



2014

Otsoni ja terveyshaitat hitsauksessa

OY WOIKOSKI AB

EERO ASPBERG

WOIKOSKI	JÄRVENPÄÄ	PIRKKALA	OULU	TURKU	VARKAUS	KOTKA	IMATRA	KOKKOLA
PL 1,	PL 1,	PL 1,	PL 1,	PL 1,	PL 1,	PL 1,	PL 1,	PL 1,
52020 Woikoski	04020 Woikoski	33020 Woikoski	90020 Woikoski	20020 Woikoski	78020 Woikoski	48020 Woikoski	55020 Woikoski	67020 Woikoski
p. 040 166 2023	p. 040 166 2005	p. 040 166 2001	p. 040 166 2006	p. 040 166 2007	p. 040 166 2030	p. 040 166 2040	p. 040 166 2020	p. 040 166 2015
info@woikoski.fi	jarvenpaa@woikoski.fi	pirkkala@woikoski.fi	oulu@woikoski.fi	turku@woikoski.fi	varkaus@woikoski.fi	kotka@woikoski.fi	imatra@woikoski.fi	kokkola@woikoski.fi



Käytetyt lyhenteet

HTP	Haitalliseksi tunnettu pitoisuus
MIG/MAG	<i>Metal inert gas, Metal active gas</i> , lisäainelankaa käyttävä kaasukaarihitsausmenetelmä
nm	Nanometri
NO _x	Typen oksidit; typpimonoksidi (NO) ja typpidioksidi (NO ₂) yhteenlaskettuna
ppm	Miljoonasosa, <i>parts per million</i>
TIG	<i>Tungsten inert gas</i> , volframielektrodia käyttävä kaasukaarihitsausmenetelmä
UV	Ultravioletti



Johdanto

Valokaarihitsauksessa syntyy aina väistämättä haitallisia päästöjä, kuten kiinteitä partikkeleita ja erinäisiä kaasuja. Nämä muodostuvat hitsausprosessin korkean lämpötilan ja ultraviolettisäteilyn vaikutuksesta vaihtelevissa määrissä, riippuen paljolti hitsattavasta materiaalista, käytettävästä hitsauslangasta ja valitusta suojavaasusta. Hitsatessa syntyviin kaasuihin kuuluvat mm. hiilimonoksidi (CO), typpimonoksidi (NO) ja -dioksidi (NO₂) sekä kaasumaisia fluorideja, jotka voidaan kaikki mitata luotettavasti ja tarkasti. Näiden lisäksi syntyy usein otsonia (O₃), joka sen sijaan on hyvin hankala mitata luotettavasti. Kaikki nämä ovat kuitenkin ihmiselle haitallisiksi tunnettuja aineita. (Lyttle, 1997) (Meoos & Al-Khlaiwit, 2003) (Mustafa & Tierney, 1978) (Schoonover; Conroy; Lacey; & Plavka, 2011)

Otsoni, O₃

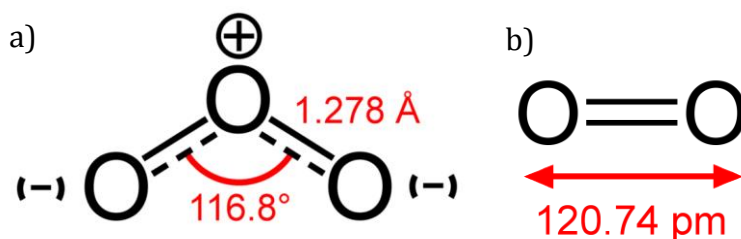
Otsoni poikkeaa muista syntyvistä kaasuista siinä, että se ei synny termisen tai kemiallisen reaktion tuotteena vaan ultraviolettisäteilyn (UV) vaikutuksesta ilman happimolekyyleihin. Ultraviolettisäteily on sähkömagneettista säteilyä, jonka aallonpituus on 10-400 nm (näkyvän valon aallonpituus on n. 350-700 nm). Ultraviolettisäteilyä on mm. auringonvalossa, mutta sitä syntyy huomattava määrä myös hitsauksessa käytettävässä valokaaressa. Hapesta otsonia muodostaa vain säteily, jolla on oikea energia. Tämän säteilyn aallonpituus on välillä 130-240 nm (Lyttle, 1997), joka ei ole näkyvän valon alueella eikä siis ole paljain silmin havaittavissa.

Valokaaressa syntyvä ultraviolettisäteily leviää valokaaresta poispäin samalla tavalla kuin näkyvänä kirkkaan sinisenä valonakin havaittava sähkömagneettinen säteily. Siispä, koska ultraviolettisäteily ei rajoitu vain valokaaren välittömään läheisyyteen, otsonia syntyy myös muualla kuin vain valokaaren lähellä. Tutkimusten mukaan 50-66 % hitsatessa syntyvästä otsonista on hitsauskohteesta nousevassa kaasupilvessä, ja loput syntyy jopa 2 metrin etäisyydellä valokaaresta. (Lyttle, 1997)

Otsoni on poikkeava aine myös siksi, että se on epästabiili molekyyli. Tämä tarkoittaa sitä, että se hajoaa helpokkosti ja nopeasti muiden kaasujen ja kiinteiden partikkeleiden kanssa törmätessään ja reagoidessaan. Tämä johtuu siitä, että otsonin



kolmen happiatomin muodostama molekyyli (Kuva 1a), vaikkakin pystyy muodostumaan, on kemiallisesti epäsuosiollinen tila. Kolmas happiatomi siis reagoi hyvin mielellään toisen aineen kanssa, jolloin jäljelle jää vain kemiallisesti suosiollinen ja stabiilimpi kahdesta happiatomista koostuva happimolekyyli (Kuva 1b).



Kuva 1. Otsonimolekyyli, O_3 (a) ja happimolekyyli, O_2 (b).

Hitsausprosessin muuttujat vaikuttavat huomattavasti syntyvään otsonin määrään. Kaarimuodolla on ehkä merkittävin yksittäinen vaikutus otsoninmuodostukseen, sillä kaaren muuttuessa lyhytkaaresta kuumakaareen muodostuvan otsonin määrä moninkertaistuu. Otsonia syntyy myös yleisesti enemmän kun kaaren jännite (*arc voltage, arc length*) tai virta (*arc current*) kasvaa. Tämä johtuu siitä, että jännitettä tai virtaa kasvatettaessa myös ultraviolettisäteilyä syntyy enemmän. Metallihöyryt valokaareissa lisäävät myös otsonin muodostusta, sillä tällöinkin syntyy enemmän ultraviolettisäteilyä. Tämä tarkoittaa sitä, että MIG/MAG-hitsauksessa otsonia syntyy tavanomaisesti enemmän kuin TIG-hitsauksessa. Lisäksi mm. pii (Si) alumiinilangan täyteaineena (AlSi5) lisää samasta syystä otsoninmuodostusta verrattuna piittömään seoslankaan (AlMg4.5Mn). Muista muuttujista poiketen, lisääntyvä partikkelimäärä vähentää otsoninmuodostusta. Tämä johtuu siitä, että ultraviolettisäteily voi törmätä myös partikkeleihin, jolloin ultraviolettisäteily menettää energiaansa, eikä voi enää aiheuttaa otsonin muodostumista. Toisin sanoen todennäköisyys, että ultraviolettisäteily osuu happimolekyyliin, pienenee kun partikkelimäärä kasvaa. Tästä syystä pulssitetun jännitteen käyttö lisää otsonimäärää, koska se vähentää partikkelimäärää. (Lyttle, 1997)

Hitsatessa muodostuvan otsonin määrä on prosessin aluksi tyypillisesti suurempi, kunnes hitsauksen jatkuessa ilman tuestä ja hapestä myös muodostuva typpimonoksidi reagoi otsonin kanssa typpidioksidiksi ja hapeksi, ja siten siis

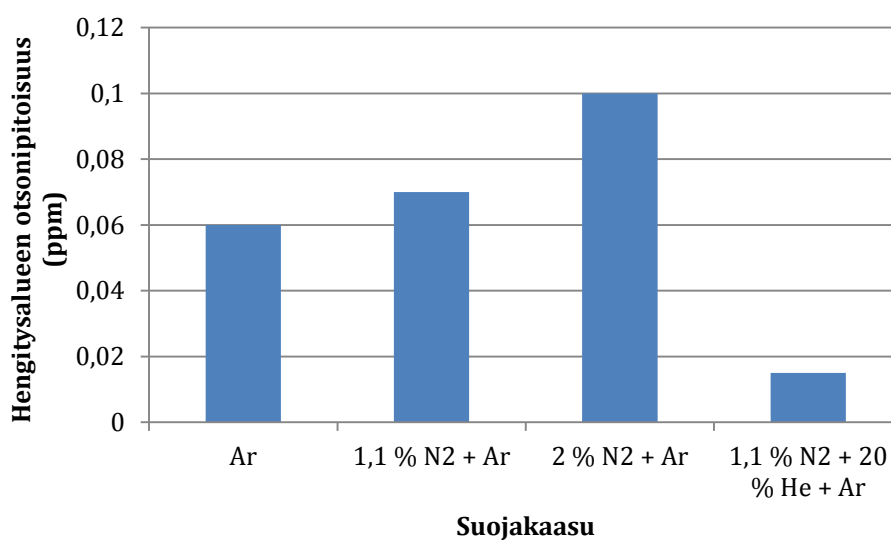


itsestään vähentää ympäröivässä ilmassa olevaa otsonin määrää. (Lyttle, 1997) Mikäli suojakaasussa on typpeä, se kasvattaa typpimonoksidin muodostumista. (United States Department of Labor, Occupational Safety & Health Administration, 2014)

Suojakaasun merkitys

Hitsausprosessin muuttujien lisäksi otsoninmuodostukseen on huomattava vaikutus käytetyllä kaasuvirtauksella, ilman syrjäyttämisen tehokkuudella ja suojakaasun koostumuksella. Mm. kaasusuuttimen koon pienentäminen vähentää otsoninmuodostusta, mutta liian suuri, turbulenttinen virtaus heikentää ilman syrjäyttämisen tehokkuutta ja siten lisää otsonin määrää. Hitaampi, laminaarinen virtaus syrjäyttää ilman tehokkaammin ja siis suojaa otsonilta tehokkaammin. (Lyttle, 1997)

Koska otsoninmuodostus riippuu huomattavasti valokaaressa syntyvän tietyn aallonpituuden ultraviolettisäteilyn määrästä, tehokkain tapa estää otsoninmuodostusta on muuttaa valokaaresta syntyvän säteilyn koostumusta. Tähän voidaan vaikuttaa valitsemalla sopiva suojakaasu. Erään tutkimuksen mukaan typen (N_2) lisääminen argonsuojakaasuun (Ar) lisää myös otsonin määrää. Sen sijaan, vaikka typpeä olisi argonin seassa, mutta sekaan on lisätty myös heliumia (He), otsonin määrä putoaa dramaattisesti (Kuva 2). (Lyttle, 1997)





Kuva 2. Käytetyn suojakaasun vaikutus hengitysalueen otsonipitoisuuteen. (Lyttle, 1997)

On myös mahdollista käyttää otsonin kanssa reagoivia suojakaasuja ja ainesosia, kuten hiilidioksidi (CO_2) ja happi (O_2). Näiden lisääminen yleisesti vähentää otsonin määrää. Pelkistävässä suojakaasuissa käytetty vety (H_2) vähentää myös otsonin määrää, sillä se paitsi muuttaa syntyvän ultraviolettisäteilyn määrää, myös reagoi otsonin kanssa muodostaen vesihöyryä (H_2O) ja happea. Tarkoitukselliset pienten määrien lisäämiset mm. typpimonoksidia hitsauskaasuun vaikuttavat jonkin verran otsonin määrään, riippuen siitä mistä näytteet mitataan (Eurooppa Patenttinro EP 0020174 A1 19801210, 1980). Lisäämisestä saadut hyödyt on kuitenkin todettu kyseenalaisiksi, sillä vaikka mm. typpimonoksidi reagoikin otsonin kanssa, se ja reaktiotuote (typpidioksidi) ovat itsessään myrkyllisiä ja stabiilimpia (pidempikestoisia) kuin otsoni. Lisäksi suojakaasun lisäaineet eivät vaikuta oleellisesti hitsaajan hengitysilman otsonin määrään, joka syntyy ultraviolettisäteilyn vaikutuksesta suojakaasun ulkopuolella. Typpimonoksidia syntyy valokaaren vaikutuksesta hitsausprosessissa muutenkin, jos tyypeä on läsnä, joko suojakaasussa tai ilmasta. Typpimonoksidin lisääminen suojakaasuun on myös taloudellisesti haitallista, sillä typpimonoksidia sisältävää suojakaasua käytettäessä on käytettävä ruostumattomasta teräksestä tehtyjä kaasuputkia ja laitteita. Muussa tapauksessa putket ja laitteet syöpyvät käyttökelvottomiksi ja mahdollisesti vaarallisiksi ajan myötä, ellei niitä aktiivisesti seurata. (Lyttle, 1997) (Beyer;Gohl;Hentschel;& Spiegel-Ciobanu, 2002) (United States Department of Labor, Occupational Safety & Health Administration, 2014)

Altistus haitallisille aineille

Otsonin haitalliseksi tunnettu pitoisuus (HTP) hengityksen kautta altistuttaessa on 8 h altistuksessa 0,05 ppm ja 15 min altistuksessa 0,2 ppm. (Sosiaali- ja terveysministeriön asetus haitallisiksi tunnetuista pitoisuuksista, 2011) Jo asiallinen kohdepoisto hitsauspisteessä riittää vähentämään otsonialtistusta alle 0,1 ppm pitoisuuteen. (Lunau, 1967). Kuten on todettu, suojakaasulla voidaan vaikuttaa merkittävästi otsonin määrään. Kuvassa 2 osoitetaan, että hengitysalueelta mitattuna



kaikki suojakaasut täyttävät tämän vaatimuksen 15 min altistukselta, mutta vain typpeä, heliumia ja argonia sisältävä suojakaasu sopii 8 h altistustapauksiin.

Suojakaasujen lisäaineina käytettävien typpimonoksidin ja sen vuoksi syntyvän typpidioksidin HTP-arvot on esitetty taulukossa 1. Kuten taulukosta nähdään, typpimonoksidille ei ole 15 min altistuksen pitoisuutta, mutta sekä typpimonoksidin että typpidioksidin raja-arvot ovat asetuksen mukaan sitovia.

Tiedetään, että kun suojakaasuun sekoitetaan typpimonoksidia, se reagoi paitsi otsonin, myös ilman hapen kanssa välittömästi typpidioksidiksi. Jos suojakaasuun sekoitetaan 0,03 % eli 300 ppm typpimonoksidia ja se reagoi hitsatessa syntyvän otsonin ja ilman hapen kanssa, se tarkoittaa että hitsatessa syntyy 300 ppm typpidioksidia. Koska typpidioksidin HTP-arvot ovat 3 ppm ja 6 ppm altistuksen ollessa 8 h ja 15 min, voidaan todeta että teoreettinen altistus typpidioksidista on 100- tai 50-kertainen sitoviin rajoihin verrattuna. Käytännössä hitsaaja altistuu vain osalle tästä kaasusta, mutta ylitys on niin huomattava, että se asettaa typpimonoksidin käytön hitsauskaasun seosaineena kyseenalaiseksi työterveydellisestä näkökulmasta.



Taulukko 1. Haitallisiksi tunnetut pitoisuudet tietyille epäpuhtauksille (Sosiaali- ja terveysministeriön asetus haitallisiksi tunnetuista pitoisuuksista, 2011).

	HTP 8 h	HTP 15 min
Otsoni (O ₃)	0,05 ppm	0,2 ppm
Typpimonoksidi (NO)	25 ppm	-
Typpidioksidi (NO ₂)	3 ppm	6 ppm

On myös osoitettu, että typen oksidien (NO_x) ja otsonin keskimääräinen altistus hitsaavien ja muiden työntekijöiden välillä oli samankaltainen, riippumatta siis heidän työtehtävästään. Korkeimmat mitatut altistukset olivat 0,22 ppm typpidioksidia ja 0,02 ppm otsonia. (Schoonover;Conroy;Lacey;& Plavka, 2011). Tässä tutkimuksessa suurimmatkin mitatut altistukset ovat siis kyseisten aineiden osalta alle 8 h HTP-arvojen. Toisessa tutkimuksessa suurin mitattu otsonipitoisuus oli 0,195 ppm, eli niukasti 15 min HTP-arvon alapuolella, mutta tässä ei mitattu typpidioksidia. (Liu;Wu;& Chen, 2007)

Altistuksia mitattaessa ja verrattaessa on aina otettava huomioon, että hitsauksen yhteydessä tapahtuvissa altistustapauksissa on lukuisia muuttujia, hitsaustavasta, hitsauslangasta ja suojakaasusta lähtien aina ympäristöön, suojarusteisiin ja kohdepoistoon. Näiden vuoksi tulokset on aina käsiteltävä tapauskohtaisesti.



Yhteenveto

Valokaarihitsaukseen liittyy huomattavia ja hyvin tunnettuja terveysriskejä. Kaikkein paras keino suojautua hitsaustyötä tehdessä on käyttää aina asianmukaisia suojavarusteita sekä kohdepoistoa ja siten kokonaan välttää altistus väistämättä syntyville haitallisille päästöille, kuten mm. typen oksideille (NO_x), hiilimonoksidille (CO) ja otsonille (O_3), sekä metallipartikkeleille.

Otsoni on ihmisille erittäin myrkyllinen aine jo hyvin pienissä pitoisuuksissa, ja sen muodostumiseen hitsatessa voidaan vaikuttaa vähentävästi useilla eri tavoilla, kuten pienentämällä valokaaren jännitettä ja käyttämällä lyhytkarta, sekä valitsemalla sopiva suojakaasu. Suojakaasusta puhdas helium on teknisesti kaikkein paras vaihtoehto. Paras tekninen ja taloudellinen kompromissi, jota voidaan varauksetta suositella otsoninmuodostuksen hillitsemiseen, on kuitenkin argon, johon on lisätty heliumia (30 % He+Ar). Myös mm. hiilidioksidi ja vety ovat jonkin verran hyödyllisiä otsoninmuodostusta estettäessä.

Sen sijaan pienten määrien lisäämisestä typpimonoksidia hitsauskaasuun saadut hyödyt on todettu kyseenalaisiksi, sillä vaikka mm. typpimonoksidi reagoikin otsonin kanssa, se ja reaktiossa syntyvä typpidioksidi ovat itsessään myrkyllisiä ja stabiilimpia (pidempikestoisia) kuin otsoni. Lisäaineena käytetyn typpimonoksidin määrä (300 ppm) aiheuttaa myös sen, että suojakaasussa esiintyvät pitoisuudet ovat moninkertaisia haitallisiksi tunnettuihin pitoisuuksiin ja verrattuna suojakaasuun, johon ei ole lisätty typpimonoksidia. Lisäksi lisäaineena oleva typpimonoksidi ei vaikuta oleellisesti hitsaajan hengitysilman otsonin määrään, sillä typpimonoksidia syntyy hitsausprosessissa väistämättä jo muutenkin otsonia vähentäviä määriä. Esitettyjen tulosten valossa onkin aiheutta kysyä, miksi Pohjoismaissa käytetään suojakaasuja, joihin on lisätty typpimonoksidia, kun muualla näiden käyttö on, mm. edellä mainituista syistä, hyvin vähäistä.

Alumiinia hitsatessa suositellaan käytettävän lankoja, joissa ei ole käytetty täyteaineena piitä (Si).



Lähdeluettelo

- Bennett, B. J. (1980). *Eurooppa Patenttinro EP 0020174 A1 19801210*.
- Beyer, A.;Gohl, H.;Hentschel, K.;& Spiegel-Ciobanu, V. (2002). *Literaturreport zum Thema "Ozon beim Schweissen und bei verwandten Verfahren" angefertigt im Rahmen eines europäischen Projekts zum Thema Ozon*. Mainz, Saksa: Berufgenossenschaft Metall Nord Süd.
- Liu, H.;Wu, Y.;& Chen, H. (2007). Production of ozone and reactive oxygen species after welding. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 53(4), 513-518.
- Lunau, F. W. (1967). Ozone in Arc Welding. *Annals of Occupational Hygiene*, 10(3), 175-188. doi:10.1093/annhyg/10.3.175
- Lyttle, K. A. (1997). *Understanding Ozone In Gas-Shielded Arc Welding*. Praxair.
- Meoos, S.;& Al-Khlaiwit, T. (2003). Health hazards of welding fumes. *Saudi Med J*(11), 1176-1182.
- Mustafa, M. G.;& Tierney, D. F. (1978). Biochemical and Metabolic Changes in the Lung with Oxygen, Ozone and Nitrogen Dioxide Toxicity. *American Review of Respiratory Disease*, 118, 1061-1090.
- Schoonover, T.;Conroy, L.;Lacey, S.;& Plavka, J. (2011). Personal exposure to metal fume, NO₂, and O₂ among production welders and non-welders. *Industrial health*, 49(1), 63-72.
- Sosiaali- ja terveystieteiden tutkimuskeskus asetusta haitallisiksi tunnetuista pitoisuuksista. (29. 11 2011). 1213/2011. Helsinki, Suomi.
- United States Department of Labor, Occupational Safety & Health Administration. (11. Helmikuu 2014). *Welding Health Hazards*. Noudettu osoitteesta Construction Safety and Health Outreach Program: www.osha.gov/doc/outreachtraining/htmlfiles/weldhlth.html