ISO 23278 ei käsitellä näyttämäryhmien hyväksymisrajoja. (SFS-EN ISO 23278)

Suosittelvat tarkastusparametrit (EN)

Suosittelvat tarkastusparametrit pienien virheiden luotettavaan havaitsemiseen esitetään taulukossa A.1. Pinnat ovat käsittelemättä. Pinnan laatua saattaa olla tarpeen parantaa, näyttämien tarkan tulkinnan mahdollistamiseksi, esim. käyttäen hiomapaperia tai paikallista hiontaa. Tarkastusaineet luetellaan suosituimmuusjärjestyksessä.

Taulukko A.1 Suositellut tarkastusparametrit

Hyväksymisraja	Pinnan laatu	Tarkastusaine
1	Hieno pinta ^a	Fluoresoiva tai värillinen kontrastivärillä
2	Sileä pinta ^b	Fluoresoiva tai värillinen kontrastivärillä
3	Yleispinta ^c	Värillinen kontrastivärillä tai matalan herkkyuden fluoresoiva

^a Hitsin kupu ja perusaine ovat sileät ja puhtaat, eikä niissä esiinny huomioon otettavaa reunahaavaa, aaltomaisuutta tai roiskeita. Pinnan laatu on tyypillinen hitseille, jotka on tehty automaattisella TIG-hitsauksella, jauhekaarihitsauksella (täysin mekanisoitu) ja puikkohitsauksella suurriittoisuuspuikoilla.

^b Hitsin kupu ja perusaine ovat kohtuullisen sileät pienellä reunahaavalla, aaltomaisuudella ja roiskeisuudella. Pinnan laatu on tyypillinen hitseille, jotka on tehty puikkohitsauksella pystyhitsauksena alaspäin ja MAG-hitsauksella käyttäen argonpitoista suoja kaasua.

^c Hitsin kupu ja perusaine on käsittelemättä. Pinnan laatu on tyypillinen hitseille, jotka on tehty puikkohitsauksella tai MAG-hitsauksella missä tahansa hitsausasennossa.

Kuva 15. Suositellut tarkastusparametrit. (SFS-EN ISO 23278)

Termit ja määritelmät:

- Lineaarinen näyttämä, näyttämä jonka pituus on suurempi kuin kolme kertaa sen leveys.
- Epälineaarinen näyttämä, näyttämä jonka pituus on pienempi tai yhtä suuri kuin kolme kertaa sen leveys.

Tarkastettavaan alueeseen kuuluu hitsi ja sen viereinen perusaine 10 mm leveydeltä hitsin molemmin puolin.

Lineaarisille näyttämille määritetyt hyväksymisrajat vastaavat arviointirajaa. Tätä pienempiä näyttämiä ei oteta huomioon, eikä niitä yleensä kirjata.

Vierekkäin olevia näyttämiä, joiden välinen etäisyys on vähemmän kuin pienemmän näyttämän suurin dimensio, on pidettävä yksittäisenä jatkuvana näyttämänä.

Tarkastettava pinta voidaan hioa kokonaan tai osittain arvioinnin parantamiseksi, kun vaaditaan suurempaa herkkyyttä kuin olisi saavutettavissa, jos pinta tarkastettaisiin hiomatta.

Hyväksymisrajat esitetään kuvassa 16. (SFS-EN ISO 23278)

Näyttämän tyyppi	Hyväksymisraja ^a		
	1	2	3
Lineaarinen näyttämä l = näyttämän pituus	$l < 1,5$	$l < 3$	$l < 6$
Epälineaarinen näyttämä d = suurin läpimitta	$d < 2$	$d < 3$	$d < 4$
^a Hyväksymisrajat 2 ja 3 voidaan määrittää lisämerkillä "X". Tämä osoittaa, että kaikki havaitut lineaariset näyttämät arvioidaan hyväksymisrajan 1 mukaan. On kuitenkin huomattava, että näin pienille näyttämille havaitsemistodennäköisyys voi olla pieni.			

Kuva 16. Hyväksymisrajat. (SFS-EN ISO 23278)



Kuva 17. Magneettijauhetarkastettu potkurilaitteen Alarunko konepajalla. (Riku Purra 2021)

4 MENETELMIEN VALINTAPERUSTEET

Standardissa SFS-EN 17635 : 2016 määritetään eri tarkastusmenetelmien valintavaatimukset eri tyyppisille materiaalien sulahitseille. Määritettyjä menetelmiä voidaan käyttää parhaan tuloksen saavuttamiseksi joko yksinään tai yhdistelmänä.

Ennen tarkastuksen menetelmän ja tason valintaa on otettava huomioon:

1. perusaine, hitsausaine ja käsittely
2. tarkastuskohteen tila (luoksepäästävyys, pinnan laatu jne.)
3. hitsiluokat
4. hitsausprosessit
5. liitosmuoto ja -geometria
6. oletettujen hitsausvirheiden tyyppi ja sijainti.

Myös muita kuin kuvassa 18 lueteltuja tarkastusmenetelmiä ja -rajoja voidaan valita tarvittaessa. Mikäli sovellusstandardi vaatii menetelmien toisenlaista valintaa, voidaan kuvan 18 ilmoittamia tarkastusrajoja käyttää tarkoituksenmukaisesti. Tällaiset poikkeamat on määriteltävä.

Kuvassa 18 esitetään standardien ISO 5817 ta ISO 10042 hitsiluokkien, rikkomattomien aineenkoetusstandardien tarkastustekniikoiden, tarkastustasojen ja hyväksymisrajojen välinen yhteys.

Nämä yhteydet ovat likimääräisiä. (SFS-EN ISO 17635:2016)

A.2 Silmämääräinen tarkastus (VT) (EN)

Katso taulukko A.1.

Taulukko A.1 Silmämääräinen tarkastus (VT)

Hitsiluokka standardin ISO 5817 tai ISO 10042 mukaan	Tarkastustekniikat ja tarkastustasot standardin ISO 17637 mukaan	Hyväksymisrajat ^a
B	Ei ole määritelty	B
C	Ei ole määritelty	C
D	Ei ole määritelty	D

^a Silmämääräisen tarkastuksen hyväksymisrajat vastaavat standardien ISO 5817 tai ISO 10042 mukaisia hitsiluokkia.

A.3 Tunkeumanestetarkastus (PT) (EN)

Katso taulukko A.2.

Taulukko A.2 Tunkeumanestetarkastus (PT)

Hitsiluokka standardin ISO 5817 tai ISO 10042 mukaan	Tarkastustekniikat ja tarkastustasot standardin ISO 3452-1 mukaan	Hyväksymisrajat standardin ISO 23277 mukaan
B	Ei ole määritelty	2 X
C	Ei ole määritelty	2 X
D	Ei ole määritelty	3 X

A.4 Magneettijauhettarkastus (MT) (EN)

Katso taulukko A.3.

Taulukko A.3 Magneettijauhettarkastus (MT)

Hitsiluokka standardin ISO 5817 mukaan	Tarkastustekniikat ja tarkastustasot standardin ISO 17638 mukaan	Hyväksymisrajat standardin ISO 23278 mukaan
B	Ei ole määritelty	2 X
C	Ei ole määritelty	2 X
D	Ei ole määritelty	3 X

Kuva 18. Sovellettavat ohjeet ja standardit. (SFS-EN ISO 17635:2016)

Hitsien tarkastuksessa yleisesti hyväksytyt menetelmät annetaan kuvassa 19 pintavirheiden osalta.

Materiaalit	Tarkastusmenetelmä
Ferriittinen teräs	VT VT ja MT VT ja PT VT ja (ET)
Austeniittinen teräs	VT
Alumiini ja nikkeli	VT ja PT
Kupari ja titaani	VT ja (ET)
HUOM. Sulkeissa esitetyt menetelmät soveltuvat rajoituksin.	

Kuva 19. Kaikentyyppisten hitsien (myös pienahitsien) luoksepäästävien pintavirheiden yleisesti hyväksytyt tarkastusmenetelmät. (SFS-EN ISO 17635:2016)

5 TARKASTUSLAAJUDET

Tarkastuksia ei suoriteta kaikille hitseille vaan alihankintakonepajassa asiakkaan suunnittelija määrittelee hitsien hitsausluokat piirustuksiin tai vastaava tieto on löydettävä muusta dokumentaatiosta. Tarkastuslaajuus vaihtelee kohteen olosuhteiden, käyttötarkoituksen, vaativuuden jne. mukaan.

Standardissa SFS EN ISO 5817 hitseille on annettu 3 hitsiluokkaa, jolloin suurin osa hitsaussovellutuksista tulee katetuksi. Hitsit merkitään tunnuksilla B, C ja D. Hitsiluokka B on vaativin luokka, jota valmiille hitseille annetaan. Käytännössä vähimmäisvaatimuksena on ns. hyvän konepajalaadun mukainen hitsi joka tarkoittaa vähintään hitsiluokkaa C. Hitsausluokkaan C riittää usein 100% visuaalinen tarkastus sekä 10%:n täydentävä NDT tarkastus. Hitsiluokassa B vaatimuksena voi olla esimerkiksi visuaalinen tarkastus 100%, magneettijauhetaarkastus 100%. Prosenteilla tarkoitetaan prosenttiosuutta esimerkiksi hitsien pituudesta. Samassa tuotteessa voi olla eri niin hitsiluokan kuin tarkastuslaajuudenkin omaavia hitsejä, dynaamisesti (väsyttävästi) kuormitetuille hitseille valitaan vaativin hitsiluokka B ja staattisesti kuormitetuille hitsisaumoille usein riittää hitsiluokka C, joskus aiemmin ollut myös hitsiluokan D hitsisaumoja joita ei nykyään juurikaan käytetä. (Hitsausuutiset 2/2001: Hitsien laatu ja hitsausvirheet. Juha Lukkari, ESAB Oy.)

Tarkastukset sekä korjaukset ovat lisääntyneet merkittävästi johtuen asiakkaiden vaatimista teräspintojen mekaanisten esikäsittelyjen laatuasteista. Standardin SFS 8145 laatuaste 05 kumoaa vaativuudellaan standardin SFS EN ISO 5817 luokan C esimerkiksi sallimat huokokset eri muodoissaan (yksittäiset, pitkänomaiset, huokosjonot) jouheat reunahaavat, kiinteät roiskeet jotka olisivat muutoin hyväksyttävissä. Kustannuksia kertyy ylimääräisestä ylilaadun valmistamisesta.

Kuvassa 20 on esitetty asiakkaan piirustukseen määritetty hitsausluokka sekä NDT-tarkastuksen laajuus. Hitsausluokka C ja tarkastuksen laajuus:

- päittäishitsi visuaalinen 100%, Ultraääni- tai Radiografinen tarkastus 10%, Magneettipartikkeli 0%.

- T- ja läpihitsatut: visuaalinen 100%, Ultraääni- tai Radiografinen tarkastus 10%, Magneettipartikkeli 0%.
- T- ja osittaistunkeumahitsit ja pienahitsit: visuaalinen 100%, Ultraääni- tai Radiografinen tarkastus 0%, Magneettipartikkeli 10%.

HITSAUS:

HITSAUSLUOKKA: C SFS-EN 25817 (ISO 5817) MUKAAN

HITSAUSLISÄAINEET ESAB OK TAI VASTAAVAT (TERÄSTÄ TERÄKSEEN)			
HITSAUSMENETELMÄ		NORMAALI LISÄAINE	— —
MIG-Hitsaus	Ydintäytelanka	OK Tubrod 14.12	—
Jauhekaarihitsaus	Lanka	OK Autrod 12.22	—
	Jauhe	OK Flux 10.71	—
Puikkohitsaus	Päällystepuikko	OK 48.00	—

ESILÄMMITYS ENNEN HITSAUSTA AINEVAHVUUDEN JA MATERIAALIN MUKAAN

HITSAUKSEN JÄLKEINEN LÄMPÖKÄSITTELY ENNEN KONEISTUSTA SEURAAVASTI :

- LÄMPÖTILA 550 ... 600°C.
- LÄMMITYS : MAX $\frac{5000}{s_{max}}$ °C/TUNTI, KUITENKIN ENINTÄÄN 200 °C/TUNTI
- HEHKUTUS AIKA (min.) : $2 \times s_{max}$ (mm), KUITENKIN VÄHINTÄÄN 30 min.
- JÄÄHDYTYS : MAX $\frac{7000}{s_{max}}$ °C/TUNTI, KUITENKIN ENINTÄÄN 275 °C/TUNTI

s_{max} = RAKENTEEN SUURIN AINEVAHVUUS

TARKASTUKSEN LAAJUUS / MENETELMÄT SAUMAKOHTAISESTI

LAATU TASO	HITSAUSLIITOS TYYPPI	Visuaalinen tarkastus	Ultraääni- tai Radiografinen tarkastus	Magneetti-partikkeli
C	Päittäishitsi	100%	10%	—
	T- ja läpihitsatut	100%	10%	—
	T- ja osittaistunkeumahitsit ja pienahitsit	100%	—	10%
—	—	—	—	—

Kuva 20. Esimerkki asiakkaan piirustuksen vaatimuksista. (Konepajan piirustusarkisto 2021)

6 VIKATYYPIT

Löydettyjä vikatyyppejä löytyy visuaalisen tarkastuksen puolelta reunahaavoja huokoisuutta ja vajaata a-mittaa. Kuvissa 21 ja 22 on käyttöön otetun seurannan korjauksiin johtavien visuaalisten tarkastusten lukumäärät. Tunkeumanestetarkastuksessa on löytynyt niin epälineaarisia (huokoisia) kuin lineaarisiakin näyttämiä. Magneettitarkastuksessa on löytynyt enimmäkseen säröjä sekä lopetuksissa ilmenneitä imuonteiloita. Löydetty viat avattiin pohjiaan myöden sekä tarkastus suoritettiin avaukselle sekä korjaushitsille.

Lehtosen Konepaja				LUETTELO TUOTANNON AIKANA HAVAITUISTA JA KORJATUISTA VIRHEISTÄ LIST OF FAULTS FOUND AND REPAIRED DURING PRODUCTION									
Virhe Fault no.	Pvm Date	Tarkastaja Inspector	Virheen merkintä Fault remark	Työnro Work no.	Tarkastuskohde Inspected object	Korjauksen vaadittu korjauksen kuvaus Repair required object description	Korjaus Repair method	Hylys Yes	CI No	Hyksäys Approved after repair	Pvm Date	Tarkastaja Inspector	Huomautus Remarks
125	15.03.2021	JVu LeKo	VT	25517	Upper part frame	Huokosia, roiskeita, reunahaavaa, pyörästystä tolemassa, käsittelyn jälkiä.	1,3	X	-	17.03.2021	JVu LeKo	Jonkin verran huokosia.	
126	15.03.2021	JVu LeKo	VT	25518	Upper part frame	Huokosia, roiskeita, reunahaavaa, pyörästystä tolemassa.	1,3	X	-	17.03.2021	JVu LeKo	Jonkin verran huokosia.	
127	15.03.2021	JVu LeKo	VT	25522-1	Upper part frame	Huokosia, roiskeita, pyörästystä tolemassa.	1,3	X	-	17.03.2021	JVu LeKo	Jonkin verran huokosia.	
128	15.03.2021	JVu LeKo	VT	25522-2	Upper part frame	Roiskeita, pyörästyksiä tolemassa, koloja.	1,2	X	-	17.03.2021	JVu LeKo	Virheiden määrä oli pieni	
129	15.03.2021	JVu LeKo	VT	24913	Bottom wall cover UL 1401 Special	Reunahaavaa, roiskeita, lykkää siltymää, läpialoja, pyörästyksiä tolemassa, käsittelyn jälkiä.	1,2	X	-	16.03.2021	JVu LeKo	Poteroideiden hitsaus pohjalevyn puolelta runaavasti reunahaavaa.	
130	23.03.2021	JVu LeKo	VT	25520	Upper part frame	Huokosia, pyörästyksiä tolemassa, roiskeita, koloja.	1,2,3	X	-	24.03.2021	JVu LeKo	Pajon pyörästyksiä tolemassa.	
131	23.03.2021	JVu LeKo	VT	25735	Upper part frame	Huokosia, pyörästyksiä tolemassa, roiskeita, koloja.	1,2,3	X	-	24.03.2021	JVu LeKo	Jonkin verran huokosia.	
132	23.03.2021	JVu LeKo	VT	25736	Upper part frame	Huokosia, pyörästyksiä tolemassa, roiskeita, koloja, kohdistusmerkit pohjalevyn reunasta poistamatta.	1,2,3	X	-	24.03.2021	JVu LeKo	Jonkin verran huokosia.	
133	23.03.2021	JVu LeKo	VT	25350	Bottom plate UL 1401	Painimen jälkiä, naarmuja, nostimen jälkiä, roiskeita.	1	X	-	23.03.2021	JVu LeKo	Virheiden määrä oli pieni	
134	29.03.2021	JVu LeKo	VT	25519	Upper part frame	Huokosia, roiskeita, pyörästyksiä tolemassa.	1,3	X	-	30.03.2021	JVu LeKo		
135	30.03.2021	JVu LeKo	VT	25862	Upper part frame	Roiskeita, huokosia, nostovirran jälkiä.	1,2,3	X	-	31.03.2021	JVu LeKo	Virheiden määrä oli pieni	
136	30.03.2021	JVu LeKo	VT	25782-1	Upper part frame	Roiskeita, huokosia.	1,2,3	X	-	31.03.2021	JVu LeKo	Virheiden määrä oli pieni	
137	30.03.2021	JVu LeKo	VT	25860	Upper part frame	Roiskeita, huokosia.	1,2,3	X	-	31.03.2021	JVu LeKo	Virheiden määrä oli pieni	
138	19.04.2021	JVu LeKo	VT	25897-6	Upper part frame	Vahvikerän pohjan puoleinen sauma puuttuu, roiskeita, pyörästyksiä tolemassa, siirron jälkiä.	1,2	X	-	20.04.2021	JVu LeKo	Virheiden määrä oli suuri	
139	20.04.2021	JVu LeKo	VT	25897-1	Upper part frame	Huokosia, roiskeita, pyörästyksiä tolemassa, siirron jälkiä.	1,2,3	X	-	21.04.2021	JVu LeKo	Pajon huokosia.	
140	20.04.2021	JVu LeKo	VT	25897-4	Upper part frame	Huokosia, roiskeita, pyörästyksiä tolemassa, siirron jälkiä.	1,2,3	X	-	21.04.2021	JVu LeKo	Pajon huokosia.	
141	23.04.2021	JVu LeKo	VT	25197	Mounting block S3000	X. Pohjalevyn ja vappilevyn pään kierto viimeistelemättä kolmessa kohdassa.	1,2	X	-	26.04.2021	JVu LeKo		
142	27.04.2021	JVu LeKo	VT	25899-1	Upper part frame	Roiskeita, huokosia.	1,2,3	X	-	28.04.2021	JVu LeKo	Virheiden määrä oli pieni	
143	27.04.2021	JVu LeKo	VT	25899-2	Upper part frame	Roiskeita, huokosia.	1,2,3	X	-	28.04.2021	JVu LeKo	Virheiden määrä oli pieni	
144	27.04.2021	JVu LeKo	VT	25903	Upper part frame	Roiskeita, huokosia.	1,2,3	X	-	28.04.2021	JVu LeKo	Virheiden määrä oli pieni	
145	05.05.2021	JVu LeKo	VT	25896-1	Upper part frame	Roiskeita, reunahaavaa, pyörästyksiä tolemassa, pottokoloja.	1,2,3	X	-	06.05.2021	JVu LeKo	Virheiden määrä oli suuri	
146	05.05.2021	JVu LeKo	VT	25896-2	Upper part frame	Roiskeita, reunahaavaa, pyörästyksiä tolemassa, pottokoloja.	1,2,3	X	-	06.05.2021	JVu LeKo	Virheiden määrä oli suuri	
147	25.05.2021	JVu LeKo	VT	25900-1	Upper part frame	Roiskeita, naarmuja.	1	X	-	26.05.2021	JVu LeKo	Virheiden määrä oli pieni	
148	25.05.2021	JVu LeKo	VT	25900-2	Upper part frame	Huokosia, roiskeita, naarmuja.	1,3	X	-	26.05.2021	JVu LeKo	Pajon huokosia.	
149	09.06.2021	JVu LeKo	VT	25901-1	Upper part frame	Reunahaavaa, roiskeita, naarmuja.	1,2	X	-	10.06.2021	JVu LeKo	Virheiden määrä oli pieni	

Kuva 21. (Kuvakaappaus konepajan NDT-tarkastajan taulukosta 2021)

Lehtosen Konepaja					LUETTELO TUOTANNON AIKANA HAVAITUISTA JA KORJATUISTA VIRHEISTÄ LIST OF FAULTS FOUND AND REPAIRED DURING PRODUCTION							
Virhe no. Item no.	Pvm Date	Tarkastaja Inspector	Virheen määrä Fault method	Työno. Work no.	Tarkastusohje Inspection object	Korjauksen vaadittu Repair required object description	Korjaus tap Repair method	Kyllä Yes	Ei No	Pvm Date	Tarkastaja Inspector	Virheen määrä Fault method
150	09.06.2021	JVU LeKo	VT	25901-7	Upper part frame	Reunahaava, huokosia, roiskeita, naarmuja.	1,2,3	X	+	10.06.2021	JVU LeKo	Pajon roiskeita
151	14.06.2021	JVU LeKo	VT	25901-2	Upper part frame	Roiskeita, pyörityksiä tekemättä, naarmuja.	1,2	X	+	15.06.2021	JVU LeKo	Viimeiden määrä oli pieni
152	14.06.2021	JVU LeKo	VT	25901-5	Upper part frame	Jyrkkää liittymää, roiskeita, pyörityksiä tekemättä.	1,2	X	+	15.06.2021	JVU LeKo	Viimeiden määrä oli pieni
153	14.06.2021	JVU LeKo	VT	25901-8	Upper part frame	Reunahaava, roiskeita, pyörityksiä tekemättä.	1,2	X	+	15.06.2021	JVU LeKo	Viimeiden määrä oli pieni
154	15.06.2021	JVU LeKo	VT	25901-3	Upper part frame	Roiskeita, pyörityksiä tekemättä.	1,2	X	+	16.06.2021	JVU LeKo	Viimeiden määrä oli pieni
155	15.06.2021	JVU LeKo	VT	25901-4	Upper part frame	Roiskeita, pyörityksiä tekemättä, huokonen.	1,2,3	X	+	16.06.2021	JVU LeKo	Viimeiden määrä oli pieni
156	15.06.2021	JVU LeKo	VT	25901-6	Upper part frame	Huokosia, roiskeita, pyörityksiä tekemättä, naarmuja.	1,2,3	X	+	16.06.2021	JVU LeKo	Pajon roiskeita
157	21.06.2021	JVU LeKo	VT	26239	Upper part frame	Huokosia, roiskeita, pyörityksiä tekemättä.	1,2,3	X	+	22.06.2021	JVU LeKo	Viimeiden määrä oli pieni
158	21.06.2021	JVU LeKo	VT	26240	Upper part frame	Huokosia, roiskeita, reunahaavaa, pyörityksiä tekemättä.	1,2,3	X	+	22.06.2021	JVU LeKo	Viimeiden määrä oli pieni
159	29.06.2021	JVU LeKo	VT	26241	Upper part frame	Roiskeita, reunahaavaa, pyörityksiä tekemättä, siirron jälkiä, polttoainia hiomatta.	1,2	X	+	30.06.2021	JVU LeKo	Viimeiden määrä oli pieni
160	29.06.2021	JVU LeKo	VT	26242	Upper part frame	Roiskeita, reunahaavaa, pyörityksiä tekemättä, siirron jälkiä.	1,2	X	+	30.06.2021	JVU LeKo	Viimeiden määrä oli pieni
161	24.08.2021	JVU LeKo	VT	26973	Upper part frame	Roiskeita, jyrkkää liittymää, naarmuja.	1,2	X	+	25.08.2021	JVU LeKo	Viimeiden määrä oli pieni
162	24.08.2021	JVU LeKo	VT	26974	Upper part frame	Huokosia, polttoainia hiomatta, roiskeita, siirron jälkiä.	1,2,3	X	+	25.08.2021	JVU LeKo	Viimeiden määrä oli pieni
163	13.09.2021	JVU LeKo	VT	26676	Upper part frame	Roiskeita, huokosia.	1,3	X	+	14.09.2021	JVU LeKo	Pajon roiskeita
164	13.09.2021	JVU LeKo	VT	26677	Upper part frame	Polttoainia hiomatta, roiskeita, siirron jälkiä.	1	X	+	14.09.2021	JVU LeKo	Polttoainia hiomatta
165	13.09.2021	JVU LeKo	VT	26678	Upper part frame	Roiskeita, huokonen, pyörityksiä tekemättä, polttoainia hiomatta.	1,3	X	+	14.09.2021	JVU LeKo	Viimeiden määrä oli pieni
166	20.09.2021	JVU LeKo	VT	26845-1	Upper part frame	Huokosia, roiskeita, polttoainia hiomatta, jyrkkää liittymää, katkaisualan jälkiä, pyörityksiä tekemättä.	1,2,3	X	+	21.09.2021	JVU LeKo	Pajon pyörityksiä tekemättä
167	20.09.2021	JVU LeKo	VT	26845-2	Upper part frame	Huokosia, roiskeita, polttoainia hiomatta, jyrkkää liittymää, katkaisualan jälkiä, pyörityksiä tekemättä.	1,2,3	X	+	21.09.2021	JVU LeKo	Pajon huokosia
168	22.09.2021	JVU LeKo	VT	26969	Upper part frame	Huokosia, roiskeita, nostovingien jälkiä hiomatta.	1,3	X	+	23.09.2021	JVU LeKo	Viimeiden määrä oli pieni
169	22.09.2021	JVU LeKo	VT	26970	Upper part frame	Huokosia, roiskeita, reunahaavaa, jyrkkää liittymää.	1,2,3	X	+	23.09.2021	JVU LeKo	Sisäpuolen alareunassa yksi shu kokonaan jyrkkää liittymää
170	22.09.2021	JVU LeKo	VT	26971	Upper part frame	Huokosia, roiskeita, polttoainia hiomatta, katkaisualan jälkiä.	1,3	X	+	23.09.2021	JVU LeKo	Viimeiden määrä oli pieni

Kuva 22. (Kuvakaappaus konepajan NDT-tarkastajan taulukosta 2021)

7 KORJAAVAT TOIMENPITEET

Vikatyyppeihin mukaan määritetään onko viat systemaattisia vai yksittäistapauksia. Molemmissa tapauksissa selvitetään mahdollisuuksien mukaan virheiden juurisyyt sekä määritetään korjaavat toimenpiteet. Opinnäytetyöhön liittyvien hitsauksien virheistä valtaosa ei ollut hitsausluokan mukaan vikoja vaan johtuen vaativasta esikäsittelyn laatuasteen määräämästä laadusta ne luokiteltiin korjattaviksi virheiksi niin maaliedustajan, telakan kuin konepajan tarkastajankin mukaan.

Valtaosa konepajan hitsaajista ja viimeistelyn työntekijöistä on ohjeistettu vaaditun laadun saavuttamiseksi tarkastamaan myös omatoimisesti tuotteet ennen virallista tarkastusta. Tarkastuksesta on laadittu yrityksen sisäinen silmämääräisen tarkastuksen ohje johon on koottu tarvittavat laitteet ja tarvikkeet. Tarkastusolosuhteet on myös määritetty niin luoksepäästävyydeltään kuin valaistuksenkin voimakkuudeltaan. Tarkastuksen suorittaminen on ohjeistettu vaihe vaiheelta niin työskentely tavoiltaan kuin vaatimuksiltaankin niin että se täyttää sekä hitsausstandardin kuin pintakäsittelynkin vaatimukset.

Virallisen NDT tarkastuksen suorittaa konepajan tason 2 tarkastaja joka tekee vaadittaessa NDT pöytäkirjan.

Tarkastuspisteet on määritetty töiden ohjauskortteihin.

8 HENKILÖSTÖ

Tarkastusta suorittava henkilöstö tuntee asiaan kuuluvat standardit, ohjeet ja määräykset. Heidän on oltava tietoisia käytettävästä hitsausohjeesta ja täyttää standardin SFS-EN ISO 9712 näkövaatimukset, mikä tarkistetaan 12 kuukauden välein.

Rikkomattoman aineenkoetuksen (NDT) sovellusten tehokkuus riippuu henkilön, joka suorittaa tai vastaa testistä, suorituskyvystä, on kehitetty menetelmä huolehtia henkilöstön pätevyyden arvioinnista ja dokumentoinnista. Henkilöstön tehtävät vaativat asianmukaista teoreettista ja käytännön tietoa rikkomattomasta aineenkoetuksesta, joita he tekevät, valvovat, seuraavat ja arvioivat. Lisäkannusteena on ollut myös maailmanlaajuinen menetelmien vertailun yhteensopivuus, erityyppisten teollisten sovellusten välillä, joka vaatii yhteisiä NDT-tarkastustulkintoja ja lähestymistapoja.

Kun NDT-henkilöstöltä vaaditaan sertifiointia asetuksissa, säännöksissä, tuotestandeissa tai spesifikaatioissa, on tärkeää että suorittava henkilöstö on sertifioitu tämän kansainvälisen standardin mukaisesti.

Kun tilauksessa, lainsäädännössä tai standardissa ei ole vaatimusta NDT-henkilökunnan sertifiointista, on tällaisen henkilökunnan työnantajan päätettävä, miten varmistaa henkilökunnan työtehtäviin tarvittava pätevyys. Työnantajat voivat työllistää jo sertifioitua henkilökuntaa tai työnantaja voi soveltaa omaa osaamistaan henkilökunnan osaamisen riittävydestä tarkastustehtäviin. (SFS-EN ISO 9712, 2012)

Hyvän tarkastajan ominaisuuksiin kuuluu hyvä ammattitaito jolla tarkoitetaan tunte-
musta eri tarkastusmenetelmistä sekä mm. tietoa eri hitsausprosesseista ja niille tyypillisistä virheistä. (Hitsausuutiset 2/2001: Hitsien laatu ja hitsausvirheet. Juha Lukkari, ESAB Oy.)

9 TULOKSET

Konepajalla saavutetaan paremmin vaadittu laatutaso ja virheelliset tuotteet saadaan kiinni ennen kuin niitä toimitetaan asiakkaalle ja näin myös vältetään ulkoisilta poikkeamilta. Konepajalla on kevään aikana tehty omat tarkastusohjeet jotka ovat olleet tarkastuskierroksella kolmannella osapuolella. Tarkastusohjeet joita noudatetaan korjattiin kolmannen osapuolen tason 3 tarkastajan ohjeiden mukaan. Korjausten jälkeen ne hyväksyttiin ja otettiin käyttöön. Kuvassa 18 on esitetty osittain keväällä 2021 Kiwa Inspectan tason 3 tarkastajan hyväksymistä konepajan omista tarkastusohjeista.

Lehtonen Konepaja	Työohje / Work instruction SILMÄMÄÄRÄINEN TARKASTUS VISUAL INSPECTION		Turnus / ID NDT-1	Sivu / Page 1 / 5
			Revisio 3	18.03.2021
Laaja / Author Juha Vuorinen LeKo Oy	Hyväksynyt / Approved Mikko Lehtonen LeKo Oy	Käsitelty / Reviewed Juha Vuori Kiwa Inspecta		

SILMÄMÄÄRÄINEN TARKASTUS

Vititteet

Voimassa olevat versiot:

SFS-EN ISO 13018

SFS-EN ISO 17637

SFS-EN ISO 5817

SFS 8145

SFS-EN ISO 8501-3

SFS-EN ISO 9712

Lehtonen Konepaja	Työohje / Work instruction TUNKEUMANESTETARKASTUS PENETRANT LIQUID TEST		Turnus / ID NDT-2	Sivu / Page 1 / 7
			Revisio 3	18.03.2021
Laaja / Author Juha Vuorinen LeKo Oy	Hyväksynyt / Approved Mikko Lehtonen LeKo Oy	Käsitelty / Reviewed Juha Vuori Kiwa Inspecta		

TUNKEUMANESTETARKASTUS

Vititteet

Voimassa olevat versiot:

SFS-EN ISO 3452-1

SFS-EN ISO 23277

SFS-EN ISO 3059

Lehtonen Konepaja	Työohje / Work instruction MAGNEETTIJAUHETARKASTUS MAGNETIC PARTICLE TEST		Turnus / ID NDT-3	Sivu / Page 1 / 6
			Revisio 3	18.03.2021
Laaja / Author Juha Vuorinen LeKo Oy	Hyväksynyt / Approved Mikko Lehtonen LeKo Oy	Käsitelty / Reviewed Juha Vuori Kiwa Inspecta		

MAGNEETTIJAUHETARKASTUS

Vititteet

Voimassa olevat versiot:

SFS-EN ISO 17638

SFS-EN ISO 23278

SFS-EN ISO 3059

SFS-EN ISO 9934-1

Kuva 18. Hyväksyttyjen tarkastusohjeiden otsikkotaulut. (Riku Purra 2021)

LÄHTEET

SFS-Käsikirja 116-1:2019. Hitsien tarkastus. Osa 1: Rikkomaton aineenkoetus. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry, viitattu 10.5.2021. ”Standardien lainaukset on tehty Suomen Standardisoimisliitto ry:n luvalla”

SFS-EN ISO 23277. Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Hitsien tunkeumanestetarkastus. Hyväksymisrajat. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry, viitattu 10.11.2021. ”Standardien lainaukset on tehty Suomen Standardisoimisliitto ry:n luvalla”

SFS-EN ISO 23278. Hitsien magneettijauhetarkastus. Hyväksymisrajat. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry, viitattu 10.11.2021. ”Standardien lainaukset on tehty Suomen Standardisoimisliitto ry:n luvalla”

SFS-EN ISO 9712. 2012. Rikkomaton aineenkoetus. NDT-henkilöiden pätevänti ja sertifiointi. Yleisperiaatteet. 2012. 1. painos. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry, viitattu 10.5.2021. ”Standardien lainaukset on tehty Suomen Standardisoimisliitto ry:n luvalla”

SFS-EN ISO 3452-1. Rikkomaton aineenkoetus. Tunkeumanestetarkastus. Osa 1: Yleisperiaatteet. 2013. 1. painos. ”Standardien lainaukset on tehty Suomen Standardisoimisliitto ry:n luvalla”

Hitsausliitosten silmämääräinen tarkastus 1 ja 2, AEL opintomateriaali. viitattu 14.5.2021. Eero Toivanen.

SFS-EN ISO 17637:2016. Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Sulahitsausliitosten silmämääräinen tarkastus. (ISO 17637:2003). 2016. 2. painos. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry, ”Standardien lainaukset on tehty Suomen Standardisoimisliitto ry:n luvalla”

SFS-EN ISO 17636-1. Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Tunkeumanestetarkastus. Osa 1: Yleisperiaatteet. 2013. 1. painos. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry, ”Standardien lainaukset on tehty Suomen Standardisoimisliitto ry:n luvalla”

SFS-EN ISO 17638:2016. Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Magneettijauhetarkastus. 2016. 2. painos. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry, ”Standardien lainaukset on tehty Suomen Standardisoimisliitto ry:n luvalla”

NDT-tarkastus -käsikirja. Magneettijauhetarkastus. AEL opintomateriaali. Thomas Åström. viitattu 20.8.2021.

NDT-tekniikka. Tunkeumanestetarkastus 1 ja 2, AEL opintomateriaali. Juha Toivanen (päivitetty 17.10.2016, Henri Dolk) viitattu 14.5.2021.

Hitsausuutiset 2/2001: Hitsien laatu ja hitsausvirheet. Juha Lukkari, ESAB Oy.