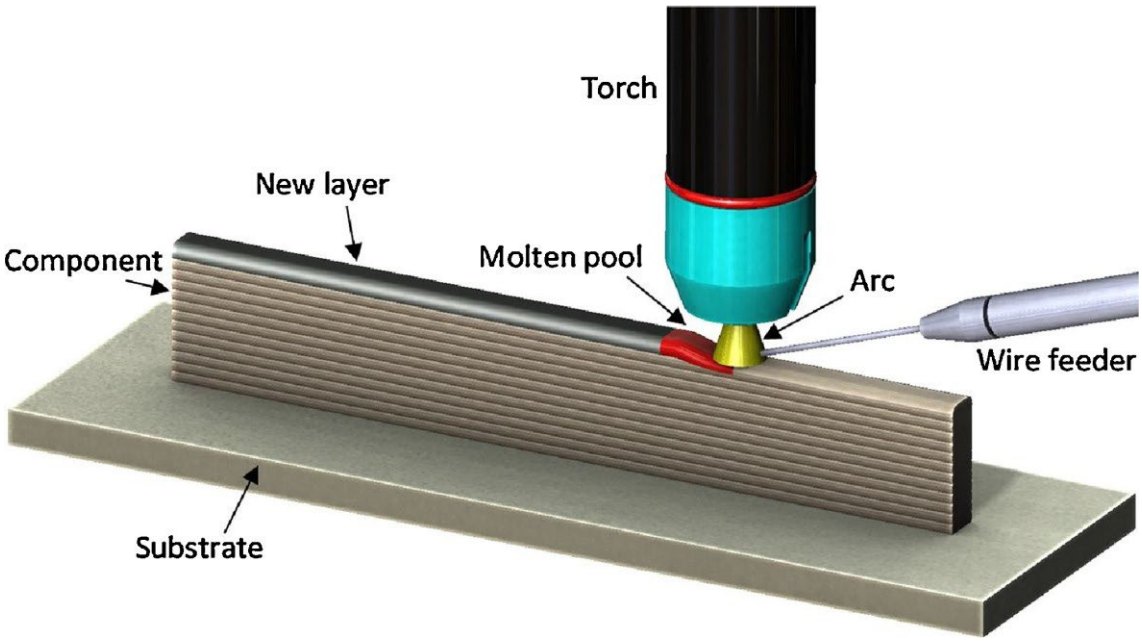
OPLITE – Optimaalista lisäarvoa teknologiasta

WAAM (WIRE ARC ADDITIVE MANUFACTURING)

Wire arc additive manufacturing (WAAM) on kehittyvä teknologia, joka yhdistää hitsauksen ja 3D-tulostuksen. Se mahdollistaa suurikokoisten metalliosien kustannustehokkaan ja materiaalitehokkaan tuotannon kerros kerrokselta. Tässä raportissa käsitellään määritelmä, menetelmä, hyödyt ja haasteet sekä esitellään aiheen ympäriltä tehty tutkimus ja laitteisto.



Kuva 1 Havainnollistus WAAM-menetelmästä

WAAM-menetelmän polku kulkee seuraavasti:

- Materiaalityyppi → Metallinen
- Yhdistämistila → Sulatila
- Raaka-aine → Lanka
- Materiaalin jakaantuminen → Pursotin
- AM-menetelmä → Materiaalin valikoiva pursotus kasvatuslevylle
- Yhdistämismenetelmä → Kaari
- Prosessiluokka → Suorakerrostus

Euroopan unionin osarahoittama

Standardi SFS-EN ISO/ASTM 52900 (2021) tarjoaa yleisen eri AM-prosessien tunnistamiseen käytettävän ohjeen, joka perustuu prosessiluokkien ja ominaisuuksien määrittämiseen.

Rakenne on seuraava:

Prosessiluokka - Prosessiominaisuus / Materiaali(t)

Tässä käytettävä menetelmä eli AM-prosessi on haponkestävän 316L:n suorakerrostus käyttäen valokaarta. Standardin mukainen määrittely ja merkintä tälle prosessille on DED-Arc/M/316L.

Menetelmä

Wire arc additive manufacturing (WAAM) on 3D-tulostusmenetelmä, joka pohjautuu automatisoituun kaarihitsaukseen. Se on yksi suorakerrostusmenetelmistä (engl. directed energy deposition). Metallilankaa syötetään hitsauspolttimen läpi, joka sulatetaan laserilla, elektronisuihkulla tai valokaarella saatavalla lämmöllä. Kappale valmistetaan sulattamalla metallia kerros kerrokselta kasvatuslevylle, kunnes haluttu 3D-muoto on saavutettu (kuva1).

Käytetyistä hitsausprosesseista MIG/MAG-hitsaus (metal inert gas / metal active gas) on käytetyin hitsausprosessi WAAM:ssa. Muita menetelmiä ovat TIG-hitsaus (tungsten inert gas) ja plasmahitsaus. Hitsaukseen liittyy paljon muuttujia ja useita prosessiparametreja on hallittava, jotta lopputuotteiden laatu olisi hyvä.

Näitä parametreja ovat muun muassa virta, jännite, suojakaasun tyyppi ja virtausnopeus, langan kärjen ja työkappaleen etäisyys, langansyöttönopeus, polttimen kulkunopeus ja kulma. Siksi jokaisen laitteen ja materiaalin kohdalla nämä parametrit on optimoitava. Oikeiden parametrien valinta vaikuttaa merkittävästi hitsauspalon leveyteen, tunkeutumiseen ja kokoon, kerrostumisnopeuteen sekä pinnankarheuteen.

Hyödyt ja haasteet

WAAM:lla on monia etuja valmistusmenetelmänä. Suuri hitsiaineentuotto, alhaiset materiaali- ja investointikustannukset, sekä kyky tuottaa suuria kappaleita ovat muun muassa menetelmän vahvuuksia. Yksinkertaisimmillaan WAAM-tulostusympäristö voidaan rakentaa hankkimalla robotti, virtalähde, hitsauspoltin ja kiinnitystarvikkeet. Laitteiston valinta on

Euroopan unionin osarahoittama

vapaa, jolloin voidaan hyödyntää eri valmistajia ja rakentaa juuri tarpeiden mukainen järjestelmä.

Tiivistetysti WAAM-menetelmän hyötyjä ovat:

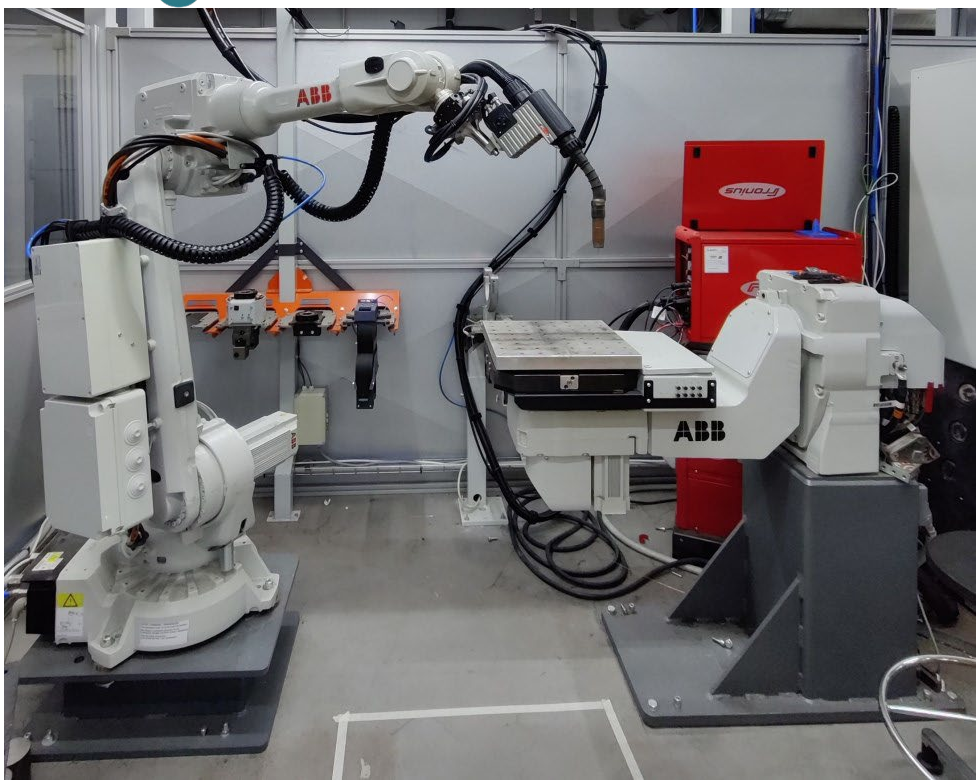
- materiaalihukkaa syntyy vähemmän verrattuna perinteisiin valmistusmenetelmiin
- suuri hitsiaineentuotto mahdollistaa nopean kappaleiden valmistuksen
- kappaleen kokoa rajaa vain robotin ulottuvuus
- tulosteiden hyvät mekaaniset ominaisuudet, joita voidaan myös parantaa jälkikäsittelyllä
- moniakselinen valmistus mahdollistaa vapauden suunnitella monimutkaista geometriaa

WAAM on kehittyvä teknologia ja sillä on myös haasteensa. Päällimmäiset haasteet liittyvät prosessin parametrien hallintaan. Hitsauksessa lämmöstä aiheutuvat jäännösjännitykset voivat muokata kappaletta ei-toivotulla tavalla. Tämä johtaa siihen, että symmetrisiä kappaleita voi olla hankalaa tuottaa.

Tiivistetysti WAAM-menetelmän haasteita ovat:

- Lämpötilanvaihtelut kappaleessa voivat aiheuttaa geometrian vääristy-mistä.
- Käytännössä kaikkia hitsattavia materiaaleja voidaan käyttää, mutta moni materiaali ei sovellu hitsaukseen.
- Toleransseihin pääseminen voi olla hankalaa.
- Kappaleet vaativat jälkikäsittelyä: koneistusta, lämpökäsittelyä.
- Monimutkaiset laitteet ja järjestelmät vaativat osaamista työntekijöiltä.

Euroopan unionin osarahoittama



Kuva 2 TAMK FieldLab robottisolussa on ABB:n IRB 2600-12/185 robotti ja IRBP A-250 pyörityspöytä

Laitteisto

Tampereen ammattikorkeakoululla on robottisolussa ABB:n IRB 2600-12/185 robotti ja saman valmistajan IRBP A-250 pyörityspöytä. Robotti on suunniteltu soveltumaan moneen tarkoitukseen, joista yksi on juuri kaarihitsaus. ABB mainostaa robottia sen tarkkuudella, ahtaammassa solussa toimimisella pienen kokonsa ansiosta ja sen pöly- ja vesitiiviydellä (IP67).

Kappaleenkäsittelijässä on kaksi akselia. Pöytää voidaan kallistaa ja levyä pyörittää loputtomasti. Pöytää voidaan käyttää kaarihitsauksessa, lämpöleikkaamisessa ja muissa kappaleenkäsittelyä vaativissa sovelluksissa. Robotti ja pyörityspöytä on esitetty kuvassa 2.

Simulointiohjelmat ja suorakerrostuksen simulointi

Adaxis AdaOne

Adaxiksen Adaone ohjelma on suunniteltu varta vasten roboteille. Ohjelmassa on robottien kinematiikka ja tällöin mahdollisuus moniakseliseen työstöratojen tekemiseen ja simulointiin. Yritys mainostaa muuttavansa robotit 3D-tulostimiksi. Muita ominaisuuksia on mahdollisuus

integroida ohjelma oikeaan robottiin ja hallita prosessia lennosta. Ohjelmistosta löytyy tuki kaarihitsaukseen, laserille, filamentin ja sementin pursotukseen.

Ansys Additive Solutions

Ansys on johtava simulointiohjelmien kehittäjä ja myyjä. Heillä on laaja kirjo ohjelmia eri fysiikan osa-alueille: rakenneanalyysi, virtauslaskenta, termodynamiikka. Heidän Additive Solutions -ohjelma tarjoaa simulointia metallien jauhepetitulostukseen, suorakerrostukseen ja sintraukseen. Suorakerrostuksen simulointiin heillä on ratkaisuja suorittaa kappaleen lämpötarkastelua, laskea jännityksiä ja muodonmuutoksia, sekä työkaluja moniakselisen valmistuksen simulointiin.

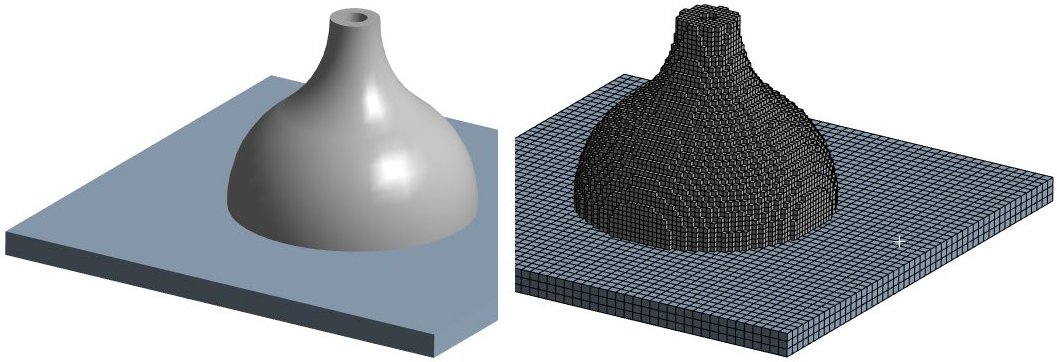
Siemens NX

Siemens tarjoaa kattavat työkalut 3D-mallien suunnitteluun, simulointiin ja valmistukseen. Enemmän koneistukseen suuntautunut, mutta löytyy myös tulostusratojen tekoon kattavasti erilaisia lisäävän valmistuksen työkaluja. Yhteensopiva monen robotinvalmistajan kanssa ja tukee moniakselisuutta. Jälkikäsittelyyn vaadittavat työstöradat voidaan tehdä helposti samalla ohjelmalla

Mallin määrittäminen

Simulaatiota varten tarvitaan kappale kasvatuslevyn päällä STEP-mallina ja G-koodi. Mallit tehtiin Siemens NX:llä.

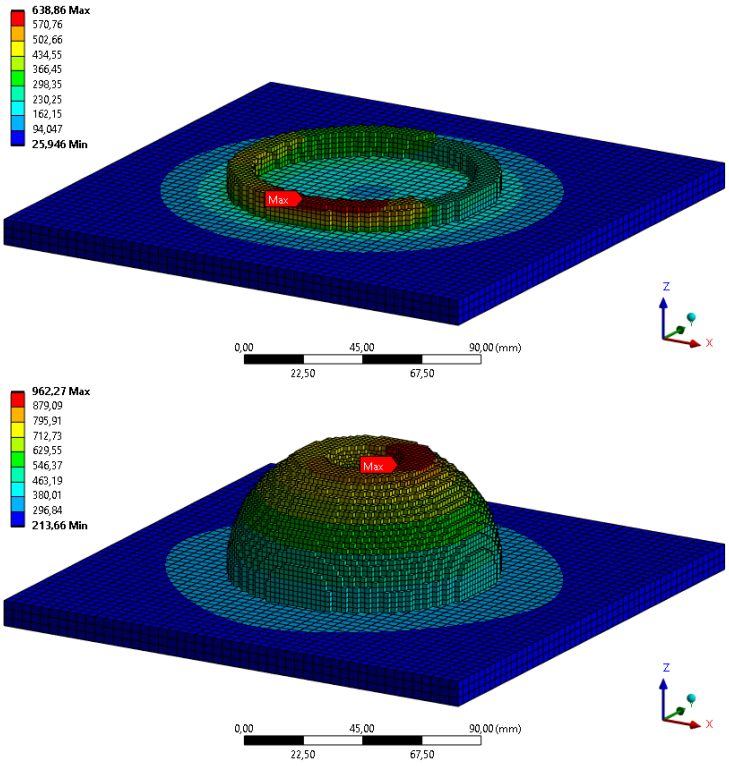
Laskenta oli laitteiston takia hyvin hidasta. Simulaatiossa geometriaa yksinkertaistettiin laskentasolmujen vähentämiseksi. Verkotukseen käytettiin karteesista eli neliöistä koostuvaa verkkoa. Elementtikokona käytettiin 3 mm tulosteelle ja 4 mm alustalle. Kuva verkotetusta kappaleesta on kuvassa 3.



Kuva 3 Kappale oikealla verkotuksen jälkeen. Kappale muodostuu pienistä elementtikuutioista

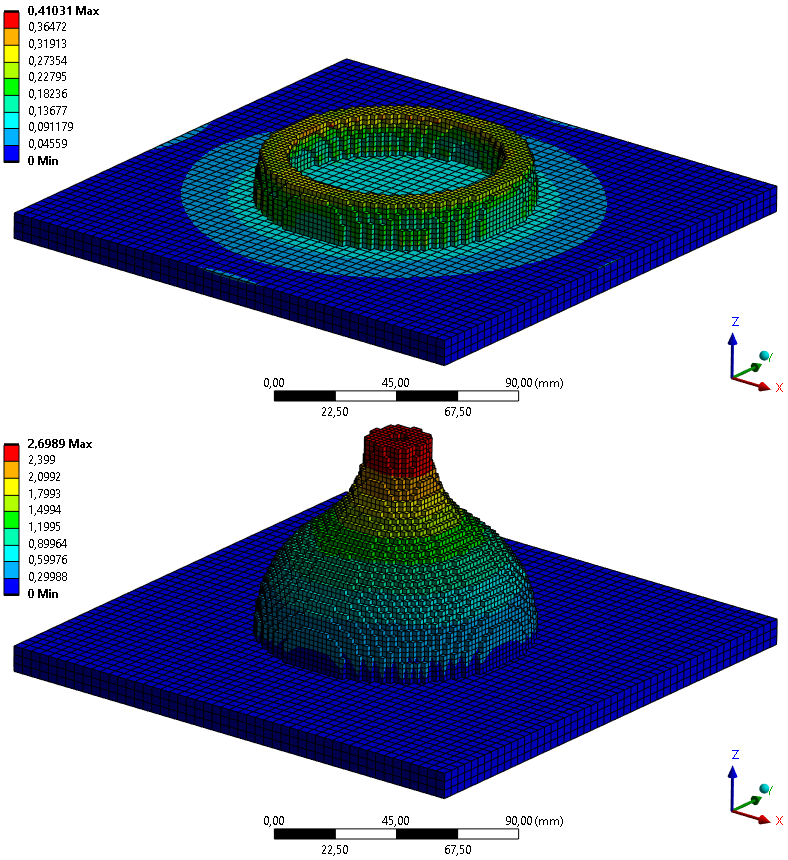
Lämpölaskenta ja siirtymät

Ensiksi täytyy laskea, kuinka paljon lämpöä johtuu kappaleeseen. Mallia on yksinkertaistettu siten, että lämpötila vaihtuu huoneenlämmöstä 1400 °C asteeseen välittömästi, kun ainetta lisätään. Yksinkertaistus nopeuttaa laskemista, mutta ei kuvaa kovin hyvin oikeaa hitsaustapahtumaa. Tuloksina saadaan paikallisia mi-nimi ja maksimi lämpötiloja. Kuvassa 4 on esitetty kahden eri ajankohdan tulokset.



Kuva 4 kappaleen lämpötila nousee, mitä pidemmälle tulostus etenee. Kuvan yksikkö on celsiusaste (°C)

Lämpölaskenta on vasta ensimmäinen osa. Seuraavaksi lasketaan lämmöstä aiheutuvat siirtymät kappaleessa. Tuloksista haetaan viitteitä kappaleiden tulostuksen epäonnistumiseen. Empiirinen kokemus on osoittanut tulosteiden sulavan ja romahtavan helposti, kun ajetaan liian nopeasti liian pientä kappaletta.



Kuva 5 Muodonmuutoksia tulostuksen eri vaiheissa. Kuvan yksikkö on millimetri (mm)

Metallit tunnetusti laajenevat lämmetessään. Tuloksina saadaan kappaleeseen syntyvät muodonmuutokset suorakerrostuksen aikana ja tunti lopettamisen jälkeen, kun kappale jäähtyy. Kuvassa 5 näkyy muodonmuutosten arvoja tulostuksen aikana ja lopussa.