

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

LUT School of Energy Systems

LUT Kone

BK10A0401 Kandidaatintyö ja seminaari

VALSSIEN KÄYTETTÄVYYS JA KUNNOSSAPITO TERÄSTEHTAASSA

SERVICEABILITY AND MAINTENANCE OF ROLLING ROLLS IN STEELWORKS

Lappeenrannassa 28.3.2016

Petri Auvinen

Tarkastaja Professori Jukka Martikainen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
LUT School of Energy Systems
LUT Kone

Petri Auvinen

Valssien käytettävyys ja kunnossapito terästehtaassa

Kandidaatintyö

2016

42 sivua, 6 kuvaa ja 1 liite

Tarkastaja: Professori Jukka Martikainen

Hakusanat: kuumavalssaus, kylmävalssaus, nauhavalssaus, valssi, terästehdas, kunnossapito

Valssi on valssauslaitteiston keskeinen komponentti. Valssauksessa aihiota muokataan kuljettamalla sitä kahden valssin muodostaman raon välistä. Valssit altistuvat valssausprosessissa korkealle lämpötilalle ja pintapaineelle.

Valseille asetettavat vaatimukset tiukkenevat tuottavuuden vaatimusten kiristyessä. Valssit, yhtenä valssauslaitteiston komponenteista, muodostavat suuren osan valssauksen kustannuksista, joten valssien käyttöiän pidentämisen avulla voidaan parantaa valssauksen tuottavuutta ja kustannustehokkuutta. Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin valssien käytettävyttä ja kunnossapitoa, sillä näitä asioita kehittämällä on mahdollista saavuttaa valsseille pidempi kestoikä.

Tutkimus toteutettiin kirjallisuusselvityksenä, jota täydennettiin valssausta tekevien yritysten haastatteluilla. Tavoitteena oli kerätä saatavissa oleva kirjallinen ja hiljainen tieto yksiin kansiin ja tutkia mahdollisia syy-seuraussuhteita valssien käytettyyteen vaikuttavien ilmiöiden sekä valssien kulumisen ja vaurioitumisen välillä.

Tutkimuksessa havaittiin, että vauriotyypit ovat riippuvaisia valssausprosessista, jolla tarkoitetaan, että kuuma- ja kylmävalssauksessa esiintyy erilaisia vauriotyyppejä. Kuuma- ja kylmävalssauksessa myös valssien kulumiseen vaikuttavat erilaiset ilmiöt. Valssien kulumista ja vaurioita on mahdollista ehkäistä erilaisilla pintakäsittely- ja pinnoitusmenetelmillä.

Valssien kunnossapidon toteutusta tutkittaessa havaittiin, että kuluneiden valssien vaihto kunnostettuihin pyritään suorittamaan mahdollisimman nopeasti ja tätä varten on saatavilla kyseiseen tarkoitukseen kehitettyjä laitteistoja. Kuluneet valssit sorvataan ja hiotaan, jotta niiden pinnasta saadaan tasainen ja saavutetaan haluttu halkaisija. Tämän jälkeen pinnoitusmenetelmiä on mahdollista suorittaa uudelleen. Kunnossapitotoimenpiteet tehdään joko yrityksen omalla korjaamolla tai alihankintana toisen yrityksen tiloissa.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
LUT School of Energy Systems
LUT Mechanical Engineering

Petri Auvinen

Serviceability and maintenance of rolling rolls in steelworks

Bachelor's thesis

2016

42 pages, 6 figures and 1 appendix

Examiner: Professor Jukka Martikainen

Keywords: hot rolling, cold rolling, strip mill, rolling mill roll, steel mill, maintenance

Rolling roll is a key piece of equipment in rolling mill. In rolling, a billet is worked by squeezing it through a gap formed by a pair of rolls. In the process, rolls are subjected to high temperatures and surface pressures.

Development of rolling processes and increasing demands for productivity raise the requirements for rolling mill rolls. Rolls produce a high percent of costs in rolling process and it is possible to increase productivity and profitability of steelworks by paying attention to lengthening the life cycle of rolling mill rolls. In this paper, the serviceability and maintenance of rolling mill rolls were studied as they affect the life cycle of rolls.

Main research method in this paper was literature review which was accompanied by interviews from companies that produce steel products by rolling. The aim was to combine the available information from literature and silent knowledge existing in companies and to study the causality between roll usage and damage.

It was found that the type of roll damage is dependent on the rolling process, meaning that the damage in hot and cold rolling is usually different. Also the phenomena causing wear is different in hot and cold rolling. It is possible to reduce the wear and damage of rolls by applying surface treatment or coating.

The replacement of worn rolls is usually done such as it causes minimal interruption to the rolling process and there are specialized equipment available for this purpose. Worn rolls are turned and ground so that a smooth surface and desired diameter is achieved. After this it is possible to apply coating and surface finishing again if deemed necessary. Roll maintenance is usually done in company's own repair shop or it is possible to buy maintenance services from equipment manufacturers.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO.....	6
1.1	Tutkimuksen tausta ja motivaatio	6
1.2	Tutkimuksen tavoite, rajaus ja rakenne	6
1.3	Tutkimusongelma ja -kysymykset	7
1.4	Tutkimusmenetelmät	7
2	TUTKIMUSMENETELMÄT	9
2.1	Kirjallisuusselvityksen toteutus	9
2.2	Haastattelujen toteutus	10
3	VALSSAUS.....	11
3.1	Kuumavalssaus	11
3.2	Kylmävalssaus	12
4	VALSSI.....	13
4.1	Valssin materiaali ja seosaineet	14
4.2	Valssin pintakäsittely	14
4.2.1	Lämpökäsittely.....	14
4.2.2	Kromaus.....	15
4.2.3	Pinnoitushitsaus	15
4.2.4	PVD-pinnoitus	17
4.3	Valssien pinnan kestoikä	17
5	VALSSIEN KÄYTETTÄVYYS	18
5.1	Valssien taipuminen.....	18
5.2	Lämpövaikutukset.....	19
5.3	Värähtely.....	20
5.4	Väsyminen	20
5.4.1	Mekaaninen väsyminen	21
5.4.2	Lämpöväsyminen.....	21

5.5	Kuluminen	21
5.5.1	Adhesiivinen kuluminen	21
5.5.2	Abrasiivinen kuluminen	22
6	VAURIOMUODOT.....	23
6.1	Säröily	23
6.2	Lohkeilu	24
6.3	Pinnanlaadun heikkeneminen	25
7	KUNNOSSAPITOMENETELMÄT	26
7.1	Kunnonseuranta	26
7.2	Jäähdytys.....	27
7.3	Voitelu	27
7.4	Pinnan sorvaus ja hionta	27
7.5	Pinnan uusiminen.....	28
8	KUNNOSSAPIDON SUORITUS.....	29
8.1	Valssien vaihtaminen ja varastointi	29
8.2	Kunnossapidon järjestäminen	30
9	CASE-TAPAUKSET	31
9.1	SSAB Raahe	31
9.2	Outokumpu Stainless Tornio	32
9.3	Ovako Imatra	33
10	POHDINTA.....	34
10.1	Vertailu kirjallisuusselvityksen ja case-tapausten välillä	34
10.2	Tutkimuksen objektiivisuus.....	34
10.3	Tutkimustulosten luotettavuus ja oikeellisuus.....	35
10.4	Johtopäätökset.....	35
10.5	Tulosten uutuusarvo ja hyödynnettävyys	36
10.6	Jatkotutkimusaiheet	36
11	YHTEENVETO	37
	LÄHTEET	38
	LIITTEET	

LIITE I: Yrityksille esitetyt kysymykset.

1 JOHDANTO

Valssaus on muun muassa teräslevyjen, -tankojen ja -profiilien valmistuksessa käytetty menetelmä. Siinä valettua aihiota rullataan valsseista koostuvan valssaimen läpi, jolloin aihio, käytetyn valssin geometriasta riippuen, ohenee tai sen profiili muuttuu. Valssin geometria riippuu siitä millaista tuotetta valmistetaan.

Valssaus jaetaan kuumavalssaukseen ja kylmävalssaukseen. Kuumavalssaus suoritetaan ennen kylmävalssausta ja sillä saavutetaan nauhaa valssatessa noin viiden millimetrin minimipaksuus. Kylmävalssausta tehdään, kun tavoitellaan tätä ohuempaa paksuutta tai halutaan äärimmäistä mittatarkkuutta. Nämä kaksi menetelmää vaikuttavat eri tavoin syntyvään mikrorakenteeseen. (Kalpakjian & Schmid, 2010, s. 316–317.)

1.1 Tutkimuksen tausta ja motivaatio

Valssauslaitteiston osista valssit muodostavat suurimman osan valssauksen kustannuksista, sillä ne ovat kalliita ja kriittisiä osia valssausprosessin jatkuvuuden kannalta. Valssit joutuvat prosessissa suurten kuormitusten, kulumisen ja lämpövaikutusten alaisiksi. Tämän vuoksi ne kuluvat nopeasti ja niitä on vaihdettava usein. Valsseja täytyy tämän vuoksi pitää suuri määrä varastossa, jolloin niihin sitoutuu paljon pääomaa. (Colás et al., 1999, s. 56.)

Valssauksen seisokeista jopa 25 % johtuu valssien vaurioitumisesta tai kunnostustarpeesta (Shebanits et al., 2012, s. 613). Kiristyvien tuotannon tehokkuudelle asetettavien vaatimusten myötä valssien toimintaa tulisi tarkastella etenkin niiden kestoian kehittämisen näkökulmasta. Tämän vuoksi niiden kunnossapitoon ja käytettävyyteen tulee kiinnittää huomiota.

1.2 Tutkimuksen tavoite, rajaus ja rakenne

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on selvittää valssien käytettävyyteen ja kunnossapitoon vaikuttavia tekijöitä. Työ on aiheeseen liittyvä yleiskatsaus, jolla pyritään luomaan laaja kuva valssin toimintaan liittyvistä asioista. Tavoitteena on koota yhteen aiheeseen liittyvää kirjallisuutta ja käytännön tietoa, joita pohditaan työn loppupuolella. Työn aihe on rajattu koskemaan terästehtaiden nauhavalssauksessa käyttämiä työvalsseja.

Työssä tarkastellaan ensin valssia osana valssausprosessia ja tutustutaan sen käytettävyyteen vaikuttaviin ilmiöihin. Tämän jälkeen esitetään mahdollisia valssin kunnossapitomenetelmiä ja tutkitaan miten kunnossapitoa käytännössä suoritetaan. Haastattelujen avulla muodostettujen case-tapausten kautta tutkitaan, miten yritykset hoitavat valssien kunnossapidon ja mitä menetelmiä käytetään.

1.3 Tutkimusongelma ja -kysymykset

Valssaus on yksi tärkeimmistä teräksen valmistusmenetelmistä, mutta valssauslaitteiston käytettävyydestä ja kunnossapidosta ei löydy julkisesti saatavilla olevaa koottua tietoa. Aiheesta on saatavilla pääasiassa tutkimuksia, joissa yksittäisiä menetelmiä ja vauriomuotoja on tutkittu. Esimerkiksi Prasad et al. (2005) ovat tutkineet valssien lohkeamista, Sudipta & Shylu (2007) ovat tutkineet jäähdytysnesteen vaikutusta ja Joos et al. (2007) ovat tutkineet oksidikerroksen vaikutusta valssin kulumiseen. Yritysten sisällä oleva tieto valssien kunnossapidosta puolestaan siirtyy hiljaisena tietona työntekijältä toiselle, eikä näin ole avoimesti saatavilla. Tutkimusongelma on siis se, että aiheeseen liittyvä tieto on hajaantunut eri lähteisiin tai on yritysten sisäistä hiljaista tietoa.

Tutkimuskysymykset on luotu tutkimusongelman pohjalta ja tavoitteena on, että näihin kysymyksiin vastaamalla löydetään ratkaisu tutkimusongelmaan eli saadaan koottua aiheeseen liittyvä tieto yksiin kansiin. Tutkimuskysymyksiä tässä työssä ovat seuraavat:

1. Miksi valssit kulumat ja vaurioituvat?
2. Miten kulumista ja vaurioita voidaan ehkäistä?
3. Miten kunnossapitoa valsseille suoritetaan?

1.4 Tutkimusmetodit

Työ on kirjallisuusselvitys, jossa tutkitaan pääasiassa aiemmin julkaistun tieteellisen kirjallisuuden pohjalta valsseja ja niihin liittyvää kunnossapitoa. Haastattelut kuitenkin tuovat työhön käytännön näkökulmaa, jolloin nähdään, miten asioita oikeasti tehdään. Haastattelujen kautta saatujen tietojen pohjalta voidaan miettiä, mistä mahdolliset erot yrityksistä luotujen case-tapausten ja kirjallisuusselvityksen välillä johtuvat.

Suomessa valssausta tekevillä yrityksillä on pitkä kokemus ja tietotaito valssaukseen liittyvistä prosesseista. Tämän vuoksi haastattelujen avulla saatu tieto on tässä työssä

erityisen merkittävässä asemassa. Haastattelujen avulla tutustutaan valssausta tekeviin yrityksiin case-tapauksittain. Näin esitellään miten yksittäiset yritykset hoitavat kunnossapitoa. Työhön haastateltuja yrityksiä ovat SSAB Raahen, Outokumpu Stainless Tornion ja Ovako Imatran.

Työssä on käytetty kunnossapitomenetelmiä ja kunnossapidon suorittamista tutkittaessa lähteinä myös kaupallista materiaalia valssauslaitteiston valmistajilta. Kaupalliseen käyttöön tarkoitettu materiaali voi antaa kuvailemistaan prosesseista liian positiivisen kuvan. Näitä lähteitä kriittisesti tarkastelemalla on mahdollista kuitenkin saada kokonaiskuva uusimmista käytettävissä olevista menetelmistä.

2 TUTKIMUSMENETELMÄT

Päällimmäisin työssä käytetty menetelmä on kirjallisuusselvitys. Tätä tukemaan on kuitenkin mukaan otettu valssausta tekevien yritysten haastatteluja, joilla työhön haetaan käytännön näkökulmaa. Kirjallisuusselvityksen pohjalta löytyneiden aineistojen avulla kuvataan valssien käytettävyyteen vaikuttavia asioita, joita verrataan pohdinta-osiossa yrityksistä muodostettuihin case-tapauksiin.

2.1 Kirjallisuusselvityksen toteutus

Kirjallisuusselvityksen tekeminen aloitettiin etsimällä Lappeenrannan teknillisen yliopiston kirjastosta kirjoja, jotka käsittelevät valssausta. Näitä kirjoja lukemalla etsittiin taustatietoja myöhemmälle tiedonhauille. Yksi käytetyistä kirjoista oli englanninkielinen, jonka lukeminen auttoi hahmottamaan aiheeseen liittyvää englanninkielistä sanastoa, jota tarvittiin myöhemmässä tiedonhaussa. Näiden kirjojen pohjalta kirjoitettiin myös työhön kuvaus valssausprosessista.

Tutkimuksessa pyrittiin käyttämään useaa tieteellistä tietokantaa, joista tietoa haettiin. Tietokannoiksi valittiin SpringerLink, ScienceDirect sekä SCOPUS. Jokaisesta tietokannasta haettiin ensin valssien käytettävyyteen ja kunnossapitoon liittyvää perustietoa hakusanoilla: ("rolling mill roll" AND "service life") ja ("rolling mill roll" AND maintenance). Näillä hauilla löydettyjen lähteiden avulla saatiin muodostettua työlle pohja. Tämän jälkeen tarvittaessa lisätietoa yksittäisistä menetelmistä ja ilmiöistä, etsittiin jokaisesta mainitusta tietokannasta uudelleen käyttäen tarkennettuja hakusanoja. Esimerkiksi käytettiin hakusanoja ("rolling mill roll" AND hardfacing) etsittäessä tietoa pinnoitushitsauksen käytöstä valssien pinnoitukseen.

Lähteitä jouduttiin rajamaan. Ensimmäisen rajauksen loi lähteiden saatavuus; kaikkiin lähteisiin ei ollut Lappeenrannan teknillisellä yliopistolla lukuoikeutta. Jäljelle jääneet lähteet rajattiin tämän jälkeen lukemalla niiden tiivistelmä läpi ja karsimalla sellaiset, jotka eivät olleet kirjoittajan mielestä relevantteja. Tässä kohtaa kiinnitettiin myös huomiota sellaisiin seikkoihin kuin artikkelin saaneiden viittausten määrä ja julkaisuvuosi.

Työhön valittuja lähteitä lukiessaan kirjoittaja alleviivasi jokaisesta samaa aihetta käsittelevästä lähteestä relevantit kohdat ja etsi samankaltaisuuksia eri lähteiden välillä. Tämän jälkeen löytyneet tiedot kirjoitettiin työhön kootusti omien alakohtiensa alle.

Tieteellisten artikkelien ja kirjojen lisäksi työssä käytettiin myös kaupallista materiaalia. Tätä materiaalia etsittiin internetin hakukoneista, mutta löydettyyn materiaaliin suhtauduttiin varauksella ja kriittisesti. Näiden lähteiden käyttö oli perusteltua, sillä joistakin menetelmistä ja yksityiskohdista ei löytynyt muualta tietoa. Esimerkiksi kunnossapidon suoritukseen liittyvää informaatiota ei kyetty löytämään muualta.

2.2 Haastattelujen toteutus

Kirjallisuusselvityksen tekemisen jälkeen kirjoittaja siirtyi tekemään haastatteluja. Haastateltaviksi yrityksiksi valittiin SSAB Raahe, Outokumpu Stainless Tornio ja Ovako Imatra, jotka ovat suurimpia valssausta tekeviä yrityksiä Suomessa. Yrityksistä selvitettiin halukkaat yhteyshenkilöt soittamalla yritysten puhelinvaihteisiin ja kyselemällä, kuka yrityksessä vastaa valssauksen kunnossapidosta.

Sopivien haastateltavien löydyttyä lähetettiin heille sähköpostilla lyhyt esittely työn taustasta ja lista kysymyksiä. Kysymyksiä oli kaiken kaikkiaan 11 kappaletta ja ne muodostettiin työn kirjallisuuskatsauksen pohjalta. Tavoitteena oli nähdä vastaako yritysten toiminta kirjallisuusselvityksessä löytyneitä tietoja. Kaikki kysymykset olivat avoimia ja haastateltaville painotettiin kirjoittamista oman kokemuksen ja tietämyksen pohjalta mahdollisimman vapaasti. Yrityksille esitetyt kysymykset löytyvät liitteestä 1.

3 VALSSSAUS

Valssaus on yksi tärkeimmistä teräsaihioiden valmistusmenetelmistä. Valssauksessa valettu, usein jatkuvavaluna valmistettu, aihio työstetään ohuemmaksi muodostaen levyä, nauhaa, profiilia, tankoa ja lankaa. Tässä kappaleessa on esitelty teräsnauhan valmistusprosessi sisältäen kuuma- ja kylmävalssauksen. (Ihalainen et al., 2005, s. 338; Kalpakjian et al., 2010, s. 316–317.)

3.1 Kuumavalssaus

Esivalmistettu aihio lämmitetään ensin kuumennusuuneissa noin 1200 °C lämpötilaan, jonka jälkeen sen pinnalta poistetaan syntynyt oksidikerros. Oksidikerroksen poistamisen jälkeen alkaa itse valssaus. Valssauksen alkuvaiheessa aihion mitat muuttuvat merkittävästi, mutta eivät usein saavuta haluttuja mittoja tai mittatarkkuuksia. (Ihalainen et al., 2005, s. 338–339.)

Valssatessa nauhaa tehdään ensin esivalssaus, joko jatkuvalla linjalla useilla peräkkäisillä kaksi- tai nelivalssaimilla tai vaihtoehtoisesti vaihtosuuntaisessa nelivalssaimessa. Esivalssauksella aikaansaadaan noin 21–30 mm paksuista esinauhaa, josta lopuksi poistetaan valssauksen aikana syntynyt hilse. Tämän jälkeen aihio siirretään varsinaiseen nauhavalssaukseen. (Ihalainen et al., 2005, s. 339.)

Nauhavalssauksessa käytetään yleensä tandem- eli jatkuvavalssausta, jossa valssien muodostamia valssaimia, usein nelivalssaimia, on 5–7 peräkkäin. Näiden läpi kulkiessaan aihion mitat muuttuvat lähemmäs ja lähemmäs haluttua lopputulosta. Tandemvalssauksessa on huomioitava valssien keskinäinen synkronointi, sillä työkappaleen liikenoisuus kasvaa aina sen kulkiessa kunkin valssin läpi ja täten ohetessaan. Tämän vuoksi nykyaikaiset nauhavalssaamot ovat automatisoituja. Nauhavalssauksessa saavutetaan 2-15 mm paksuus. Tämän jälkeen nauha jäädytetään vesisuihkulla ja ohjataan kelalle. (Ihalainen et al., 2005, s. 339; Jelali, 2013, s. 406.)

Valssauksen alkupuolella pyritään suuriin muodonmuutoksiin, jolloin käytetään kuumavalssausta. Kuumavalssaus vaatii pienempiä valssausvoimia kuin kylmävalssaus,

sillä se suoritetaan korkeammassa lämpötilassa. Kuumavalssaus suoritetaan aineen rekristallisaatiolämpötilaa korkeammassa lämpötilassa, kun taas kylmävalssaus suoritetaan tätä alhaisemmassa lämpötilassa. Nämä kaksi menetelmää vaikuttavat eri tavoin syntyvään metallin mikrorakenteeseen. (Ihalainen et al., 2005, s. 338–339.)

3.2 Kylmävalssaus

Kuumavalssattua nauhaa voidaan vielä jatkokäsitellä kylmävalssauksessa. Kylmävalssausta käytetään, kun halutaan valmistaa ohuempaa nauhaa kuin kuumavalssauksessa tai tavoitellaan todella tarkkoja mittatoleransseja. Kylmävalssauksessa valssattava aihio työstökarkenee ja sille on mahdollista saavuttaa suurempi lujuus ja parempi pinnanlaatu. Kuumavalssattu nauha peitataan ennen kylmävalssausta epäpuhtauksien ja kuumavalssauksen aikana syntyneen oksidikerroksen poistamiseksi. (Ihalainen et al., 2005, s. 339, 342; Kalpakjian et al., 2010, s. 317.)

Kylmävalssaus suoritetaan tavallisesti normaalissa huoneenlämpötilassa ja siinä tarvitaan suurempaa valssausvoimaa kuin kuumavalssauksessa. Suurempi valssausvoima on mahdollista saada aikaan pinta-alaa pienentämällä. Käytännössä työvalssi on tällöin halkaisijaltaan pienempi ja sitä tukee useita tukivalssseja sen ylä- ja alapuolella sekä joissain tapauksissa monessa suunnassa sen ympärillä. Jälkimmäisen tyyppistä valssainta kutsutaan sarjavalssaimeksi tai Sendzimir valssaimeksi. (Ihalainen et al., 2005, s. 342; Kalpakjian et al., 2010, s. 320–326.)

4 VALSSI

Valssi on valssauslaitteiston keskeinen komponentti. Valssattava aihio kulkee kahden valssin välistä. Valssien välinen etäisyys on pienempi, kuin valssattavan aihion paksuus jolloin aihion paksuus pienenee valssauksessa. Valssattavan aihion leveys pysyy valssauksen aikana jotakuinkin samana. Täten kappaleen ohentuessa, sen pituus kasvaa. Tästä seuraa, että myös valssattavan aihion kulkunopeus valssien suhteen kasvaa aihion läpäistäessä valssin. (Kalpakjian et al., 2010, s. 316–317.)

Valssin geometria riippuu siitä valssataanko levyä, tankoa vai profiilia. Tässä työssä aihe on rajattu koskemaan nauhan valssauksessa käytettäviä valsseja. Tankoja ja profiileja valssatessa molemmissa työvalsseissa on uria, joiden mukaan profiili muodostuu. Levyjä ja nauhoja valssatessa puolestaan valssi on sileä eli se on suora tasapintainen akseli. Kuvassa 1 esitetään valssi osana valssauslaitteistoa.



Kuva 1. Valsseja valssainten vierellä (Siemens VAI, 2013).

4.1 Valssin materiaali ja seosaineet

Yleisiä valssien perusaineena käytettyjä materiaaleja ovat valurauta, valuteräs ja pikateräs. Näiden lisäksi kylmävalssauksen sarjavalssaimissa käytetään myös volframikarbidista valmistettuja valsseja. (Joos et al., 2007, s. 198; Kalpakjian et al., 2010, s. 326.)

Valssien seostus riippuu niiden sijainnista valssausketjussa. Valuterästä käytetään kuumavalssauksessa karkeavalssaukseen. Valurautaa eri seostuksilla on käytetty kuumavalssauksessa hienovalssauksen eri vaiheissa. Pikateräs puolestaan soveltuu useimpiin tilanteisiin; pikateräs soveltuu kylmävalssaukseen ja se on myös 1990-luvulta lähtien korvannut etenkin valurautaa hienovalssauksen valsseissa. (Borisov, 2002, s. 23; Joos et al., 2007, s. 198; Pellizzari, Molinari & Straffelini, 2005, s. 1282; Ziehenberger & Windhager, 2007, s. 1–2.)

Valssien tärkein seosaine on kromi, sillä se edesauttaa abrasiivisen ja väsyttävän kuormituksen kestoa sekä edesauttaa karkenevuutta eli parantaa juuri niitä ominaisuuksia, joita valssilta vaaditaan. Normaali kromiseostus on noin 5 %, joskin myös korkeakromisia 15–18 % kromia sisältäviä valurautoja käytetään (Pellizzari et al., 2005, s. 1282.) Toiseksi yleisin seosaine on hiili. Tämän lisäksi valsseissa käytetään seosaineina erilaisia karbideja muodostavia aineita. Valssin kestoian kannalta on tärkeää, että se sisältää paljon pienikokoisia karbideja jakautuneena tasaisesti valssin matriisiin. (Prasad et al., 2004, s. 67–70; Ziehenberger et al., 2007, s. 1.)

4.2 Valssin pintakäsittely

Valssauksen tuottavuuden parantaminen voi vaatia valssin pinnan ominaisuuksien parantamista ja kestoian pidentämistä. Valssien pinta voidaan jälkikäsitellä, jotta sille saadaan halutut ominaisuudet. Näin voidaan tehokkaasti alentaa valssien kulumista ja samalla myös tehostaa työn tuottavuutta. Hyvät valssien pinnan ominaisuudet myös parantavat tuotannon laatua ja täten alentavat huonosta laadusta syntyvää hukkaa. (Matviyenko et al., 2014, s. 2; Ould et al., 2013, s. 103.)

4.2.1 Lämpökäsittely

Valsseja voidaan valmistuksen jälkeen lämpökäsitellä induktiokarkaisemalla ja nuorruttamalla. Nämä tuottavat valssiin kovan pinnan, joka ehkäisee kulumista. Karkaisun

seurauksena valssiin voi kuitenkin syntyä suuria jäännösännityksiä, jotka voivat tehdä valssin alttiiksi halkeilulle ja lohkeilulle. Ray et al. (2000) esittävät, että tärkein karkaistujen valssien lohkeamista aiheuttava ilmiö on jäännösausteniitin esiintyminen, jota voidaan minimoida käyttämällä pakkaskarkaisua. Induktiokarkaistuja valsseja käytetään kylmävalssauksessa. (Azevedo & Neto, 2004, s. 952; Prasad et al., 2005, s. 30.)

4.2.2 Kromaus

Yleisesti valssien pinnoitukseen käytetty menetelmä on kromaus, jossa valssin pintakerros päällystetään elektrolyytisesti kromilla. Pinnoitteen paksuus on tyypillisesti noin 4–15 µm. Ennen kromausta, valssin pinta voidaan käsitellä kipinätyöstöllä tai hiekkapuhalluksella, joiden avulla saadaan aikaan haluttu pinnankarheus. Kromauksen suoritus saattaa kuitenkin aiheuttaa terveysongelmia, jonka vuoksi tulisi löytää vaihtoehtoisia menetelmiä valssien pinnoittamiseksi. (De Mello, Gonçalves & Costa, 2013, s. 1296; Ould et al., 2013, s. 104; Simão & Aspinwall, 1999, s. 281.)

Kromauksen tärkein etu on, että se estää tehokkaasti valssin pinnanlaadun muuttumista valssauksen aikana. Pinnoittamaton valssi menettää pinnankarheuden huiput kuluessaan, mutta kromipinnoite hidastaa tätä kulumista. Tämä voi olla tärkeää etenkin valssauksen loppuvaiheilla jälkivalssauksessa, jossa valssin pinnanlaatua voidaan käyttää luomaan valssattavalle nauhalle haluttu pinnanlaatu. (De Mello et al., 2013, s. 1295–1296; Simão et al., 1999, s. 282.)

4.2.3 Pinnoitushitsaus

Yleinen menetelmä kuluneiden valssien uudelleenpinnoittamiseen on pinnoitushitsaus kovalla lisäaineella. Tätä menetelmää voidaan käyttää myös uusien valssien pintakäsittelyssä. Pinnoitushitsausta kutsutaan tässä tapauksessa myös kovahitsaukseksi ja siinä kuluneen perusaineen päälle hitsataan valssiin pintakerros lisäaineella, joka antaa sille halutut ominaisuudet. Kovahitsaamalla saavutetut pinnan ominaisuudet vähentävät valssien kulumista. (Matviyenko et al. 2014. s. 2; Shebanits et al., 2012, s. 613.)

Kovahitsatessa kannattaa käyttää bufferointihitsausta. Tällöin ennen itse kovahitsattavaa pintaa valssin pintaan hitsataan kerros sitkeällä lisäaineella; esimerkiksi austeniittisella ruostumattomalla teräksellä. Tämän jälkeen sitkeän kerroksen päälle hitsataan kova

pintakerros. Bufferointihitsauksen avulla saadaan aikaan suurempi iskutilaus ja pienennetään kovan kerroksen halkeiluriskiä. Tämä puolestaan lisää valssin kestoikää. (ESAB, 2015, s. 9; Shebanits et al., 2012, s. 613.)

Kovahitsauksessa halkeiluriskin pienentämiseksi tulee usein käyttää myös perusaineen esikuumennusta. Ilman edellä mainittuja toimenpiteitä voi joko karkeneva perusaine haljeta kovahitsatun kerroksen alta tai itse kovahitsattu materiaali voi haljeta hitsipalon keskeltä. (ESAB, 2015, s. 9.)

Valsseja kunnostettaessa, niiden pintaa sorvattaessa, menetetään halkaisijan paksuutta. Sen lisäksi, että kovahitsauksella saavutetaan hyvät pinnan ominaisuudet, voidaan kovahitsauksella myös palauttaa valssin halkaisijan koko alkuperäisiin mittoihin. Mikäli esiintyy valssien epätasaista kulumista, on kovahitsauksella mahdollista muodostaa vaihtelevat pinnanominaisuudet valssin akselin suunnassa, mikä puolestaan saa aikaan tasaisemman kulumisen. (Shebanits et al., 2012, s. 613–616.)

Valssien pinnoitushitsaukseen voidaan käyttää jauhekaarhitsausta sekä MIG/MAG-hitsausta. Valssi laitetaan pyörimään mekanisoituun telineeseen, jolloin hitaasti eteenpäin kulkeva hitsauspää hitsaa hitsiä spiraalin muotoon kattaen koko valssin pinnan. Tämän jälkeen hitsattu pinta on vielä sorvattava, jotta pinnasta saadaan tasainen. Kuvassa 2 nähdään jauhekaarella hitsattavana oleva valssi, jossa hitsauslisäaineena käytetään leveää noin 60 mm levyistä nauhaa. Leveällä nauhalla saadaan vähennettyä limittäisten hitsien määrää, joiden alueella pinnan ominaisuudet ovat heikommat. Näin on mahdollista pidentää valssin elinikää. (Paschold, 2001, s. 19; Shebanits et al., 2012, s. 615; SMS Siemag 2014, s. 3.)



Kuva 2. Jauhekaarinauhahitsattava valssi (SMS Siemag, 2014, s. 5).

4.2.4 PVD-pinnoitus

Ould et al. (2013) ovat ehdottaneet yhdeksi mahdolliseksi valssien pinnoitukseen soveltuvaksi menetelmäksi PVD-pinnoitusta eli kaasufaasipinnoitusta. Tässä menetelmässä valssi päällystetään keraamisella aineella, kuten krominitridillä. Tätä menetelmää on tutkittu valssausta simuloivissa laboratoriotesteissä ja on havaittu, että sen avulla voisi olla mahdollista korvata kromaus valssien pinnoitusmenetelmänä. (Ould et al., 2013, s. 104–111.)

4.3 Valssien pinnan kestoikä

Valssien pinnan kestoikää mitataan usein määrällisesti valssattuina tonneina. Kestoikä riippuu käyttöolosuhteista ja asemasta valssausketjussa, ollen noin 10000–30000 valssattua tonnia. Väärien käyttöparametrien tai huonon laadun vuoksi vaurioituessa valssin käyttöikä voi jäädä todella lyhyeksi; jopa alle 1000 tonnia. Ray et al. (2000) mukaan valssin oikeanlaisen käsittelyn ja säännöllisen tarkastuksen avulla kestoikää voidaan kuitenkin nostaa jopa 40000–50000 tonniin. (Prasad et al., 2005, s. 31–32; Ray et al., 2000, s. 66.)

Valssien kulumisnopeutta mitataan sillä, montako tonnia materiaalia voidaan valssata yhtä kulunutta valssin halkaisijan millimetriä kohden. Käytännössä tähän kulumiseen lasketaan mukaan sekä valssin käytössä kulumisen että valssin pinnan kunnostuksessa sorvaamalla ja hiomalla menetetty halkaisijan paksuus. (Pellizzari et al., 2005, s. 1281.)

5 VALSSIEN KÄYTETTÄVYYS

Valssauksen aikana valssit joutuvat erilaisten kulumistyyppien kohteeksi sekä valsseihin kohdistuu suuri puristusvoima niiden puristaessa työstettävää aihiota väliinsä. Valssien kuluminen ja kestoikä riippuu monesta muuttujasta. Tämän vuoksi sen tarkkaa kestoikää voi olla vaikea ennustaa. Tässä on esitelty valssin käytettävyyteen ja kestoikään vaikuttavia tekijöitä. (Kalpakjian et al., 2010, s. 316–317.)

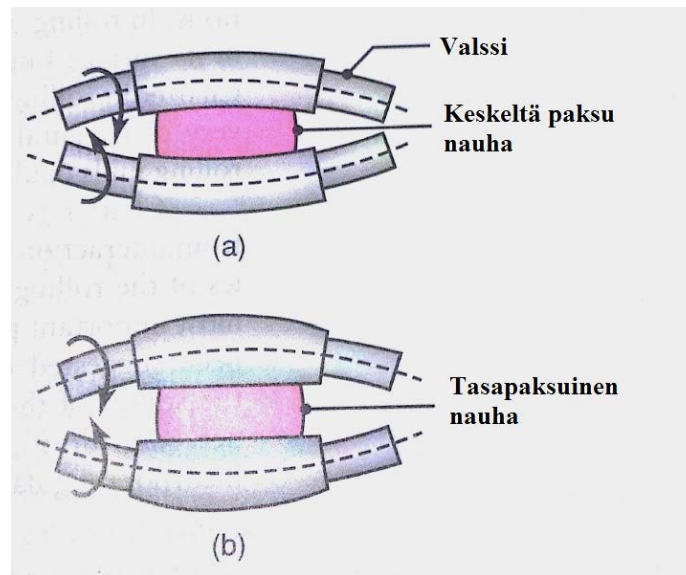
5.1 Valssien taipuminen

Valssit voivat valssauksen aikana taipua päistään. Tämä johtuu siitä, että kun keskellä olevaa kappaletta puristetaan valssien väliin, valssattava kappale vastustaa puristusvoimaa. Valssien päädyissä valssattava aihio ei kuitenkaan ole aiheuttamassa vastavoimaa, jolloin ne pääsevät taipumaan elastisesti. Tämän seurauksena valssattava kappale muodostuu paksummaksi sen keskiosasta kuin reunoilta. Tämä puolestaan aiheuttaa aihion reunojen aaltoilua reunojen muokkautuessa ohuemmaksi kuin keskiosa. (Kalpakjian et al., 2010, s. 321–324.)

Ohutta noin 0,1–0,15 mm paksuista nauhaa kylmävalssatessa on myös mahdollista, että työvalssien päädyt joutuvat kosketuksiin toistensa kanssa, mikäli käytössä ei ole valssintaivutuslaitteistoa. Tämä lisää valssien kulumista niiden päädyissä ja lyhentää valssien kestoikää. (Jiang & Tieu, 2007, s. 1448–1452.)

Taipumista ehkäistään käyttämällä valssintaivutuslaitteistoa, jonka avulla valssin päihin kohdistetaan taivuttava voima. Tämä voima kumooa työkappaleen aiheuttaman voiman, jolloin itse valssi pysyy neutraalissa asennossa ja saadaan aikaiseksi oikea paksuus koko nauhan leveydelle. (Ihalainen et al., 2005, s. 338–339; Jelali, 2013, s. 413.)

Taipumaa voidaan ehkäistä myös käyttämällä valssien pyöristystä eli bombeerausta. Tällöin työvalssi muotoillaan sorvaamalla hieman paksummaksi sen keskiosassa, jolloin se taipuessaan muodostaa tasaisen pinnan ja myös valssattavalle kappaleelle saadaan tasainen pinta. Valssien taipumaa on havainnollistettu liioitellusti kuvassa 3, jossa on myös esitetty bombeerauksen vaikutus syntyvään muotoon. (Kalpakjian et al., 2010, s. 321.)



Kuva 3. Valssien taipuma valssauksen aikana (a) ja bombeerauksen vaikutus (b) (mukaiillen, Kalpakjian et al., 2010, s. 321).

Halkaisija valssin keskiosassa on bombeeruksella yleensä 0,25 mm suurempi, kuin sen reunoilla. On myös huomioitava, että valssin materiaalin kimmokerroin vaikuttaa valssin taipumiseen. Mitä suurempi kimmokerroin, sitä vähemmän valssi taipuu rasituksessa. (Kalpakjian et al., 2010, s. 321.)

5.2 Lämpövaikutukset

Kuumavalssauksen korkea lämpötila kuormittaa valssia ja saattaa pinnan alttiiksi hapettumiselle. Lämpötila ei kuumavalssauksessa saa kuitenkaan olla liian alhainen, sillä rekristallisaatiolämpötilan alittuessa valssauksen aikana ei uusia rakeenytimiä pääse muodostumaan, mikä vaikuttaa syntyvään mikrorakenteeseen. Lämpötilan alentuessa myös valssaukseen tarvittavat voimat ja valssin kokema rasitus kasvavat. (Kalpakjian et al., 2010, s. 321.)

Valssien pintakerros kuumenee niiden käytön aikana ollessaan kosketuksissa valssattavan aihion kanssa. Tämän vuoksi niiden pinnalle syntyy oksidikerros. Ohut ja homogeeninen oksidikerros voi suojata kappaleen pintaa ja tehdä valssin pinnasta tasaisemman etenkin valssatessa ohutta nauhaa suurilla nopeuksilla. (Colás et al., 1999, s. 56; Joos et al., 2007, s. 199; Pellizzari et al., 2005, s. 1281.)

Paksu oksidikerros voi kuitenkin murtua valssauksen aikana, jolloin irronneet oksidipartikkelit voivat toimia abrasiiveina ja aiheuttaa valssien kulumista. Oksidikerros muodostuu paksummaksi valssin pinnan lämpötilan noustessa. Oksidikerroksen syntyminen voi myös aiheuttaa valssien pinnan kuoriutumista sen edetessä halkeamia pitkin ja eristäessä tervettä pintaa valssista. (Colás et al., 1999, s. 56; Joos et al., 2007, s. 199; Pellizzari et al., 2005, s. 1281.)

5.3 Värähtely

Valssien ja valssattavan materiaalin keskinäisen kitkan vaihtelun, jatkuvan keskinäisen liukumisen ja pienten syntyvien mikrohitsien vuoksi aiheutuu 100–1000 Hz:n taajuisia värähtelyä. Värähtely voi aiheuttaa valssien ja muun valssauslaitteiston kulumista ja pahimmillaan hajoamista esimerkiksi edesauttamalla halkeamien etenemistä. (Krot, 2011, s. 429).

Värähtelyä esiintyy pääasiassa tandem – valssaimissa, joissa valssainten keskinäinen synkronointi ja kitkan kontrollointi on tämän vuoksi tärkeää. Värähtelyjen suuruuteen etenkin kylmävalssauksessa vaikuttaa myös valssattavan materiaalin kimmoisuus, sillä kimmoisen materiaalin paksuus palautuu hieman valssauksen jälkeen. (Kalpakjian et al., 2010, s. 322; Krot, 2011, s. 433.)

Myös itse valssien kuluminen lisää värähtelyä. Tällöin amplitudin kasvaessa, voi värähtely heikentää valssattavan materiaalin laatua tekemällä pinnasta epätasaista. Toimenpiteitä, joiden avulla voidaan ehkäistä värähtelyä, ovat muun muassa valssausnopeuden lasku, valssausraon voitelu, valssainten välisen etäisyyden lisääminen sekä vaimentimien käyttö valssaimen tukirakenteissa. Krot (2011) mukaan valssauksen valvoja tai automaattinen valvontajärjestelmä vaimentaa alkaneen värähtelyn ensisijaisesti valssausnopeutta laskemalla. (Jelali, 2013, s. 416; Kalpakjian et al., 2010, s. 322.)

5.4 Väsyminen

Valssit altistuvat väsyttävälle kuormituksille niiden käytön aikana. Valssit kokevat väsyttävää kuormitusta sekä lämmön että suurten pintajännitysten vaikutuksesta, jotka aiheuttavat mekaanista väsymistä ja lämpöväsymistä. (Colás et al., 1999, s. 58)

5.4.1 Mekaaninen väsyminen

Valssin pinta joutuu suurten jännitysten ja pyörivän liikkeen vuoksi väsyttävän kuormituksen alaiseksi. Tällöin valssin pinta jokaisella kierroksella vaihtelee suurten puristus- ja vetojännityksien välillä. Colás et al. (1999) mukaan valssin pinnan kokemat jännitykset voivat olla 400 MPa suuruisia. Nämä jännitykset vaikuttavat valssin pinnalle käytössä muodostuvien halkeamien syntyyn. (Colás et al., 1999, s. 58; Qiong et al., 2008, s.407.)

5.4.2 Lämpöväsyminen

Valssin pinta altistuu valssatessa syklisille lämpövaikutuksille. Valssin pinnan lämpötila nousee suuresti sen ollessa kosketuksissa valssattavaan aihioon nousten helposti yli 500 °C:een, jonka jälkeen se jäähtyy nopeasti ennen uutta kierrosta. Pinnan lämpötila altistuu tämän vuoksi hyvin nopeille lämpötilan vaihteluille. (Colás et al., 1999, s. 58.) Valssin jäähtymistä tehostetaan käyttämällä jäähdytysnestesuihkuja (Kalpakjian et al., 2010, s. 322; Sudipta et al., 2007, s. 128–129).

5.5 Kuluminen

Valssit kohtaavat pyöriessään työkappaletta vasten eri kulumismuotoja. Näiden seurauksena valssin pinnalta irtoaa hiljalleen materiaalia eli se kuluu. Valssi kuluu adhesiivisen ja abrasiivisen kulumisen seurauksena. (Joos et al., 2007, s. 199; Kalpakjian et al., 2010, s. 318–319.)

5.5.1 Adhesiivinen kuluminen

Valssattava aihio ja valssi liukuvat jatkuvasti toistensa suhteen, koska aihio pitenee ohetessaan ja sen liikenopeus kasvaa. Valssin jälkeen aihion liikenopeus on suurempi kuin valssin pyörimisnopeus. Ennen valssia aihion liikenopeus puolestaan on pienempi kuin valssin pyörimisnopeus. Näiden välissä sijaitsee liukumaton piste, missä valssin pyörimisnopeus ja aihion liikenopeus ovat samat. Tämän pisteen molemmin puolin kitkan vaikutussuunnat ovat vastakkaiset ja aiheuttavat aihion ja valssin välillä metallien välistä liukumista ja materiaalien tarttumista toisiinsa. Tämä aiheuttaa valssien adhesiivista kulumista. (Kalpakjian et al., 2010, s. 318–319.)

5.5.2 Abrasiivinen kuluminen

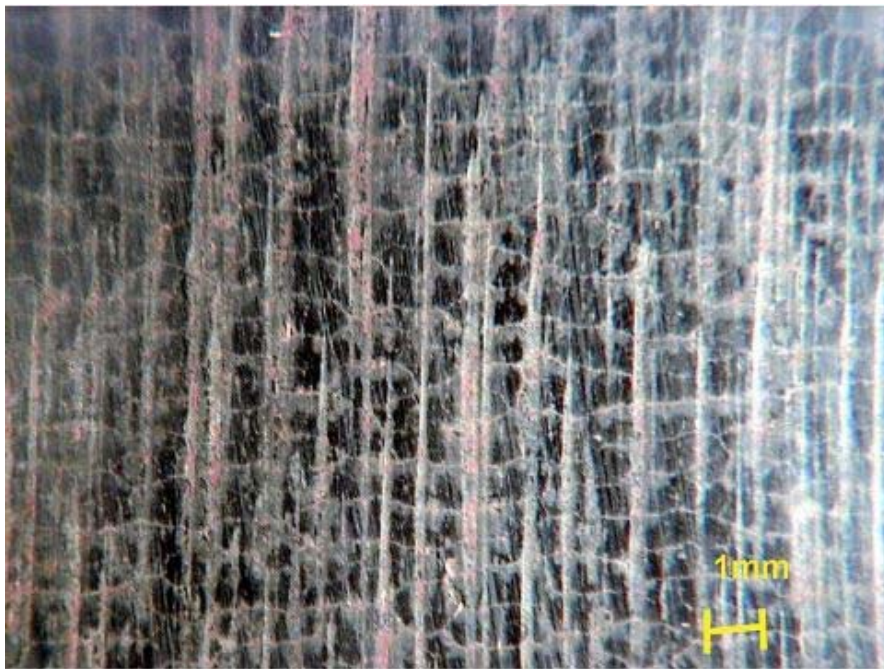
Abrasiivisessa kulumisessa kovat partikkelit irrottavat pinnasta ainetta hankautuessaan sitä vasten. Abrasiiveja eli kulumista aiheuttavia partikkeleja valssauksessa ovat etenkin työstettävän aihion pinnan kovasta oksidikerroksesta irronneet partikkelit, jotka valssauksen aikana kuluttavat valsseja. Myös valssista itsestään irronneet karbidit ja valssin rikkoutunut oksidikerros voivat toimia abrasiiveina. (Joos et al., 2007, s. 199; Pellizzari et al., 2005, s. 1282.)

6 VAURIOMUODOT

Jos valssien kunnossapidosta ei pidetä huolta, voivat ne vaurioitua. Yleisimpiä vauriomuotoja valsseissa ovat pinnan säröily ja lohkeilu sekä pinnan kuluminen käyttökelvottomaksi.

6.1 Säröily

Valssin pinnan säröily on yleisin vauriomuoto kuumavalssauksessa, jossa se kattaa noin 41 % vaurioista (Kuvshinnikov et al., 2003 s. 370; Shebanits et al., 2012, s. 613). Yhdessä valssin pinnalle ja diffuusion vaikutuksesta myös säröjen reunoille syntyvän oksidikerroksen sekä lämpöväsytymisen kanssa voi säröily johtaa valssin pinnan kuoriutumiseen. Tällöin syntynyt oksidikerros syntyvien säröjen reunoja pitkin edetessään eristää tervettä materiaalia valssin pinnalta, jolloin se irtoaa palasina pois. Tämä voi johtaa valssin pinnan nopeaan kulumiseen ja tehdä valssin pinnasta epätasaisen. Säröilleen valssin pintaan tulee hämähäkin verkon tapainen kuvio, joka nähdään kuvassa 4. (Colás et al., 1999, s. 56–59; Joos et al., 2007, s. 199.)



Kuva 4. Säröillyt valssin pinta (Union Electric Steel, 2013b, s. 1).

6.2 Lohkeilu

Äkilliset lohkeamat ovat yleisin valssien vauriomuoto kylmävalssauksessa (Azevedo et al., 2004, s. 952; Qiong et al., 2008, s. 402; Ray et al., 2000, s. 65). Vaikka valssissa kova pinta ja kovan vyöhykkeen riittävä syvyys ovat haluttuja ominaisuuksia, voivat nämä yhdessä suurten kappaleen sisäisten jännitysten kanssa aiheuttaa lohkeilua. (Colás et al., 1999, s. 59; Prasad et al., 2005, s. 31–35.)

Lohkeamisen seurauksena valssin pinnasta irtoaa palasia eikä lohjennut pinta enää ole tasainen. Mikäli lohkeama on edennyt lähellä pintaa, on valssi mahdollista saattaa käyttökuntoon sorvaamalla pinta tasaiseksi, mutta tällöin on usein poistettava paljon materiaalia. Tämän seurauksena lohkeaminen aiheuttaa valssin eliniän nopeaa lyhenemistä. Mikäli valssin pinta olisi sorvattu ennen kuin alkaneet halkeamat ovat edenneet lohkeamaksi, olisi pinnalta tarvinnut poistaa vähemmän materiaalia. Kuvasta 5 nähdään, että lohkeamalla irronneet palaset voivat olla suuria. Lohjennut valssi tulisi vaihtaa heti lohkeamisen havaittua. (Li et al., 2007, s. 1444; Prasad et al., 2004, s. 67.)



Kuva 5. Lohjennut valssi (Li et al., 2007, s. 1442).

Lohkeaminen voi alkaa joko valssin pinnalta tai sen sisältä. Valssin sisäosasta alkanut lohkeama johtuu pääosin materiaalin huonosta laadusta; esimerkiksi epäpuhtaudet ja huokokset voivat toimia alkamiskohtina halkeamille. Pinnalta alkanut halkeama on usein seurausta huonoista toimintaolosuhteista. Esimerkiksi valssin vääränlainen käyttö, kuten ylikuormitus, väärin suoritettu kunnostus ja pintakäsittely tai liian kulunut pinta, voivat johtaa valssin lohkeamiseen. (Colás et al., 1999, s. 56; Prasad et al., 2004, s. 67; Qiong et al., 2008, s. 409; Ray et al., 2000, s. 55–56.)

6.3 Pinnanlaadun heikkeneminen

Valssien pinta täytyy kunnostaa, mikäli niiden pinnanlaatu heikkenee käytössä. Tärkeimmät pinnanlaadun heikkenemistä aiheuttavat tekijät ovat lämpöväsyminen, hapettuminen sekä abrasiivinen ja adhesiivinen kuluminen. (Colás et al., 1999, s. 56; Joos et al., 2007, s. 198.)

7 KUNNOSSAPITOMENETELMÄT

Kunnossapidon tavoitteena on ylläpitää koneiden ja laitteiden hyvää toimintakuntoa. Tällä edesautetaan sitä, että tuotanto pysyy edullisena, laadukkaana, turvallisena ja ympäristöystävällisenä. Kunnossapidolla myös ehkäistään laitteiden äkillisiä vaurioita. Keskeisten komponenttien vaurioituminen voi pahimmillaan pysäyttää koko tuotantoketjun. Esimerkiksi valssin vaurioituessa ei valssausta pystytä jatkamaan, ennen kuin valssi on vaihdettu uuteen tai kunnostettuun osaan. Tämä voi pahimmillaan aiheuttaa suuria tuotannonmenetyksiä yritykselle. (Ansaharju, 2009, s. 298–299.)

7.1 Kunnonseuranta

Useissa tapauksissa valsseille ei välttämättä suoriteta muuta kuin silmämääräistä tarkastusta. Tarkempien tarkastusmenetelmien avulla voidaan kuitenkin luotettavammin varmistaa, ettei käytetä huonokuntoisia valsseja, jotka voivat olla alttiita vaurioitumiselle. (Kuvshinnikov et al., 2003 s. 369.)

Kaksi yleisintä tarkastusmenetelmää ovat ultraääni- ja pyörrevirtatutkimus. Ultraäänitarkastuksella tutkitaan valssin sisustassa mahdollisesti esiintyviä vikoja. Pyörrevirtatarkastuksen avulla puolestaan mitataan valssin pinnalla tai pinnan välittömässä läheisyydessä olevia vikoja. Näiden mittaukseen on kehitetty laitteistoja, joiden avulla on mahdollista tutkia valssin kuntoa pinnan sorvauksen yhteydessä tai sen jälkeen. Mittaamalla varmistetaan, että sorvaamalla on saatu poistettua kaikki viat pinnalta eikä valssin sisäosassa ole virheitä. (Kuvshinnikov et al., 2003 s. 369; Qiong et al., 2008, s. 401; SMS Siemag, 2014, s. 6.)

Murikov et al. (2011) ovat esittäneet mahdolliseksi kunnontarkastusmenetelmäksi valsseille koersiivivoiman mittausta. Koersiivivoiman mittausta on magneettinen menetelmä, jolla on mahdollista saada muita mittausten menetelmiä tarkempia tietoja valssin pintakerroksen kunnosta ja metallurgiasta. Menetelmän avulla tutkitaan valssin jäännösmagneettisuutta. Materiaalin koersiivisuus on riippuvainen sen kemiallisesta koostumuksesta sekä mikrorakenteesta. Myös mikrorakenteen viat ja kappaleen sisäiset

jännitykset vaikuttavat koersiivivoimaan, jonka vuoksi sen mittaaminen soveltuu kunnonseurantaan. (Murikov et al., 2011, s. 1–2.)

7.2 Jäähdytys

Valssien liiallista lämpenemistä ehkäistään kuumavalssauksessa jäähdytyksellä, johon käytetään vesipohjaisia liuoksia. Jäähdytyssuihkujen määrällä ja sijoittamisella on merkitystä sen tehokkuuteen. Usein jäähdytyssuihku on suunnattu valssin pinnalle nauhan sisäänmeno- ja ulostulopuolella. Valssin pituussuunnassa tulisi jäähdytyssuihkut asetella siten, että suurin jäähdytysteho olisi valssin keskiosassa alueella, joka on kosketuksissa valssattavan aihion kanssa. (Saboonchi & Abbaspour, 2004, s. 46; Sudipta et al., 2007, s. 128–129.)

Jäähdytyksen avulla ehkäistään jyrkkiä lämpötilan vaihteluita ja lasketaan valssin pinnan lämpötilaa. Tämä ehkäisee lämpöväsymistä ja vähentää oksidikerroksen syntyä, mikä puolestaan ehkäisee niistä seuraavia ongelmia, kuten säröilyä ja kulumista. (Sudipta et al., 2007, s. 134.)

7.3 Voitelu

Kuumavalssauksessa ei tavallisesti käytetä voitelua. Valssausraon voitelu on kuitenkin kylmävalssauksessa tärkeää, sillä siinä puristusvoima ja kitkat ovat suurempia, kuin kuumavalssauksessa. Kylmävalssauksessa käytetään voiteluaineina vesiliukoisia öljyjä tai matalaviskositeettisiä voiteluaineita, kuten emulsioita. Saniei & Salimi (2006) kertovat, että voiteluainekerroksen paksuuden tulisi olla noin 0,3 µm, jotta saavutetaan sopiva kitka ja hyvä laatu valssattavalle aihiolle. Voiteluaine jäähdyttää valsseja, joten erillistä jäähdytysainetta ei tarvita kylmävalssauksessa. (Jiang et al., 2007, s. 1450; Kalpakjian et al., 2010, s. 327; Saniei et al., 2006, s. 575.)

7.4 Pinnan sorvaus ja hionta

Mikäli valssin pinta on kulunut tai vaurioitunut, joudutaan se kunnostamaan. Valssien pinta kunnostetaan sorvaamalla ja hiomalla niiden pinta tasaiseksi, jonka jälkeen niitä voidaan käyttää uudelleen. Jokainen sorvauskerta kuitenkin vähentää valssiin jäljelle jäävää materiaalia. Etenkin lohjenneita valsseja tasaiseksi sorvatessa joudutaan pinnalta poistamaan paljon materiaalia. (Pellizzari et al., 2005, s. 1281; Prasad et al., 2005, s. 30.)

Pintaa tasaiseksi sorvatessa on oltava tarkkoja siitä, että kaikki alkaneet halkeamat tulevat sorvatuksi pois. Mikäli näin ei tehdä, toimii jäljelle jäänyt halkeama jännityshuippuna, josta halkeama lähtee uudelleen etenemään. Tämän seurauksena valssi voidaan joutua poistamaan kokonaan käytöstä ja hankkimaan tilalle uusi. (Prasad et al., 2005, s. 30–31; SMS Siemag, 2014, s. 6.)

Normaalin kulumisen ja pinnanlaadun heikentymisen vuoksi valssin pintaa sorvatessa pinnalta poistetaan materiaalia keskimäärin 0,2–0,4 mm. On myös huomioitava, että valssit toimivat pareittain, jolloin vähemmän kuluneen valssin pinnasta voidaan joutua poistamaan enemmän tervettä materiaalia, jotta saavutetaan sama halkaisija molemmille valsseille. (Talmazan et al., 2015, s. 897.)

7.5 Pinnan uusiminen

Valssin halkaisija pienenee, kun valssia sorvataan pintaa kunnostettaessa. Pintaa tasaiseksi sorvatessa menetetään myös aiemmin jälkikäsittelymenetelmillä tuotetut pinnan ominaisuudet. Tällöin jälkikäsittelytoimenpiteitä voidaan joutua tekemään uudelleen. Kovahitsausta ja termistä ruiskutusta voidaan käyttää myös valssin pinnan uudelleenrakentamiseen, jolloin valssin halkaisija saadaan kasvatettua alkuperäiseen kokoon. Tämä tulee usein halvemmaksi, kuin uuden valssin hankkiminen. (Shebanits et al., 2012, s. 616.)

8 KUNNOSSAPIDON SUORITUS

Edellisessä kappaleessa esiteltiin kunnossapitomenetelmiä. Tässä kappaleessa kerrotaan mitä valssien kunnossapidon suorittamisessa tulee ottaa huomioon ja miten kunnossapito voidaan järjestää.

8.1 Valssien vaihtaminen ja varastointi

Kunnossapitotoimenpiteitä tehdessä valssaimeen vaihdetaan ensin uudet tai kunnostetut valssit, jonka jälkeen tuotanto voi jatkua sillä aikaa kun kuluneita valsseja kunnostetaan. Usein valssausta tekevillä yrityksillä on useampi pari rullia, joista toinen voidaan ottaa käyttöön silloin, kun toinen viedään kunnostettavaksi (Paschold, 2001, s. 17.)

Valssauslinjastossa voidaan järjestää valssainten vierelle laitteisto, jonka avulla vaihtaminen käy nopeasti. Vaihtovalssit ovat usein jo valmiina varalla valssainten vierellä, jolloin ne laitteiston avulla voidaan työntää suoraan paikalleen sen jälkeen, kun kuluneet valssit on poistettu. Tällä parannetaan tuottavuutta sillä valsseja vaihtaessa tuotanto on pysähdyksissä. Tällainen järjestely nähdään kuvassa 6. Kuvan keskiosassa sijaitsevat valssaimet ja niiden oikealla puolella on valssien vaihtamiseen tarkoitettu laitteisto sekä varalla olevia valsseja. (Siemens VAI, 2011, s. 1–2.)



Kuva 6. Valssauslinjan vierelle järjestetty laitteisto, jolla helpotetaan valssien vaihtoa (CMI, 2012).

Valssit on mahdollista vaihtaa myös manuaalisesti, mutta tämä kestää pidempään kuin valssin vaihtolaitteiston avulla; laitteiston avulla on mahdollista vähentää valssin vaihtamiseen kuluva aikaa noin 20 minuuttia. Valssien manuaalisessa vaihtamisessa on myös otettava huomioon valssien käsittelyn aiheuttamat turvallisuusriskit. (Siemens VAI, 2011, s. 1.)

Valssien nostotyössä tulisi käyttää vain siihen tarkoitettuja liinoja; esimerkiksi sähkömagneettia ei tulisi käyttää koskaan. Valssien nostoissa, liikuttamisessa sekä varastoinnissa tulisi ehkäistä valssin kolhiintuminen, sillä tämä voi aiheuttaa valssin vaurioitumisen. Lisäksi varastoinnissa tulisi ottaa huomioon varastotilan olosuhteet; lämpötila ei saisi vaihdella ja tulisi varmistua, ettei säilöntätilassa esiinny jäännösmagnetismia. (Union Electric Steel, 2013a, s. 1.)

8.2 Kunnossapidon järjestäminen

Kunnossapito voidaan suorittaa joko yrityksen omassa korjaamossa tai vaihtoehtoisesti valssi kunnostetaan alihankintana ja toimitetaan ulkopuoliselle yritykselle kunnostettavaksi. Valssauslaitteistoja valmistavilla ja kunnossapitopalveluita myyvillä yrityksillä on omia palveluja, joissa on monipuolisesti vaihtoehtoja valssien kunnossapidon suorittamiseksi. (Paschold, 2001, s. 17; SMS Siemag, 2014, s. 2.)

9 CASE-TAPAUKSET

Tässä kappaleessa esitellään haastattelujen pohjalta muodostetut case-tapaukset yrityksistä. Työhön valittuja yrityksiä olivat SSAB Raahe, Outokumpu Stainless Tornio ja Ovako Imatra, joiden valssauksesta vastaavia henkilöiltä haastateltiin sähköpostin välityksellä kysyen lista kysymyksiä. Kysymykset löytyvät liitteestä 1.

9.1 SSAB Raahe

Raahessa toimivalla SSAB:n terästehtaalla valmistetaan teräsnauhaa ja kvarttolevyä. Tässä kappaleessa tutkitaan tehtaan valssien käyttöä ja kunnossapitoa. SSAB:lla käytetään Davy:n valssaimia, joihin valsseja hankitaan useilta eri valmistajilta. SSAB:n käyttämiä valssien valmistajia ovat: Åkers, Union Electric Steel, Innse Cilindri, Walzen Irle, Kubota, Marichal Ketin, Whemco, Hitachi Metals, Eisenwerk Sulzau-Werfen, Villares Rolls, Karl Buch ja Gontermann-Peipers. (Alatulkkila & Korteniemi, 2016.)

SSAB:lla käytetään valssien materiaalina erilaisia pikateräksiä. Pääosin käytetään normaalia pikaterästä valssausprosessin alkuvaiheilla esivalssauksessa ja nauhavalssauksen neljässä ensimmäisessä valssaimessa. Nauhavalssauksen kahdessa viimeisessä valssaimessa käytetään pikaterästä, joka on muokattu kestävämpään paremmin iskuja. Valssien halkaisija on esivalssauksessa 945–1045 mm leveyden ollessa tällöin 3600 mm. Nauhavalssauksessa valssien halkaisija on 674–753 mm ja leveys normaalisti 2500 mm. Ensimmäisessä nauhavalssauksen valssaimessa valssin leveys on kuitenkin 1980 mm. Valssien jäähtymiseen käytetään vettä, jonka lisäksi valsseja voidellaan valssaimissa 2–4. (Alatulkkila et al., 2016.)

Valsseissa yleisin esiintyvä vaurio on palojälki, mikä syntyy kun valssin pinta on liian pitkään kosketuksissa kuuman valssattavan aihion kanssa. Myös isompia vaurioita voi syntyä kovan iskun seurauksena, jolloin valssin pintaan tulee särö. Jos tätä säröä ei huomata, voi se edetä, jolloin valssin pinnasta voi irrota suuri pala tai valssi voi mennä jopa kokonaan poikki. Tämän ehkäisemiseksi valsseille suoritetaan kuitenkin kunnontarkastusta silmämääräisesti, pyörrevirtatarkastuksella ja ultraäänimittauksella. (Alatulkkila et al., 2016.)

Työvalssien vaihtaminen kestää nauhavalssauksen valssaimilla noin 15–20 minuuttia. Esivalssauksen valssaimilla vaihtoaika on pidempi; tällöin vaihtaminen kestää noin 40 minuuttia. Vaihtamisen jälkeen kuluneiden valssien pinta hiotaan. Hionta suoritetaan työvalsseille säännöllisesti noin 2000–40000 valssatun tonnin välein. Valssien hionta suoritetaan tehtaan omissa tiloissa, joissa käytössä on viisi hiomakonetta. Valssien pinnalle ei kuitenkaan hionnan jälkeen suoriteta uudestaan lämpökäsittelyä. Lämpökäsittely tehdään kertaalleen valssien valmistajan toimesta ennen niiden tulemistä tehtaalle. (Alatulkkila et al., 2016.)

9.2 Outokumpu Stainless Tornio

Torniossa toimiva Outokummun terästehdas on erikoistunut ruostumattoman teräksen valmistukseen. Outokummun Tornion tehtailla käytetään Danieli -merkkisiä valssaimia. Tandemvalssauksessa käytetään 6-korkeaa valssainta, jolloin valssit ovat halkaisijaltaan 135–155 mm; muutoin käytetään 4-korkea tai 2-korkea valssaimia. 4-korkea valssaimessa valssit ovat halkaisijaltaan 400–450 mm. 2-korkea valssaimessa valssit ovat halkaisijaltaan 650–715 mm. Valssien valmistajia ovat muun muassa Sorbit, Sistemska ja Åkers. Valssien materiaalina käytetään tandemvalssauksessa pikateräksiä. (Sieppi, 2016.)

Valssien kulumisen ja niiden vaihtoväli ovat erilaisia eri osissa valssausketjua. Tandemvalssauksessa kuumanauvoilla nauhan tuottama ”hilse” eli nauhan oksidikerros kuluttaa valsseja etenkin nauhan reunojen alueelta, jolloin valssien vaihtoväli on keskimäärin noin viisi valssauskilometriä. Tandemvalssauksessa kylmänauvoilla puolestaan valssien vaihtoväli on keskimäärin noin kaksi valssauskilometriä. 2-korkea ja 4-korkea valssaimissa kulumisen on vähäisempää; valssien vaihtoväli ennen hiontaa on noin 100 valssauskilometriä. Valssien yleisin vauriotyyppi on ylimääräisten partikkelien aiheuttama koloutuminen. Valssien murtumat ja lohkeamat ovat harvinaisia. (Sieppi, 2016.)

Kuluneet valssit kunnostetaan hiomalla niiden pinta. Valssit tarkastetaan normaalioloissa silmämääräisesti, mutta mikäli valssi on vaurioitunut, käytetään tarkastamisessa myös tunkeumanestetarkastusta pinnan hiomisen jälkeen. Valsseille ei hionnan jälkeen suoriteta pintakäsittelyä. (Sieppi, 2016.)

Kuluneet valssit irrotetaan valssaimesta ja vaihdetaan kunnostettuihin käyttämällä automaattista kiskoilla kulkevaa valssinvaihtorobottia ja -vaunua. Tällaisen laitteiston avulla valssit saadaan vaihdettua muutamassa minuutissa. Valssien kunnostus suoritetaan omana työnä omissa tiloissa. Kuluneet valssit hiotaan käyttäen hiomakoneita. Tämän lisäksi vaurioituneiden valssien pinnalta sorvataan tarvittaessa materiaalia pois ennen hiontaa. (Sieppi, 2016.)

9.3 Ovakon Imatra

Ovakon terästehdas Imatralla valmistaa pääasiassa tankoja, joten valssit ovat geometrialtaan hieman erilaisia kuin mitä tässä työssä on tarkasteltu. Tällöin valsseissa on uria, joiden läpi valssattava aihio kulkee. Valssauksen periaate on kuitenkin sama, joten vertailua voidaan tehdä. Ovakolla käytetään Morgårdshammarin valssaimia ja valssit hankitaan useilta eri valmistajilta. Ovakon käyttämiä valssin toimittajia ovat: WHQ, Åkers, S&B, Irle sekä Karl Buch. Valssien materiaalina käytetään useita valuteräksiä ja valurautoja eri koostumuksilla. Karkeavalssauksessa käytetään erilaisia valurautoja, kun taas hienovalssauksessa käytetään sekä valuterästä, että valurautaa. (Dillström, 2016.)

Ovakolla ei ole ollut suuria ongelmia valssien kulumisen tai vaurioitumisen kanssa. Suurin syy valssien vaurioitumiseen on niiden katkeaminen, mutta tätä tapahtuu harvoin. Yhdistäviä tekijöitä valssien katkeamiselle on etsitty valssien materiaaleista, mutta näitä ei ole havaittu. (Dillström, 2016.)

Valssit kunnostetaan sorvaamalla urat uudelleen. Sorvaus suoritetaan omissa tiloissa itse. Karkeavalssauksen valssien pinnan urien sorvaus ajoitetaan etukäteen tehdyn laskennan ja silmämääräisen tarkastuksen mukaisesti. Hienovalssauksen puolella valssien sorvauksen ajoitus perustuu tehtyihin vuoroihin; tandemvalssauksen perättäisissä valssaimissa valssien sorvaus suoritetaan, kun ensimmäinen valssin ura saavuttaa etukäteen määritellyn valmistusmäärän tonneissa. (Dillström, 2016.)

Sorvauksen yhteydessä valsseille suoritetaan vain silmämääräinen tarkastus. Sorvauksen jälkeen valsseille ei myöskään suoriteta pintakäsittelyä. Pintakäsittelyä ei ole nähty tarpeelliseksi, koska valsseissa ei ole esiintynyt ongelmia. (Dillström, 2016.)

10 POHDINTA

Aiemmissa kappaleissa käsiteltiin kirjallisuuden ja haastattelujen pohjalta valsseja ja niiden kunnossapitoa. Tässä kappaleessa esitetään työn keskeisimmät johtopäätökset sekä pohditaan työn tuloksia.

10.1 Vertailu kirjallisuusselvityksen ja case-tapausten välillä

Vertailua kirjallisuusselvityksen ja case-tapausten välillä tehdessä havaittiin, että tiedot ovat pääosin samassa linjassa keskenään. Havaittiin esimerkiksi samoja suuntauksia valssien ja niiden materiaalin käytössä eri osissa valssausketjua.

Huomattiin kuitenkin, että terästehtaissa käytetään erilaisia kunnossapitomenetelmiä, etenkin valssien pinnoituksessa, huomattavan vähän. Tutkimusten perusteella erilaisia valssien pinnoitusmenetelmiä on useita, mutta haastatelluissa yrityksissä näitä ei käytetä. Tämä voi johtua siitä, että vaikka nämä voisivat lisätä valssien kestoikää, niiden käytölle ei ole nähty tarvetta. Näiden menetelmien käyttäminen tuo toki lisää kunnossapitokustannuksia, jonka vuoksi niitä ei välttämättä käytetä, mikäli ongelmia ei esiinny muutenkaan liiaksi.

Kaikki haastatellut terästehtaat hoitavat valssien kunnostuksen itse vaikka kirjallisuuskatsauksessa todettiin, että valssien kunnossapitotoimenpiteet voidaan tehdä myös alihankintana. Tämä on todennäköisesti seurausta siitä, että valsseille ei tehdä pinnoitusta. Mikäli valssin pinta kunnostetaan vain sorvaamalla tai hiomalla, on se helppo tehdä omana työnä, kun taas pinnoituksen toteutus on haastavampaa.

10.2 Tutkimuksen objektiivisuus

Tutkimus tehtiin yliopistolle eikä mikään yritys ollut vaikuttamassa tutkimuksen etenemiseen. Kirjoittajalla ei myöskään ole aikaisempia kontakteja haastateltuihin yrityksiin, jotka voisivat vääristää saatuja vastauksia. Lähteitä tutkimukseen etsittäessä käytiin läpi useita kaupallisia materiaaleja, mutta näitä tutkittiin hyvin kriittisesti pitäen mielessä niiden kaupallisuus.

10.3 Tutkimustulosten luotettavuus ja oikeellisuus

Tutkimuksen luotettavuutta pyrittiin parantamaan ristiin viittauksella eli löytämällä useampi samaa aihetta tukeva tieteellinen lähde. Suurin osa tiedosta pyrittiin löytämään tieteellisistä lähteistä, mutta etenkin työn loppupuolella myös kaupallisiin lähteisiin jouduttiin turvautumaan. Esimerkiksi kunnossapidon suorittamiseen liittyvää kappaletta kirjoitettaessa havaittiin, ettei löydetty aiheeseen liittyvää tieteellistä kirjallisuutta. Tällöin jouduttiinkin turvautumaan lähinnä laitevalmistajien huoltokirjoihin ja muihin kaupallisiin dokumentteihin. Näitä tukemaan kuitenkin kysyttiin haastateltavilta yrityksiltä varmennusta ja tarkennusta löydettyihin tietoihin.

Tutkimuksen toistettavuus pyrittiin varmistamaan kuvaamalla tiedonhakuprosessi mahdollisimman selkeästi omassa kappaleessaan ja toteuttamalla tiedonhaku systemaattisesti. Tiedonhakuprosessissa voi kirjoittajan näkemys vaikuttaa työssä käytettäviin lähteisiin, jotka voivat tuoda pieniä muutoksia tuloksiin. Ristiin viittauksella kuitenkin pyrittiin ehkäisemään tämän vaikutusta.

10.4 Johtopäätökset

Työssä havaittiin, että valssin perusmateriaalin valinta riippuu siitä missä kohtaa valssausketjua sitä tullaan käyttämään. Valsseilla voi myös olla haastavista käyttöolosuhteista johtuen tarvetta erilaisille pinnoitus- ja pintakäsittelymenetelmille, jotta valssin pinnan ominaisuuksia saadaan parannettua. Soveltuvin pintakäsittely riippuu siitä käytetäänkö sitä kuuma- vai kylmävalssauksessa.

Työssä havaittiin, että tärkeimmät valssien kunnan heikkenemistä aiheuttavat tekijät ovat suuren lämpötilan, pintapaineen ja pyörivän liikkeen aiheuttamat lämpöväsyminen ja pinnan väsyminen sekä abrasiivisen ja adhesiivisen kulumisen aiheuttama pinnanlaadun heikkeneminen ja kuluminen. Nämä puolestaan aiheuttavat ongelmina valssien vaurioitumista. Yleisimmiksi vauriomuodoiksi havaittiin säröily, pinnan kuluminen sekä lohkeamat. Eri vauriomuotojen ilmeneminen myös riippuu valssausprosessista eli kuuma- ja kylmävalssauksessa yleisimmin esiintyvät vauriomuodot ovat erilaisia.

Kunnossapitomenetelminä tarkasteltiin kunnontarkastusta sekä erilaisia ehkäisevän ja korjaavan kunnossapidon menetelmiä. Kunnonseurantaa varten käytetään yhdistetysti

ultraääni- ja pyörrevirtamittausta tutkimaan valssin pinnalla ja sisäosassa esiintyviä virheitä. Valssien vaurioitumista ehkäisevänä toimenpiteinä suoritetaan valssien jäähtytystä sekä kylmävalssauksessa myös valssiraon voitelua; nämä parantavat myös valssattavan materiaalin laatua. Valssien kunnostus suoritetaan sorvaamalla ja hiomalla niiden pinnalta valssauksessa syntyneet säröt ja kulumat pois luoden valssin pinnasta tasaisen ja virheettömän. Edellä esitettyjä valssin pinnan jälkikäsitteilymenetelmiä on myös mahdollista suorittaa pinnan kunnostuksen jälkeen parantamaan valssin ominaisuuksia. Case-tapausten perusteella kuitenkin huomattiin, että valssien pinnoitusta ei tehty haastatelluissa tehtaissa.

Kunnossapitomenetelmät pyritään toteuttamaan siten, että niistä on mahdollisimman vähän haittaa tuotannolle. Valssainten yhteyteen on mahdollista järjestää laitteisto valssien nopeaa vaihtamista varten. Valssien kunnostus voidaan tehdä joko yrityksen omissa tiloissa itse tai valssi voidaan toimittaa ulkopuoliselle yritykselle ja kunnostaa alihankintana. Case-tapausten perusteella huomattiin, että haastatelluissa yrityksissä kunnossapito tehtiin itse omissa tiloissa.

10.5 Tulosten uutuusarvo ja hyödynnettävyys

Tutkimus on kirjallisuusselvitys ja vaikka työssä ei varsinaisesti ole uutta tietoa, on saatavilla olevan tieteellisen tiedon saaminen yksiin kansiin hyvä asia. Tätä tieteellistä tietoa on myös verrattu terästehtaiden haastatteluiden perusteella saatuihin käytännön tietoihin. Tämän työn tietoja voi olla mahdollista hyödyntää etsittäessä mahdollisia syitä valssien kulumiselle tai tutkittaessa vaurioitumisia. Vaihtoehtoisesti työ voi toimia tiiviinä tietopakettina aiheeseen liittyen.

10.6 Jatkotutkimusaiheet

Tämä tutkimus on aiheeseen liittyvä yleiskatsaus, jonka pohjalta on mahdollista suorittaa rajatumpia syventäviä tutkimuksia. Tulevaisuudessa voitaisiin selvittää valssien käytettävyyteen vaikuttavia ilmiöitä yksityiskohtaisemmin tai tutkia valssin pinnoitusmenetelmien kehittämistä. Esimerkiksi voitaisiin tutkia valssien pintakarkaisua laserin avulla. Jonkin työssä esitellyn pinnoitusmenetelmän käyttöönotto terästehtaassa voisi olla hyvä tutkimusaihe, mikäli sille nähdään tarvetta. Olisi myös mahdollista tehdä vastaavanlainen tutkimus koskien tankojen valssauksessa käytettyjä valsseja.

11 YHTEENVETO

Tässä työssä tarkasteltiin valssien käytettävyyteen ja kunnossapitoon liittyviä asioita. Tutkimus toteutettiin kirjallisuusselvityksenä etsimällä tieteellisistä tietokannoista löytyviä tutkimuksia valssien käytöstä, vaurioista ja kunnossapidosta. Tätä täydennettiin valssausta tekevien yritysten haastatteluilla, joiden avulla saatiin käytännön näkökulmaa työhön muodostamalla yrityksistä case-tapaukset.

Kirjallisuusselvitys toteutettiin systemaattisesti hakemalla tieteellisiä artikkeleja useista tieteellisistä tietokannoista käyttämällä vakioituja hakusanoja. Löydettyistä lähteistä kerättiin työhön liittyvää tietoa, joka oli tarkoitus kerätä yksiin kansiin aiheeseen liittyväksi yleiskatsaukseksi. Tutkimusongelmana oli tiedon hajaantuneisuus useaan eri lähteeseen, johon tämän työn avulla pyrittiin saamaan ratkaisu.

Työn alussa tarkasteltiin valssia osana valssausprosessia sekä sen koostumusta ja valmistusta. Havaittiin käytetyimmät valssien materiaalit sekä valmistus- ja jälkikäsittelymenetelmät. Tämän jälkeen tarkasteltiin valssien käytettävyyttä, jolloin löydettiin tärkeimmät valssien käyttöolosuhteiden aiheuttamat ongelmat ja esiteltiin yleisimpiä vauriomuotoja. Huomattiin, että kuuma- ja kylmävalssauksessa esiintyy erilaiset olosuhteet, jotka osaltaan vaikuttavat erilaisten vauriotyyppien syntyyn. Seuraavaksi tutkittiin, miten valsseille suoritetaan kunnossapitoa ja verrattiin näitä tietoja yritysten haastatteluista saatuihin vastauksiin. Lopuksi pohdittiin työn tuloksia.

Kirjallisuudesta löydetyn tiedon yhdistäminen yrityksistä saatuun käytännön tietoon oli tärkeä osa tätä työtä ja tämä saatiin toteutettua. Vertailemalla tuloksia havaittiin, että kirjallisuuden ja haastatteluiden avulla saadut tiedot ovat pääpiirteittäin samassa linjassa keskenään. Käytännössä terästehtaissa kuitenkin hyödynnetään vähemmän erilaisia pinnoitusmenetelmiä, joilla olisi mahdollista pidentää valssien käyttöikää. Haastatelluissa terästehtaissa ei ole ollut ongelmia valssien kestoajan kanssa, joten pinnoitusmenetelmille ei ole nähty tarvetta.

LÄHTEET

Alatulkkila, K. & Korteniemi, J. 2016. RE: Kandidaatintyöhön kysymyksiä valsseista ja niiden kunnossapidosta [yksityinen sähköposti]. Vastaanottaja: Petri Auvinen. Lähetetty: 26.2.2016 klo 11.06 (GMT +0200).

Ansaharju, T. 2009. Koneenasennus ja kunnossapito. Helsinki: WSOY. 329 s.

Azevedo, C. & Neto, J. 2004. Failure analysis of forged and induction hardened steel cold work rolls. *Engineering Failure Analysis*, 11(6), s. 951–966.

Borisov, I. 2002. A study of heat-resistant steels for cold rolling rolls. *Metal Science and Heat Treatment*, 44(1–2). s. 20–23.

CMI. 2012. [kuva]. Muokattu 15.2.2012. [Viitattu 14.2.2016]. Saatavissa: <http://www.cmigroupe.com/upload/gallery/337/b-1024x768-CMI-rolling-mills-02-PW.jpg>

Colás, R., Ramírez, J., Sandoval, I., Morales, J. & Leduc, L. 1999. Damage in hot rolling work rolls. *Wear*, 230(1). s. 56–60.

De Mello, J., Gonçalves, J. & Costa, H. 2013. Influence of surface texturing and hard chromium coating on the wear of steels used in cold rolling mill rolls. *Wear*, 302(1-2). s. 1295–1309.

Dillström, S. 2016. RE: Kandidaatintyöhön kysymyksiä valsseista ja niiden kunnossapidosta [yksityinen sähköposti]. Vastaanottajat: Petri Auvinen. Lähetetty: 26.2.2016 klo 15.00 (GMT +0200).

ESAB, 2015. Korjaus- ja kunnossapitohitsaus. [verkkodokumentti]. Muokattu 16.2.2015. [Viitattu 20.10.2015]. Saatavissa: http://www.esab.fi/fi/fi/support/documentation/educational/upload/korjaus_ja_kunnossapitohitsaus.pdf

Ihalainen, E., Aaltonen, K., Aromäki, M. & Sihvonen, P. 2005. Valmistustekniikka. 11. painos. Helsinki: Otatieto. 490 s.

Jelali, M. 2013. Control Performance Management in Industrial Automation. *Advances in Industrial Control*. s. 403–440.

Jiang, Z. & Tieu, A. 2007. Contact mechanics and work roll wear in cold rolling of thin strip. *Wear*, 263(7–12). s. 1447–1453.

Joos, O., Boher, C., Vergne, C., Gaspard, C., Nylen, T. & Rezaï-Aria, F. 2007. Assessment of oxide scales influence on wear damage of HSM work rolls. *Wear*, 263(1–6). s. 198–206.

Kalpakjian, S. & Schmid, S. 2010. *Manufacturing Engineering and Technology*. Prentice Hall. s. 316-334.

Krot, P.V. 2011. Statistical Dynamics of the Rolling Mills. *IUTAM Symposium on the Vibration Analysis of Structures with Uncertainties, IUTAM*, 27. s. 429–442.

Kuvshinnikov, O., Labut', M., Shcherbinskii, V., Samedov, Y. & Artem'ev, S. 2003. Automatic Units to Monitor Rolling-Mill Rolls during Service. *Metallurgist*, 47(9/10). s. 369–372.

Li, H., Jiang, Z., Tieu, K. & Sun, W. 2007. Analysis of premature failure of work rolls in a cold strip plant. *Wear*, 263(7–12). s. 1442–1446.

Matviyenko, V.N. Leshchinskiy, L.K. Stepnov, K.K. Schebanits, E.N. & Omelyanenko, N.I. 2014. Hardening rolling rolls by hardfacing with an alloyed strip electrode under a ceramic flux. *Welding International*, 28(1). s. 65–69.

Murikov, S.A., Artem'ev, I.A., Murikov, E.S., Kudryashov, A.A., Urtsev, V.N., Nichipuruk, A.P. & Stashkov, A.N. 2011. Roller diagnostics in hot-rolling mills on the basis of the coercive force. *Steel in Translation*, 41(11). s. 954–957.

Ould, C., Badiche, X., Montmitonnet, P. & Gachon, Y. 2013. PVD coatings for mill rolls for cold rolling of high carbon steel strips—Laboratory tests. *Wear*, 306(1–2). s. 103–112.

Paschold, R. 2001. Submerged-arc strip cladding of continuous casting rollers using OK Band 11.82 and OK Flux 10.07. *Svetsaren*, 56(1). s. 17–19.

Pellizzari, M., Molinari, A. & Straffelini, G. 2005. Tribological behaviour of hot rolling rolls. *Wear*, 259(7-12). s. 1281–1289.

Prasad, M.S., Dhua, S.K., Singh, C.D. & Ray, A. 2005. Genesis of Spalling in Tandem Mill Work-Rolls: Some Observations in Microstructural Degeneration. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 56(6). s. 30–38.

Prasad, M.S., Ray, A., Dhua, S.K., Avtar, R. & Jha, S. 2004. Premature Failure of Work-Rolls in Tandem Mill: Some Microstructural Revelations. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 4(3). s. 67–72.

Qiong, W., Da-le, S., Chang-sheng, L. and Chun-guang, L. 2008. Analysis of surface and sub-surface initiated spalling of forged cold work rolls. *Engineering Failure Analysis*, 15(4). s. 401–410.

Ray, A., Mishra, K., Das, G. & Chaudhary, P. 2000. Life of rolls in a cold rolling mill in a steel plant-operation versus manufacture. *Engineering Failure Analysis*, 7(1). s. 55–67.

Saboonchi, A. & Abbaspour, M. 2004. Changing the geometry of water spray on milling work roll and its effect on work roll temperature. *Journal of Materials Processing Technology*, 148(1). s. 35–49.

Saniei, M. & Salimi, M. 2006. Development of a mixed film lubrication model in cold rolling. *Journal of Materials Processing Technology*, 177(1-3). s. 575–581.

Shebanits, E., Omelyanenko, N., Kurakin, Y., Matvienko, V., Leshchinskii, L., Dubinskii, B. & Stepnov, K. 2012. Improving the fracture toughness and wear resistance of hard-faced hot-rolling-mill rolls. *Metallurgist*, 56(7-8). s. 613–617.

Siemens VAI. 2013. [kuva]. Muokattu 20.6.2013. [Viitattu 14.2.2016]. Saatavilla: http://www.siemens.com/press/pool/de/pressebilder/2012/industry/metals-technologies/300dpi/imt201206146-01_300dpi.jpg

Siemens VAI. 2011. Roll change system for cold mills. [verkkodokumentti]. Muokattu 6.9.2011. [Viitattu 14.2.2016]. Saatavissa: <http://www.industry.siemens.com/datapool/industry/industrysolutions/metals/siroll/en/Roll-Chance-System-en.pdf>

Sieppi, J. 2016. RE: Kandidaatintyöhön kysymyksiä valsseista ja niiden kunnossapidosta [yksityinen sähköposti]. Vastaanottajat: Petri Auvinen. Lähetetty: 16.3.2016 klo 13.31 (GMT +0200).

Simão, J. & Aspinwall, D. 1999. Hard chromium plating of EDT mill work rolls. *Journal of Materials Processing Technology*, 92–93. s. 281–287.

SMS Siemag, 2014. Advanced Roll Maintenance For Increased Productivity. [verkkodokumentti]. Muokattu 11.6.2014. [Viitattu 16.1.2016]. Saatavissa: <http://www.sms-millcraft.us/Literaturepdfs/Advanced%20roll%20maintenance.pdf>

Sudipta, S. & Shylu, J. 2007. Effect of Water Jet Orientation and Other Controlling Parameters on Work Roll Temperature in a Hot Strip Mill. *Materials and Manufacturing Processes*, 22. s. 128–134.

Talmazan, V., Krivtsova, O., Gel'manova, Z., Viventsov, A. and Arbutov, A. 2015. Improving the Methods of Roll Use on Rolling Mills at the Arelormittal Temirtau. *Metallurgist*, 58(9-10). s. 896–903.

Union Electric Steel. 2013a. Roll handling and storage. [verkkodokumentti]. Muokattu 26.7.2013. [Viitattu 14.2.2016]. Saatavissa: http://www.uniones.com/technical_manuals/Forged/Watermark/VII%20-%20Roll%20Handling%20and%20Storage.pdf

Union Electric Steel. 2013b. Roll surface indications: Fire crazing. [verkkodokumentti]. Muokattu 26.7.2013. [Viitattu 16.1.2016]. Saatavissa: http://www.uniones.com/technical_manuals/Cast/Watermark/II.A.Fire%20crazing%20Rev6.pdf

Ziehenberger, K. & Windhager, M. 2007. State of the art work rolls for hot rolling flat products. CONAC 2007 – 3rd Steel Industry Conference and Exposition. ESW. s. 1-12.

YRITYKSILLE ESITETYT KYSYMYKSET

1. Minkä valmistajan laitteistoa käytetään?
2. Mitä materiaalia työvalssit ovat?
3. Mitä eroja työvalsseissa on eri osissa valssausketjua?
4. Onko havaittu selittäviä tekijöitä valssien pinnan kulumiselle tai valssien vaurioitumiselle?
5. Mitkä ovat yleisimmät työvalssien vauriomuodot?
6. Valssien jäähtytys ja voitelu?
7. Työvalssien pinnan kunnostus?
8. Tehdäänkö valsseille kunnontarkastusta?
9. Suoritetaanko valssin pinnalle pintakäsittelyä tai pinnoitusta?
10. Valssien vaihtaminen; kuinka nopeaa ja miten tehdään?
11. Kunnossapidon suoritus: itse vai alihankintana?