

 **innove**
kutseharidus



LEHTMETALLI TÖÖLEMISTEHNOLOOGIAD

ÕPPEMATERJAL KUTSEKOOULIDELE
REIN PIKNER, ALEKSEI SAAREVÄLI



LEHTMETALLI TÖÖTLEMISTEHNOLOOGIAD

Õppematerjal kutsekoolidele

Rein Pikner

Aleksei Saareväli

Tallinn 2014

Käesolev õppematerjal on valminud „Riikliku struktuurivahendite kasutamise strateegia 2007-2013” ja sellest tuleneva rakenduskava „Inimressursi arendamine” alusel prioriteetse suuna „Elukestev õpe” meetme „Kutseõppe sisuline kaasajastamine ning kvaliteedi kindlustamine” programmi „Kutsehariduse sisuline arendamine 2008-2013” raames.

Õppematerjalide koostamisel on lähtutud valdkonna kutsestandardite nõuetest ja tööstuse vajadustest. Õppematerjalid on vastavuses riiklike õppekavadega ja abisatavad kutseõppeasutuste õppureid edasiseks tööks vajalike teadmiste omandamisel. Kompetentne töötaja omab eeldusi tööturul tugevama positsiooni saavutamiseks. Väga vajalik on, et iga töötaja töökohal oskaks parimal võimalikul viisil kasutada vastavaid seadmeid ja tehnoloogiaid ning tunneks kulusäästliku ja tulemusliku töö põhimõtteid.



Mehaanika ja metallitöödega seotud sari sisaldab alljärgnevat õppematerjale kutsekoolidele:

1. Tootmise korraldamine;
2. Mehaanilise töötlemise tehnoloogiad ja kasutatavad seadmed;
3. Metalltoodete valmistamine, koostamine ja viimistlemine;
4. Keevitustööd;
5. Lehtmetalli töötlemistehnoloogiad;
6. Mehhatroonika komponendid;
7. Robotitehnika kutsekoolidele.

Kogu sarja ettevalmistuse ja eestvedamise juures on olnud: Jüri Riives, Tõnu Lelumees, Jaak Lavin, Triin Ploompuu, Lii Topaasia, Helina Seljamäe, Leelo Kingisepp ja Piret Kärtner.

ISBN 978-9949-547-84-5 (pdf)

Autoritest

	<p>Rein Pikner on arendusmeelne ja pikaajaline Tallinna Tööstushariduskeskuse metalli- ja keevituseriala juhtõpetaja.</p> <p>Varasemalt töökogemused on seotud erinevate tehnoloogiavaldkondadega spetsialisti tasemest kuni tippjuhtimiseni välja (Näiteks: Mistra, Klementi), mis teevad temast hinnatud pedagoogi.</p>
	<p>Aleksei Saareväli on Tallinna Tööstushariduskeskuse metallieriala kutseõpetaja, kes on end varasemalt teostanud erialasel tööl erasektoris.</p> <p>Aleksei tunneb huvi uute lahenduste leidmise ja nende ellu rakendamise osas.</p>

Sisukord

Sissejuhatus	7
Õpiku kasutajale	7
1 Lehtmaterjalide töötlemismeetodid ja nende kasutamisetstarbekus	9
1.1 Lehtmaterjali töötlemise koostise koostamine majanduses	9
1.2 Lehtmaterjali töötlemismeetodid	13
2 Tootmise ettevalmistus	18
2.1 Materjalid, markeeringud, omadused	20
2.1.1 Terased	23
2.2 Tööjooniste analüüs	27
2.3 Materjalikäsitus	29
3 Töötlemistehnoloogiad (seade ja tehnoloogia)	32
3.1 Giljotineerimine	32
3.1.1 Mõiste ja olemus	32
3.1.2 Giljotiinide tüübid	32
3.1.3 Giljotiinide liigitamine terade liikumisviisi alusel	33
3.1.4 Giljotiinide liigitamine ajamite alusel	34
3.1.5 Suruõhuga töötavad giljotiinid	34
3.1.6 Mehaanilised giljotiinid	35
3.1.7 Hoorattaga mehaanilised giljotiinid	35
3.1.8 Hüdromehaanilised giljotiinid	36
3.1.9 Hüdraulilised giljotiinid	36
3.1.10 Töövõtted	37
3.1.11 Teradevaheline pilu	38
3.1.12 Õige teradevahelise pilu valiku tähtsus	40
3.1.13 Giljotineerimiseks vajalikud jõud	42
3.1.14 Terade sisenemise sügavus	42
3.1.15 Giljotiini terad	43
3.1.16 Kumerus	46
3.1.17 Kaar	48
3.1.18 Amada GS II masina ehitus	48
3.1.19 Giljotineerimise ohutusjuhend	50
3.2 Gaasi- ja plasmalõikus	51
3.2.1 Gaaslõikus	55
3.2.2 Lõikamisel kasutatavad põlevgaasid	58
3.2.3 Lõikepõleti ja metallide lõikamise olemus	74
3.2.4 Hapniklõikamise tehnoloogia ja ettevalmistused lõikamiseks	78
3.2.5 Gaasileegiga lõigatavate metallide keemiline koostis maksimaalsete keemiliste elementide sisalduse puhul	80
3.2.6 Plasmalõikamine	81
3.2.7 Plasmalõikamise alused. Mis on plasma?	82
3.2.8 Põleti kasutamine	85
3.2.9 Plasmageneraator	87
3.2.10 Lõikestrateegia	88
3.2.11 Üleskerkimine	89

3.2.12	Mitteplaneeritud liikumine	90
3.2.13	Leek ei põle	91
3.2.14	Lõikamine NC andmebaasi kasutamisega CNC plasmalõikepingil	91
3.2.15	CNC programmeerimise tutvustus (Introduction to CNC Programming)	94
3.2.16	Andmemenüü. Sisestusmenüü. NC koodid (File Menu. Edit Menu. NC Code).....	96
3.2.17	Põleti häälestamine (Torch Setup).....	96
3.3	Laserlõikus.....	98
3.3.1	Seadmed	100
3.3.2	Laseri resonator.....	101
3.3.3	Laserkiir.....	102
3.3.4	Laserkiire edastussüsteem	104
3.3.5	Seadme liigutamissüsteemide kontseptsioonid	106
3.3.6	Vesijahutus	107
3.3.7	Abigaas	108
3.3.8	Erinevate abigaaside eelised/puudused	108
3.3.9	Abigaasiga varustamine.....	109
3.3.10	Lasergaasi tüübid.....	111
3.3.11	Füüsilised muutujad.....	111
3.3.12	Ettevaatusabinõud lõikamisel.....	118
3.3.13	Seadme opereerimine	120
3.3.14	Töötamine ohupiirkonnas.....	120
3.3.15	Operaatori ohutus	121
3.3.16	Masina ohutus.....	121
3.4	Painutamine painutuspressidel.....	122
3.4.1	Painutamise alused	122
3.4.2	Seos painutusnurga ja vajaliku painutusjõu vahel.....	123
3.4.3	Painutusnurga tagasivetrumine.....	124
3.4.4	Positiivne ja negatiivne tagasivetrumine	126
3.4.5	Õhkpainutus ja vermimine.....	127
3.4.6	Põhjapainutus	127
3.4.7	Osaline painutus	128
3.4.8	Vermimine	129
3.4.9	Erinevate painutusmeetodite valiku alused	130
3.4.10	Painutustabeli kasutamine	131
3.4.11	Painutatava serva minimaalne laius.....	133
3.4.12	Pinnalaotuse arvutamine lõpptoote joonise põhjal	133
3.4.13	Üldine informatsioon tööriistade kohta	134
3.4.14	Tööriista ristlõige.....	136
3.4.15	Matriits	136
3.4.16	Painutuspressi ehitus	137
3.4.17	Ohutustehnika nõuded painutuspingiga töötamisel.....	139
3.5	Vesilõikus	141
3.5.1	Protsess ja meetodid	142
3.5.2	Abrasiivne vesilõikus	145
3.5.3	Lõikekvaliteet sõltuvalt ettenihkest.....	147
3.5.4	Lõikeparameetrid.....	150
3.5.5	Tolerantsid ja pinnakvaliteet	153
3.5.6	Düüsid.....	154
3.5.7	Abrasiivid	156
3.5.8	Vesilõikuse eelised ja puudused	158

3.5.9	Abrasiivse vesilõikuse rakendused	160
3.6	Lehtstantsimine (Punching)	162
3.6.1	Revolverstantsi ehitus	162
3.6.2	Seadme raam	162
3.6.3	Löögihaamri ajam	163
3.6.4	Lehe liigutamissüsteem	164
3.6.5	Revolver	165
3.6.6	Tööriistade õlitussüsteem	167
3.6.7	CNC juhtpaneel	168
3.6.8	Stantsimise põhitõed	169
3.6.9	Tööriistad	172
3.6.10	Mehaaniline ajam	173
3.6.11	Hüdraulilised ja servo-elektilised ajamid	173
3.6.12	Tööriistade teritamine	174
3.6.13	Tööriista pikkus (A- ja B-pesa standardtööriistad)	174
3.6.14	Tööriista pikkus (C-, D- ja E-pesa standardtööriistad)	175
3.6.15	Matriitside teritamine	176
3.7	Tootmise efektiivsus	176
3.8	Töötlemisaja arvutus	178
3.9	Omahinna kujunemine	180
4	Juhtimisprogrammide ettevalmistamine	183
4.1	Juhtimisprogrammide koostamise põhimõtted	183
4.1.1	CAD-programm	185
4.1.2	CAM-programm	185
4.1.3	Tootmisprogramm	186
4.2	Tööpinkide juhtimissüsteemid ja nende kasutamine	186
5	Kvaliteedikontroll ja kvaliteedi tagamine	188
6	Töötervishoid ja tööohutus	190

Sissejuhatus

Õpiku kasutajale

Käesolev õpik on ette nähtud kutsekoolis ainetunde läbi viivatele õpetajatele ja õppima asuvatele õpilastele esmateadmiste omandamiseks lehtmetsa töötlemisest erinevatel tööpinkidel, aga ka selles vallas juba töötavatele inimestele, kes tahavad oma teoreetilisi teadmisi värskendada või täiendada. Õpiku koostamine tugineb vajadusele anda õppijatele teadmisi Eesti Vabariigi kutsestandardiga ja riikliku õppekavaga „APJ lehtmetsa töötlemispinkide operaator“, tase 4 ja 5, määratud erialaliste oskuste omandamiseks. Lisaks eeltoodule pöörab kutsestandard suurt tähelepanu tootlikkuse ja efektiivsuse tõstmisele väärtuste loomise protsessis, mis seab tööpingi operaatorite ette kõrgendatud nõuded teabeoskuse rakendamisel. Kõrge tootlikkuse omandamine ja selle rakendamine oma igapäevases töös on kõigi töötajate esmane ülesanne olenemata ettevõtte tegevusprofiilist ja spetsiifikast.

APJ lehtmetsa töötlemispinkide operaatori eriala eeldab lisaks tööpinkide ehituse ja töötlemistehnoloogiaalaste teadmiste omandamisele ka vajalikke eelteadmisi metallidest, nende põhiomadustest ja töödeldavusest tööpinkidel; tööjooniste lugemise ja töötulemuste mõõtmise kohta; tootmise efektiivsusest; juhtimisprogrammide ettevalmistamisest; kvaliteedi kontrollimises ning tööohutusest.

Õpiku materjal on jaotatud peatükkideks ja alapeatükkideks ning teadmiste paremaks omandamiseks on tekst täiendatud illustreeritud skeemide ja fotodega. Iga alapeatüki nimetuse järel on kolm kuni viis küsimust, millele leiab vastuse alapeatükis toodud informatsiooni läbi töötades. Iga alapeatükk lõpeb omandatud teadmiste endapoolseks hindamiseks kontrollküsimustega.

Oluline teave on esile tõstetud paksendatud või kaldkirjas või allajoonituna. Lisaks on õppematerjali väljatöötamisel kasutatud kirjanduse loeteludes lingid, mille avamine võimaldab omandada täiendavaid teadmisi või illustreerib juba õpitut.

Teadmiste kinnistamiseks ja õpiväljundite saavutamiseks on õppijal vaja lahendada lihtsamaid ülesandeid õpikus toodud valemeid kasutades ning tuginedes juba omandatud matemaatika-, geomeetria- ja füüsikaalastele teadmistele. Raskendatud arusaamise korral on soovitatav pöörduda teadmiste hankimiseks täiendavate infoallikate poole interneti võimalusi kasutades.

Käesoleva õpiku sisu ja maht hõlmavad olulisi arusaamu ja teadmisi lehtmetailide töötlemisest erinevatel tööpinkidel. Töötlemistehnoloogiate ja tööpinkide täiustamine eeldab õpikule teise osa või täienduste kirjutamist hiljemalt paari aasta jooksul. Kuna tegemist on kutsekoolidele mõeldud õpikuga, siis on igasugune tagasiside autoritele teretulnud.

Autorid on tänulikud kõigile, kes selle õpiku valmimisele on kaasa aidanud, eeskätt Jüri Riives'ele ja Triin Ploompuu'le.

1 Lehtmaterjalide töötlemismeetodid ja nende kasutamisotstarbekus

1.1 Lehtmetalli töötleva tööstuse koht majanduses

1. Mis on kiirtootmine? Tahad seda teada?
2. Milline võiks olla allhankemahu osatähtsus Eesti metallitööstuse?
3. Äkki sa juba tead, kui palju on töötajaid Eesti metallitööstuses?

Metallitööstus on rahvamajanduse alustala, mille olemasolu ja tase määrab ära riigi jätkusuutlikkuse nii lühemas kui ka pikemas perspektiivis.

Metallide avastamine ja kasutuselevõtt on võimaldanud inimkonnal luua masinaid, seadmeid, konstruktsioone ning nende kombinatsioone oma elu kergendamiseks ja uute teadmiste hankimiseks. Metallitööstuse üheks alaliigiks on lehtmetailitööstus, ilma milleta ei sõidaks merel suure kandevõimega laevad ega lendaks kosmosesse inimene uute avastuste järele.

Lehtmetaili tootmine saab alguse metallurgiakombinaatidest, kus toodetakse eri paksuse ja koostisega lehtmaterjali vastavalt töötleva tööstuse nõudmistele.

Tänapäevastele teadmistele ja rahvamajanduse üha suurenevatele vajadustele tuginedes on väga oluline kiirendada tootmisprotsesse kogu oma mitmekesisuses, arvestades seejuures ressursside igakülgset ökonoomset kasutamist. Seda eesmärki on teeninud ja teenib uute tootmiseseadmete valmistamine ja nende jätkuv üleminek automatiseeritud juhtimissüsteemidele.

Arvutite abil juhitud tootmiseseadmete ja -liinide arendamine on võimaldanud hüppeliselt tõsta tootlikkust ja tagada toodete kõrge kvaliteet. Kiirtootmine (KT), inglise keeles Rapid Manufacturing (RM), on 21. sajandil tööstuse moderniseerimise võtmesõna, mis tähendab tootmisprotsessi kõikide osategevuste tootlikkuse tõstmist ja kvaliteetse väljundi tagamist.

Eesti metallitööstuse taseme võrdlemisel teiste industriaalriikidega tuleb kahjuks konstateerida meie mahajäämust peaaegu kõigis valdkondades. Käesoleval ajal teeb Eesti metallitööstus valdavalt allhanketöid. Enamik ettevõtteid alles hakkab mõtlema tootearendusele, oma toote tegemisele ning turul sobiva niši leidmisele. Samas võib tõdeda osade ettevõtete kiiret

tehnoloogia-alast esilekerkimist, tootlikkuse kasvu ja konkurentsivõime positsiooni olulist tõusu just viimasel ajal.

Eesti masina- ja metallitööstus on oma 150-aastase ajalooga üheks traditsioonilisemaks ja edukamaks tööstusharuks töötleva tööstuse sektoris, mille iseloomustamiseks on sobiv nimetada selle tööstusharu toodangu järjest suurenevat välistellimuste mahtu. Samas peab tõdema, et kogu metallide ja metalltoodete ekspordist moodustab metalli kui toormaterjali vahendustegevus ligi 40%.

Metallitööstusettevõtetes töötab Eestis üle 11.000 inimese, mis on toiduaine- ja puidutööstuse järel üks suuremaid tööstusharusid. Harus tegutseb ligi tuhat ettevõtet. Metallitööstus on kontsentreerunud Tallinna ja selle lähiümbrusesse (üle poole töötajatest) ning Ida-Virumaale ja ka Tartu ning Tartu piirkonda. Suuremad ettevõtted on aktsiaseltsid/osaühingud Kohimo, Cargotec Estonia, BLRT Marketex, Remeksi Keskus, E-Profiil (metallkonstruktsioonid), ArcelorMittal Tallinn (galvaniseeritud teras), Ruukki Products, Saku Metall (ehituskonstruktsioonid), Eesti Energia Tehnoloogiatööstus (elektrijaamadele vajalike toodete tootmine ja nende teenindamine), Hanza Mechanics Tartu, Favor, AQ Lasertool, Norcar-BSB Eesti (seadmed, väiketraktorid), Sumar (tööriistad, pressvormid), Bestnet, Metalliset Eesti (metallitöötlemine) ja Metaprint (metalltaara tootmine), jt.

Masinaehitus on iseseisev tööstusharu. Aga kuna masinaehitus pakub teistele tööstusharudele põhivara ja tehnoloogiaid, toimib see ka aktiivse vahendajana, avaldades olulist mõju paljudele teistele majandusvaldkondadele. Masina-, metalli- ja aparaaditööstus on uuenduslik ja strateegiline tööstusharu, mis on Euroopas juhtpositsioonil.

See on kõrge lisandväärtusega teadmistepõhine tööstusharu, mis varustab teisi majandusvaldkondi mitmesuguste seadmete ja mehhanismidega, tootmissüsteemide ja toodetega, vajalike tehnoloogiate ja erialaste teadmistega. Masinaehitus annab olulise panuse ka jätkusuutlikkusse, sest võimaldab tõhusamat tootmist ning seeläbi ressursside kasutamise lahtisidumist majanduskasvust.

Masinaehitus ei ole ühtne sektor, vaid hõlmab väga erinevaid alamvaldkondi: tõste- ja teisaldusseadmed; tööpingid ja tootmisliinid; puidu- ja paberitöötlemisseadmed, jahutus- ja ventilatsiooniseadmed, mootorid, turbiinid ja ventilaatorid, põllumajandusseadmed, kaevandus-, karjääri- ja ehitusseadmed; ehituslikud konstruktsioonid; laagrid, ülekandeseadmed, hammasrattad ja ajamid; kraanid ja ventiilid; toiduaine-, joogi- ja tubakatööstuse seadmed; põllumajandusmasinad; paberi- ja puidutootmiseseadmed; tööstusahjud ja põletid; metallurgiaseadmed, laevaehitus jms.

Masinatööstus kui valdkond integreerub üha rohkem teiste tööstusvaldkondadega, eeskätt automaatika, energeetika ja infotehnoloogiaga.

Eelmise sajandi algusaastaid iseloomustas masstootmine. See eeldab väikest toodete nomenklatuuri, mida aga suurtes kogustes (mõiste “suur” on suhteline ja aastate jooksul oluliselt muutunud) pidevalt toodetakse. Sellise tootmise tüüpesindajaks oli H. Fordi juurutatud autode tootmise konveiersüsteem. Edasine areng on aga liikunud kindlalt kliendikesksuse suunas. Kliendikesksusest tulenevalt on tootjale pühad kliendi soovid ja ootused. See on põhjustanud toodete nomenklatuuri kasvu ja sama tüüpi toodete valmistuskoguste vähenemise.

Tööstusharus töötavate inimeste ajalooline kogemus ja vastavate õppeasutuste insener-tehnilise personali ettevalmistamine on võimaldanud tagada selle majandusharu jätkusuutlikkust ja arengut Eestis. Metallitööstuse tootmismahdade suurenemine kiirtootmise juurutamisega ja järjest keerukamate tootmiseseadmete kasutuselevõtt on tõstnud riigi ja selle valdkonna ettevõtete ette jätkuva vajaduse kvalifitseeritud tööpingioperaatorite järele. Sellistel tööpinkidel töötamine nõuab operaatoritelt häid teoreetilisi teadmisi ja praktilisi oskusi, neid valmistavad sellisteks töödeks ette kutseõppeasutused.

Metallitööstuse järjest suureneva valdkonna moodustab lehtmetailist toodete valmistamine ja sellele vastava pingipargi soetamine ettevõtete poolt. Lehtmetailitööstus valmistab tooteid peaaegu kõikidele tootmisettevõtetele, kaasa arvatud ehitustööstusele. Lasertehnoloogia väljatöötamise järel tulid laialt kasutusse laserlõikepingid, veejoaga lõikamistehnoloogia on võimaldanud välja töötada vesilõikepingid.

Painutusoperatsioone teostavad painutuspingid, plasmalõikustehnoloogia väljatöötamise tulemusena on valminud plasmalõikepingid. Giljotineerimistehnoloogia areng, infotehnoloogia ja teaduspõhine lähenemine pingitööstuses on loonud täiesti uued võimalused lehtmetailide töötlemiseks.

Uute tehnoloogiate kasutuselevõtt lehtmetailide töötlemisel on võimaldanud vähendada materjalimahukust, kuid samal ajal taganud toodetavate detailide jäikuse ja tugevuse. Lehtmetaili ümbertöötlemistööstuse areng Eestis on loonud vajaduse uue eriala tekkeks, mille kutsestandard nägi ilmavalgust 2013. aastal ja kannab nimetust „APJ lehtmetailitöötlemispinkide operaator“. Kutsestandardi alusel koostatud riiklik „APJ lehtmetailitöötlemispinkide operaatori“ õppekava

tegi võimalikuks selle eriala õpetamisega alustamise 2014./2015. õppeaastal mitmes Eesti kutse-õppeasutuses.

APJ lehtmetailitöötlemispinkide operaatorite ettevalmistamise alustamisega kaasnes vajadus koostada kutsekoolidele vastava sisuga õppematerjal. See ajendas kirjutama käesolevat õpikut, kuhu on kokku koondatud oskusteave selle eriala õpetamiseks.

Lehtmetailist väga erinevate detailide tootmine kõrgtehnoloogilistel tööpinkidel nõuab kvalifitseeritud töötajaid, kelle oskusteabe hulka peab kuuluma arvutisüsteemide toel detailide valmistamise juhtprogrammide koostamine, pinkide häälestamine ja tööjoonises ettenähtud mõõtudega toodete väljalase.

Lehtmetaili erinevate töötlemistehnoloogiate tundmine võimaldab pingioperaatorit operatiivselt ümber paigutada eriliigilistele tootmisseadmetele, millega kaasneb tööpinkide parem ajaline kasutamine tööprotsessis. Ebarütmiline ja allhankel põhinev tootmine toob paratamatult endaga kaasa vajaduse operatiivselt tootmiskorraldust muuta ja töötajaid ümber paigutada. Tööjõu kitsa spetsialiseeritusega on see raskendatud, kui mitte võimatu.

Lehtmetailide kasutamisel baseeruv tööstus on ja jääb rahvamajanduse üheks olulisemaks tegevusvaldkonnaks tootmisseadmete ja konstruktsioonide valmistamisel.



Joonis 1.1 Metallitöötlemisettevõtte Hyrles lehetöötluskeskus.

1.2 Lehtmetalli töötlemismeetodid

1. Milline on sinu arust parim ja lihtsaim õhukese teraslehe kvaliteetne tükeldusmeetod koduses majapidamises?
2. Millise tükelduspingi sa ostaksid ettevõttele 10 mm paksuste teraslehtede tükeldamiseks, kui kasutatava terase kõvadus ei tohi ületada 45 N/mm² HRB?
3. Kui pika 3 mm paksusega lehtmetalliriba sa võtaksid, et teha 90° paine, kui haarade pikkused peavad olema 120 mm ja 80 mm?
4. Oled sa kuulnud gaas- ja plasmalõikuspinkidest lehtmetalli tükeldamiseks?

Lehtmetalli töötlemismeetodid tulenevad konkreetsetest vajadustest ja valitava meetodi majanduslikust otstarbekusest. Kõige esmaseks meetodiks on lehtmetalli tükeldamine tema edasiseks töötlemiseks. Järgmisteks lehtmetalli töötlemismeetoditeks on väljalõigatud detailide painutamine, detailide valmistamine laserlõikamise ja stantsimise teel, detailide kokkuliitmine keevituse, poltühenduse, neetamise või liimimisega. Kõik need meetodid varieeruvad erinevates kombinatsioonides ja tehnoloogiliste lahendustena.

Lehtmetalli tükeldamiseks kasutatakse peamiselt saagimist ning giljotineerimist, gaasi-, plasma- ja veejoaga lõikamist. Ühe või teise tükeldusmeetodi valiku määrab lehtmetalli keemiline koostis ja tema mehaanilised omadused, aga samuti see, kas seda tehakse koduses majapidamises või tööstusettevõttes. Kõige lihtsam ja üks vanemaid viise on lehtmetalli tükeldamine saagimisega.

Kui sul on koduses majapidamises kruustangid ja käsisaag metalli lõikamiseks ning on vaja lõigata õhukest metalli, siis pressi enne saagimist metallileht kruustangides kahe sileda puuklotsi vahele ja sa saad suurepärase lõike. Käsisaagidele lisandusid möödunud sajandil mehaanilised saelehtedega pingid, millede asemel töötavad tänapäeval lintsaed (Joonis 1.2).

Tükeldamise kiirendamiseks on tööstusettevõtete käsutuses uued tehnoloogilised lahendused, mille hulka kuuluvad CNC gaas- ja plasmalõikepingid. Gaaslõikustehnoloogia võimaldab lõigata lehtmetalle paksusega 10–120 mm, kusjuures lõikeprotsess võib toimuda kahe lõikepeaga samal ajal. Gaaslõikus on tehnoloogiline protsess, mis kasutab põlevgaasi ja hapnikku metalli sulatamiseks ja lõikamiseks.

Gaaslõikuseks kasutatakse puhast hapnikku, mis tõstab leegi temperatuuri kuni 2500 kraadini. Lõikekvaliteet tagatakse vastavalt standardile EVS-EN ISO 9013:2003. Gaaslõikuse eelisteks võrreldes teiste termiliste lõikustehnoloogiatega on kõrge tootlikkus ja madalad tootmiskulud. Plasmalõikusega sarnaselt ei lõigata ka gaaslõikustehnoloogiaga täppisdetaile, seda ülesannet täidab laserlõikustehnoloogia.

Plasmalõikus on üks efektiivsemaid termilisi metallilõikemeetodeid. Kvaliteedilt jääb ta alla laserlõikusele, aga samas ületab seda majanduslike näitajate ja suuremate võimalustega. Lõigata saab nii terast (kõrgleegeritud ja roostevaba) kui ka alumiiniumi, vaske ja teisi sulameid. Plasmalõikust on võimalik rakendada nii üksiku detaili tegemiseks kui ka seeriatöödeks.

Plasmalõikustehnoloogia võimaldab lõigata lehtmetsalle vahemikus 1–30 mm. Lõikekvaliteet tagatakse vastavalt standardile EVS-EN ISO 9013:2003. Lõikepinkide tööala võib olla 12000 x 3000 mm.

Üheaegselt lõikeprotsessiga on võimalik teha nii punkt- kui ka joonmarkeerimist töödeldavate detailide pinnale. Eelnimetatud tehnoloogilised lahendused võimaldavad lõigata S235, S355 teraseid, AISI 304, AISI 316 korrosioonikindlaid teraseid, eriti tugevaid Hardoxi, Weldoxi ja RAEXi teraseid ning rihvelplekki jms.

Giljotineerimist, gaasi-, plasma- ja veejoaga lõikamist käsitletakse täpsemalt järgnevatel peatükkides.



Joonis 1.2 Firma BOMAR lintsaag suure ristlõikega materjalide tükeldamiseks

Mitmesuguste raskesti töödeldavate materjalide lõikamiseks kasutatakse vesilõikust ja vesilõikepinke (Joonis 1.3).



Joonis 1.3 Firma H. G. RIDDER vesilõikuspink

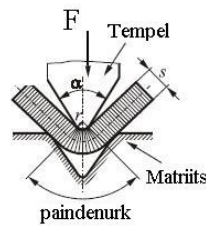
Lehtmetsalli painutamine käsitsi või mehaanilisel teel vajab teadmisi metallide käitumise kohta paindel. Habras metall painutamisel murdub või tekivad muredetsoonis praod, plastse metalli painutamisel esineb suur suhteline piknemine, mis vähendab ristlõike mõõtmeid ja detaili vastupidavust tööprotsessis. Näiteks järsu täisnurkse nurka painutamisel võetakse painutusvaru (0,5...0,8) materjali paksusest. Kui teraslehe paksus on 3 mm ja peale painutust peab haarade pikkusteks jääma 80 mm ja 40 mm, on tooriku pikkus keskmiselt järgmise valemi alusel $L = l^1 + l^2 + (0,65 \times 3)$; $L = 80 + 40 + 1,95 = 121,95$ mm.

Õige paindenurga saamine nõuab rangelt piiritletud ülepainet, arvestades metalli elastsusmoodulit. Kõike seda võimaldavad konstruktorite poolt loodud programmjuhtimisega painutuspingid eri paksuse ja profiiliga materjalide töötlemiseks. Tööpinkki sisestatavad andmed painutatava materjali kohta koos töötlemisparameetritega võimaldavad saavutada suurema täpsuse ja kvaliteedi ning tõsta tootlikkust. Painutuspinkidel kasutatavad erikujuga rakised toodete painutamiseks kannavad nimetust **matriits ja tempel** (Joonis 1.4). Materjal asetatakse matriitsile ja paine saavutatakse templile jõu (F) rakendamise teel.

Lehtmetsalli painutamiseks kasutatakse erinevate pingitootjate pinke (Joonis 1.5). Näiteks on lehtmetsalli painutamiseks kasutusel Durma pink AD-S 60800, millel on Cybelec'i graafiline 3D CNC programmjuhtimine.

Maksimaalne detaili painutus pikkus on 6000 mm ja survejõud 800 tonni. Suurim lubatud survejõud meetri kohta on 200 tonni. Painutuspingiga saab painutada peale üldlevinud teraste

S235 ja S355 ka suure tõmbetugevusega teraseid nagu Hardox 400, Hardox 450, Weldox 700, Raex 400AR, Raex 650, Domex 650.



Joonis 1.4 Metalli painutamine



Joonis 1.5 Tööstuses kasutatavad lehtmetsalli painutuspingid

Lehtmetsalli laserlõikamine on metallist laserkiirega detailide väljalõikamine laserlõikepea liikumise juhtimisega programmjuhtimise teel. Väljatöötatud tehnilised lahendused mitmesuguse lõikevõimsustega pinkide (Joonis 1.6) näol võimaldavad laserlõikustehnoloogiaga toota detaile suure täpsusega ilma täiendavat lõppviimistlust sageli vajamata. Ühendades ühtseks tehnoloogiliseks protsessiks laserlõikuse ja painutuse, on tootmise efektiivsust võimalik oluliselt tõsta.



Joonis 1.6 Firma Hankwang laserlõikepink

Lehtmetsalli töötlemismeetodid on aastate jooksul täiustunud ja võimaldavad toota väga mitmekesise konfiguratsiooniga detaile. 21. sajandil alanud neljas industriaalajastu võimaldab, tingituna infotehnoloogia arengust, anda inimkonna teenistusse robottehnoloogiaga varustatud tööpingid ja minimeerida inimtööjõu osatähtsust materiaalse väärtuste loomisel, sh lehtmetsalli töötlevas tööstuses.

Kordamisküsimused:

1. Millised on materjalide tükeldamiseks kasutatavad võimalused kaasaegsetes metallitöötlemisettevõtetes?
2. Mida nimetatakse painutusseadmete matriitsiks ja templiks?
3. Kuidas on võimalik lehtmetsalli painutamisel määrata vajaliku tooriku pikkust?

2 Tootmise ettevalmistus

1. Kui sa arvad, et millegi tootmise alustamine on lihtne, siis see väide ei ole õige.
2. Miks on vaja pühendada piisavalt aega ettevalmistusele tootmise alustamisel?
3. Oma tootmisettevõtte loomine on sulle väljakutse! Võta see väljakutse vastu ja tee teoks, aga mõtle enne!

Millegi tootmine eeldab tootmisobjekti ehk aine (materjali) olemasolu. Kõik, mis meid ümbritseb, kaasa arvatud me ise, koosneb ainetest. Eestikeelne sõna **materjal** tuleneb ladinakeelsest sõnast *materia*, mis tähendabki ainet. Tootmisprotsessi ei saa alustada ega läbi viia ilma materjalita ja tema omaduste tundmiseta. Materjalide keemilised, füüsikalised, mehaanilised, tehnoloogilised ja talitlusomadused määravad ühel või teisel viisil nende töödeldavuse ning eksploatatsioonilised omadused.

Laiemas mõttes tootmise ettevalmistamine kätkeb endas tervet rida osategevusi, ilma milleta ei ole võimalik tootmisprotsessi käivitada ega käigus hoida: tootmishoonete ja –seadmete muretsemine, energiaga varustamine, tööjõu palkamine, põhi- ja abimaterjalide soetamine, tööriistade-, kontroll- ja mõõteinstrumentide ostmine, dokumentatsiooni ettevalmistamine, kommunikatsiooni- ja informatsioonisüsteemide loomine, turgude leidmine ja transportteenuste ostmine jpm. See loetelu ei ole kaugeltki ammendav.

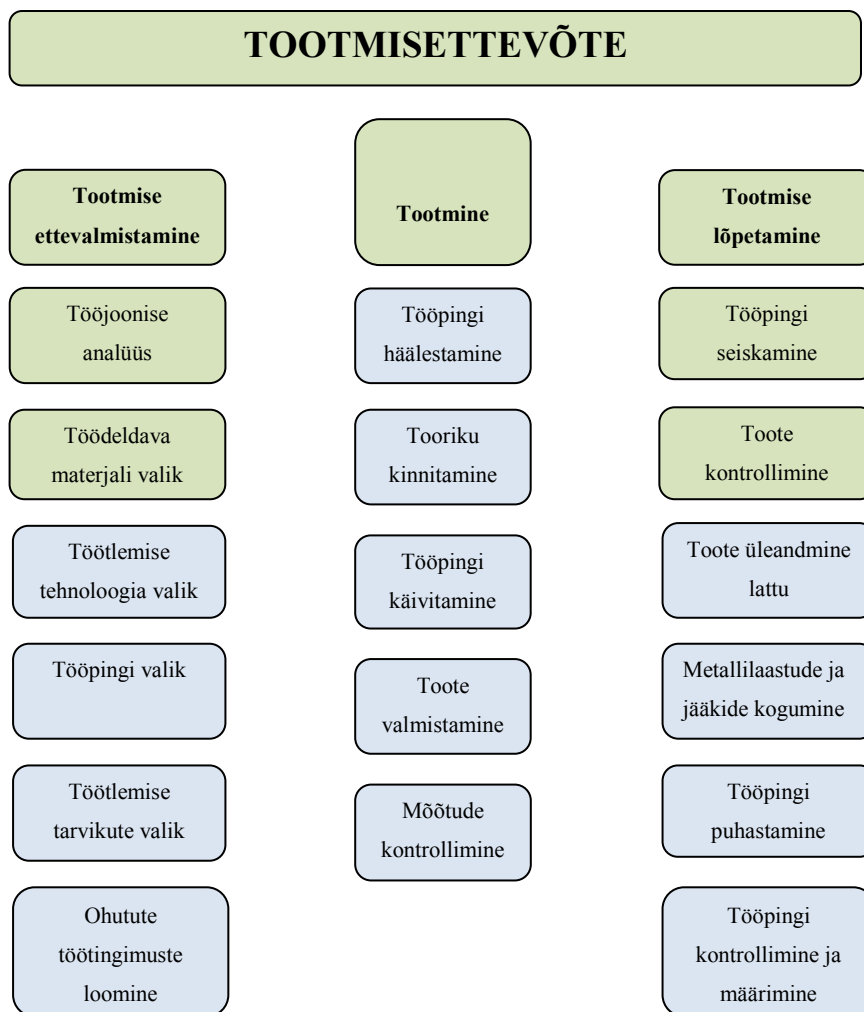
Kitsamas mõttes eeldab tootmise käivitamine turu nõudlust toote järele, mille kohta on esitatud piisav ja äratuntav informatsioon. Kui nõudlus on olemas, saab alustada tootmist väljavalitud omadustega materjalist, mille töötlemine baseerub täpsetel tööjoonistel ja tehnoloogilise protsessi läbiviimise kirjeldusel. Toote valmistamise viib läbi selleks väljaõppinud töötaja, kelle teoreetiliste ja praktiliste oskuste rakendamine tööprotsessis määrab töö lõppkvaliteedi.

Olenemata tootmisviisist, seadmetest ja tööjõust, hõlmab tootmise ettevalmistus tervet rida omavahel kooskõlastatud tegevusi. Kui tootmishooned, sisseseade ja tööjõud on olemas, algab tootmise ettevalmistus põhi- ja abimaterjali tellimisest, vastuvõtmisest lattu, sertifikaatidele vastavuse kontrollimisest, rütmiliselt tootmisse väljastamisest, tootmiseseadmete ettevalmistamisest ja häälestamisest. Samasuguse mahu tööajast võtavad ka tootmise lõpetamisega seotud

tegevused. Siin ja edaspidi käsitletakse tootmise all eeskätt metallisulamite mitmesuguseid mõjutamisviise valmistoote (detaili) saamiseks.

Mida lähimõeldum on tootmise ettevalmistus, seda efektiivsem on tootmine ja seda madalamaks kujuneb toote omahind, mis omakorda annab turul konkurentsieelise ja toetab ettevõtte jätkusuutlikkust.

Üks tootmisprotsessi ülesehituse variantidest ettevõttes on kujutatud joonisel 2.1.



Joonis 2.1 Toote valmistamise tegevuste kompleks tootmisettevõttes

Tootmise ettevalmistus algab toote omahinna arvutustest, milles võetakse arvesse põhi- ja abimaterjali vajaminevad kogused ning hind, energia hind (sh soojusenergia), tootmistööliste ja insenertehnilise ning abipersonali palgakulud, põhi- ja abiseadmete ostukulud, sidekulud, ettevõtte üldkulud (sh administratsiooni kulud, vesi ja kanalisatsioon jpm). Toote-, jaoskonna-,

tsehhi- ja ettevõtteomahinna arvestamine on pidev tegevus ja sõltub sisseostetavate ressursside hinnast.

Omahinna kujundamine ja tulemusanalüüs võimaldab määrata ettevõtte tegevuse tulemused ja jätkusuutlikkuse.

Kordamisküsimused:

1. Millest saab alguse tootmise ettevalmistus?
2. Millistest etappidest koosneb tootmise ettevalmistus?
3. Millistest osategevustest koosneb tööprotsessi lõpetamine?

2.1 Materjalid, markeeringud, omadused

1. Oled sa kindel, et materjali omadusi tundmata on võimalik valida õige töötlemis-tehnoloogia?
2. Uuri, kas materjali markeering annab sulle informatsiooni selle omaduste kohta.
3. Võib-olla oskad sa materjalide töödeldavust parandada?

Looduslikud materjalid ei rahulda oma omadustelt inimkonna vajadusi täiel määral. Materiaalse maailma avastused ja teadustöö on teinud võimalikuks uute omadustega materjalide saamise mitmesuguste erinevate meetoditega. Tehnikas kasutatavad materjalid – **tehnomaterjalid** – ongi loodud eesmärgiga katta inimkonna vajadusi.

Masinate ja aparaatides, mistahes tehnoseadmetes ning konstruktsioonides on peamised materjalid: metallid, plastid, tehnokeeraamika ja komposiitmaterjalid. Nende liike ja sorte on väga palju. Kõige rohkem kasutatakse teraseid ja malmi (ligi 500 sorti), sama paljusid mittemustmetallide sulameid, üle 200 liigi plaste, 50 liiki keraamilist materjali jne.

Materjalide tundmine võimaldab inimkonnal toime tulla tehnikaajastul uute seadmete ja konstruktsioonide loomisega. Kuna metallide ja nende sulamite omadused on aluseks töötlemismeetodite valikul, siis käsitleme järgnevalt esmalt metallide üldiseid ja seejärel lehtmaterjalide omadusi ning markeeringuid.

Metallid, erinevalt teistest materjalidest, omavad kristallilist struktuuri. **Kristallilise struktuuri** all mõeldakse aatomite (ioonide) omavahelist paigutust reaalselt esinevas kristallis. Metallis paiknevad aatomid kindla seaduspärasuse järgi, moodustades korrapärase kristallivõre. Selline aatomite paigutus vastab aatomite omavahelise mõju minimaalsele energiale (aatomite ideaalsele

paigutusele). Võrelemendi servade pikkusest ja servadevahelistest nurkadest olenevalt eristatakse mitmeid kristallivõre tüüpe. Kristallivõre tüübid määravad metallide omadused, mehaanilise ja termilise töödeldavuse. Metallide töödeldavust mõjutavaid omadusi edastab allolev tabel 2.1.

Tabel 2.1 Metallide omadused

Füüsikalised omadused	Mehaanilised omadused	Tehnoloogilised omadused	Talitusomadused
Värvus Tihedus Sulamistemperatuur Soojuspaisumine Soojusjuhtivus Soojusmahtuvus Elektrijuhtivus Magnetism	Tugevus Elastsus Plastsus Sitkus Kõvadus Väsimus	Valatavus Sepistatavus Lõiketöödeldavus Termotöödeldavus Keevitatavus Joodetavus	Korrosioonikindlus Kulumiskindlus Pinnaomadused Tulekindlus Soojuspüsivus Ohutus Keskkonnasõbralikkus

Füüsikalised omadused. Metallide füüsikaliste omaduste hulka kuuluvad värvus, tihedus, sulamistemperatuur, soojuspaisumine, soojusjuhtivus, soojusmahtuvus, elektrijuhtivus, magnetilised omadused jt. Füüsikalistest omadustest antakse käesolevas õpikus definitsioon tihedusele, sulamistemperatuurile, soojuspaisumisele ja soojusjuhtivusele.

Tiheduseks nimetatakse metalli ühe mahuühiku massi. Tiheduse järgi jaotatakse metallid kerge- (kuni 5000 kg/m^3), kesk- ($5000\text{--}10.000 \text{ kg/m}^3$) ja raskmetallideks (10.000 ja rohkem kg/m^3). Toodete valmistamisel tuleb alati arvestada metalli tihedusega. Nii näiteks kasutatakse lennuki- ja raketiehituses kergmetalle ja -sulameid (alumiiniumi-, magneesiumi-, titaanisulamid). See võimaldab vähendada toodete massi.

Sulamistemperatuuriks nimetatakse temperatuuri, mille juures metall sulab. Selle järgi jaotatakse metallid kergsulavaiks (sulamistemperatuur kuni $327 \text{ }^\circ\text{C}$, nt elavhõbe $39 \text{ }^\circ\text{C}$, tina $232 \text{ }^\circ\text{C}$, plii $327 \text{ }^\circ\text{C}$), kesksulavaiks (sulamistemperatuur $328 \text{ }^\circ\text{C}$ kuni $1539 \text{ }^\circ\text{C}$, nt tsink $419 \text{ }^\circ\text{C}$, alumiinium $660 \text{ }^\circ\text{C}$, raud $1539 \text{ }^\circ\text{C}$) ja rasksulavaiks (sulamistemperatuur $1540 \text{ }^\circ\text{C}$ ja rohkem, nt titaan $1660 \text{ }^\circ\text{C}$, tantaal $2950 \text{ }^\circ\text{C}$, volfram $3410 \text{ }^\circ\text{C}$).

Sulamistemperatuuril on suur tähtsus metalli valamisel, keevitamisel ja jootmisel, samuti termoelektriliste aparaatide ja teiste toodete valmistamisel. SI-s antakse sulamistemperatuur Kelvinites (**K**), ($1 \text{ }^\circ\text{C} = 1,7315 \text{ }^\circ\text{K}$).

Soojuspaisumiseks nimetatakse keha mõõtmete muutumist soojenemisel (metallide mõõtmed soojenemisel suurenevad, jahtumisel vähenevad). Soojuspaisumist iseloomustab joonpaisumistegur $\alpha = (l_2 - l_1) / [l (T_2 - T_1)]$, kus l_1 , ja l_2 on keha pikkus vastavalt temperatuuril T_1 ja T_2 . Ruumpaisumistegur $\beta = 3\alpha$. Metallide soojuspaisumist tuleb arvestada keevitamisel, sepistamisel ja kuumstantsimisel, valuvormide, stantside, valtside ja kaliibrite valmistamisel, täpsete liidete ja aparaatide koostamisel, sillakonstruktsioonide ehitamisel, raudteerööbaste mahapanekul jm.

Soojusjuhtivuseks nimetatakse metalli võimet soojust üle anda kõrgema temperatuuriga piirkonnalt madalama temperatuuriga piirkonnale. Head soojusjuhid on hõbe, vask ja alumiinium. Rauda soojusjuhtivus on ligikaudu kolm korda väiksem alumiiniumi ja viis korda väiksem vase omast. Toote valmistamisel tuleb arvestada materjali soojusjuhtivust. Nii näiteks tekivad halva soojusjuhtivusega metalli kuumutamisel ja järsul jahutamisel (termotöötlemine, keevitamine) sellesse praod. Mõned masinaelemendid (kolvid, turbiinilabad) peavad olema valmistatud hea soojusjuhtivusega metallist. Soojusjuhtivuse ühikuks on watt/meetri ja kelvini kohta $[W/(m \cdot K)]$.

Mehaanilised omadused. Metallide mehaaniliste omaduste hulka kuuluvad tugevus, elastsus, plastsus, sitkus, kõvadus, väsimus jt omadused.

Tugevuseks nimetatakse materjali võimet purunemata taluda koormust. Seda iseloomustavad tugevuspiir (tõmbetugevus) ja voolavuspiir. Materjali tugevuse oluliseks näitajaks on ka eritugevus – tugevuspiiri ja tiheduse suhe.

Elastsuseks nimetatakse keha võimet taastada oma kuju ja mõõtmed pärast deformatsiooni esile kutsunud välisjõu **Fe** mõju lakkamist.

Plastsuseks nimetatakse materjali võimet muuta (purunemata) talle rakendatud välisjõu mõjul oma kuju ja mõõtmeid ning säilitada jäävat (plastset) deformatsiooni pärast välisjõu mõju lakkamist. Plastsust iseloomustatakse suhtelise pikenemise ja suhtelise ahenemisega.

Sitkuseks nimetatakse materjali omadust vastu pidada ilma purunemata püsivale ja muutuval koormusele.

Kõvaduseks nimetatakse materjali võimet vastu panna sellesse tungivale teisele, kõvemast materjalist kehale. Suurt kõvadust nõutakse kõigilt metallilõikeriistadelt (puurid, treiterad, freesid, stantsid, matriitsid jt) ja paljudelt masinadetailidelt (veerelaagri võrud, kuulid, rullid,

võllitapid, hammasratta hambad, kolvirõngad, nukkvõlli nukid, tõukurid, klapid jms). Tuntuimad metalli kõvaduse määramise meetodid on Brinelli, Rockwelli ja Vickersi meetod. Kõvaduse mõõtühik on N/mm² kohta, tähistused vastavalt HB, HRA, HRB, HRC, HV.

Väsimuseks nimetatakse materjali kahjustuse pidevat suurenemist vahelduva koormuse tõttu, mille tulemusena tekivad praod ja materjal puruneb. Metallil väsimuse põhjuseks on pingete kontsentreerumine nendes kohtades, kus detailil on astmed, sooned, keermed jms, ning materjalil mittemetalsed lisandid, gaastühikud, mitmesugused kohalikud defektid jmt.

Tehnoloogilised omadused. Metallil tehnoloogiliste omaduste hulka kuuluvad valatavus, sepistatavus, lõiketöödeldavus, termotöödeldavus, keevitavus, joodetavus jm omadused. Tehnoloogilised omadused iseloomustavad metallide töödeldavust külmas ja kuumas olekus. Tehnoloogilistest omadustest antakse käesolevas õpikus definitsioon lõiketöödeldavusele ja termotöödeldavusele.

Lõiketöödeldavus on üks tähtsamaid tehnoloogilisi omadusi, sest valdavat enamikku toorikuid, samuti keeviskonstruktsioone ning nende elemente tuleb lõikeriistadega töödelda. Ühed metallid on külmalt hästi töödeldavad (saab puhta ja sileda pinna), teised aga halvasti töödeldavad (suure kõvadusega metallid). Väga sitked ja väikese kõvadusega metallid on samuti halvasti töödeldavad (töödeldud pind on kare). Metallil (näiteks terase) töödeldavust saab parandada termotöötlemisega, vähendades tema kõvadust.

Termotöödeldavus on metallil omadus kuumutamise ja jahutamisega muuta metalli struktuuri tema töödeldavuse parandamiseks ja vastupidavuse tõstmiseks mehaanilistele mõjutustele.

Talitusomadused määratakse kindlaks erikatsetustega (sõltuvalt detaili, elemendi, sõlme ja masina töötingimusest). Talitusomaduste hulka kuuluvad korrosioonikindlus, kulumiskindlus, tulekindlus, kuumakindlus, külmakindlus jt. Üks tähtsamaid talitusomadusi on kulumiskindlus.

2.1.1 Terased

Teraseks nimetatakse raua ja süsiniku sulameid, milles on süsinikku alla 2%. Sisaldab veel mangaani, räni, alumiiniumi, väävlit ja fosforit. Liigitatakse kasutusala järgi: konstruktsiooni- ja tööriistaterased; keemilise koostise järgi: legeritud ja süsinikterased.

Terase sulamid leiavad kasutamist masina- ja aparaadiehituses, ehituskonstruktsioonides, energeetikas õhuliinide- ja antennimastide ning tööriistade valmistamisel. Terastel on nende

töötlemiseks head põhiomadused: mehaanilised, füüsikalised-keemilised, elektrilised ja tehnoloogilised. Kuna metallide ja nende sulamite omadusi käsitleb põhjalikumalt materjaliõpetuse õppeaine, siis siin õpikus sellel rohkem ei peatuta. Edaspidi käsitletakse põgusalt lehtmetaille, nende kasutusvaldkondi ja markeeringuid.

Lehtmetailli töötlemispinkidel töödeldakse erinevaid sorte metalle ja nende sulameid, millest suurema osa moodustab teras. Teraslehed valmistatakse väga erineva keemilise koostise, paksuse ja mõõtmetega. Nii näiteks kuuluvad lehtmetaillide loetelusse kuumvaltsitud, külmaltsitud, värvkattega kaetud, metalliga pinnatud ja roostevabad terased ning ka rauasüsiniksulamite hulka mittekuuluvad alumiiniumtooted. Kuna käesolev õpik käsitleb lehtmetailli töötlemist, siis on järgnevalt juttu peamiselt lehtmetailidest, nende omadustest ja markeeringutest. Metalllehed ehk lehtvaltsitud on spetsiaalsed teraslehed, mille paksus on 0,5...160 mm. Lehtvaltsitud toodetakse külmal- ja kuumvaltsimismeetodil. Kõige populaarsemaks tooteks on kuumvaltsitud lehed ehk lehtteras. Metall-lehtede valtsimine toimub kuum- või külmaltsimismeetodil, viimasel juhul ei ole metalli sulamit vaja eelnevalt kuumutada.

Lehtvaltsitud toodetel on oma klassifikatsioon, nii jaotatakse need vastavalt lehe paksusele järgmiselt:

- õhukesed lehed – lehe paksus on alla 4 mm
- paksud lehed – lehe paksus võib ulatuda 4...160 mm.

Ei tohi unustada, et vajaliku teraslehe valikul tuleb arvestada teraslehe kõiki kasutustingimusi, tema töödeldavust erinevatel pinkidel ja valmisdetailide vastupidavust ettenähtud koormustele. Teraslehti, mille paksus ületab 60 mm, nimetatakse plaatideks. Põhilised lehtteraste margid on näiteks S235JR, S355J2, S355J2+N, C45 ja St45.

Kõigi metallide sulamid on markeeritud vastavalt standarditele ja sulamite omadustele. Metallide margitähised võimaldavad saada teavet metallide töödeldavusest ja nende vastupidavusest erinevates konstruktsioonides ning masinates. Näiteks kuumvaltsitud konstruktsiooniterase mark S235JR võimaldab kindlaks teha, et nimetatud sulam sisaldab 0,19–0,23% süsinikku (C), 1,5% mangaani (Mn), 0,05% fosforit (P), 0,05% väävlit (S), ja mõningaid teisi keemilisi elemente.

Teras mark 42CrMoS4 sisaldab 0,38–0,45% süsinikku (C), 0,60–0,90% mangaani (Mn), väävlit (S) 0,020–0,040%, kroomi (Cr) 0,90–1,20%, molübdeeni (Mo) 0,15–0,30%. Roostevaba austeniitteras X1NiCrMoCu25-20-5 sisaldab süsinikku $\leq 0,02\%$, räni $\leq 0,70\%$, mangaani \leq

2,00%, niklit 24,0–26,0%, kroomi 19,0–21,0%, molübdeeni 4,00–5,00%, vaske 1,20–2,00%. Eeltoodust ilmneb, et materjali mark sisaldab olulist teavet materjali keemilisest koostisest ja vastavate teadmiste olemasolul ka nende materjalide töödeldavusest erinevatel seadmetel.

Lehtmatali töötlemine erinevate tootmiseseadmete ja tehnoloogiatega eeldab kasutatavate metallide omaduste head tundmist, mida võimaldab materjaliõpetuses esitatud teadmiste omandamine. Lehtmatalide erinevad töötlemiseseadmed võimaldavad töödelda väga erineva paksuse ja omadustega metalle. Lehtmatali lõiketöölusele järgneb sageli detailide mehaaniline painutamine, venitamine või mitmesugusel muul viisil mõjutamine, mis eeldab töötlemistehnoloogiate eripära ja materjalide mitmekesiste omaduste arvestamist. Töödeldavate materjalide mehaaniliste ja tehnoloogiliste omaduste tundmine väldib tootmises materjali raiskamist ja hoiab kokku nii rahalisi ressursse kui aega materjalide töötlemisel

Metallide omaduste ja töötlemisvõimaluste mittetundmine seab ohtu tootmiseseadmete tööorganid nagu stantsimiseadmete matriitsid ning templid, giljotiinide lõiketerad ja terade liikurmehhanismid, mis võib lõppeda seadme tööorganite ja tööriistade purunemisega. Töödeldavate materjalide töötlemisvõimalused on olnud konstruktoritele aluseks erinevate seadmete konstrueerimisel. Lisaks juba teadaolevatele sulamitele on teadlased avastanud mitmesuguseid uusi sulamite kombinatsioone, mis on rikastanud oma omadustest lähtuvalt kasutusvaldkondi ja olnud aluseks uute omadustega seadmete ning masinate konstrueerimisel ja tootmisel.

Kiirtootmise tingimustes, kus toodete valmistamise aeg on minimeeritud, toob materjalide mehaaniliste ning eksploatatsiooniliste omaduste mittetundmine kaasa lisakulutusi ja omahinna kallinemise, mis võib tekitada korvamatut kahju ettevõtte konkurentsivõimele. Tootmisprotsessi kiirenemine tänu uutele tehnoloogilistele võimalustele ja lahendustele toob esile olulise vajaduse teada täpselt metallide ja nende sulamite tehnoloogilisi ja eksploatatsioonilisi omadusi.

Tabel 2.2 Lehtterased sisaldab üldandmeid lehtteraste kohta, millised on saadud erinevate tootmisprotsesside tulemusel.

Tabel 2.2 Lehtterased

Tüüp	Sortiment		
Leht	Tavaliselt ristkülikukujulised lehed: väike: $b \times l = 1000 \times 2000$ mm keskmine: $b \times l = 1250 \times 2500$ mm suur: $b \times l = 1500 \times 3000$ mm Lehtmaterjali paksus: $s = 0,14 - 250$ mm		

Tootmisprotsess	Teraslehe kirjeldus		
Kuumvaltsitud	Lehtterase paksus kuni 250 mm, pinnad valtsitud või söövitatud olekus		
Külmvaltsitud	Lehtterase paksus kuni 10 mm, pinnad siledad, väikesed hälbepaksused		
Külmvaltsitud pinnaviimistlusega	Kõrge korrosioonikindlus koos tsinkimise või orgaanilisest materjalist pindega Dekoratiivkasutamiseks koos plastpindega Parem töödeldavus		

Üldiseloostus	Teraserühmi nimetus	Standard	Sortimendi paksusvahemik
Külmvaltsitud lehtterased			
Külmsurvega töödeldav Keevitatav Värvitav	Pehmeterasest valmistatud	EN 10130	0,35 - 3,0 mm
	Kõrge voolavuspiiriga tooted	EN 10268	≤ 3 mm
	Tooted emailimiseks	EN 10209	≤ 3 mm
Külmvaltsitud pinnaviimistlusega lehtterased			
Kõrge korrosioonikindlus Parim võimalik töödeldavus	Kuumsukeldusega pinnatud tooted	EN 10346	≤ 3 mm
	Elektrolüütiliselt tsingitud tooted külmtöötlemiseks	EN 10152	0,35 - 3,0 mm
	Orgaanilise materjaliga pinnatud tooted	EN 10169	≤ 3 mm
Külmvaltsitud lehtterased pakendamiseks			
Korrosioonikindel Külmsurvega töödeldav Keevitatav		EN 10205	0,14 - 0,49 mm
	Elektrolüütiliselt tinatud või kroomitud tooted pakendamiseks	EN 10202	0,14 - 0,49 mm
Kuumvaltsitud lehtterased			
Teraste vastavate gruppide omadused	Mitteleeger- ja legeerterasest tooted EN 10025 järgi, peenterakonstruktsioon-terasest EN 10025-1 järgi, tsementiitavad terasest EN 10084 järgi, parendatud terasest EN 10083 järgi, roostevabad terasest EN 10088-1 järgi	EN 10051	kuni 25 mm
Kõrge voolavuspiir	Kõrge voolavuspiiriga parandatud konstruktsiooniterasest tooted	EN 10025-6	3 - 150 mm
Külmsurvega töödeldav	Kõrge voolavuspiiriga terasest tooted	EN 10149-1	kuni 20 mm

Kordamisküsimused:

1. Milliseid metallisulameid nimetatakse terasteks ja millised on teraste põhiomadused?
2. Kuidas mõjutab töödeldavate materjalide mittetundmine töötlemisprotsessi?
3. Kuidas liigitatakse lehtteraseid nende põhiomaduste alusel?
4. Millised on külm- ja kuumvaltsitud lehtteraste omadused?

2.2 Tööjooniste analüüs

1. Mida sa tead tegelikult detaili tööjoonisest ja sellele kantud informatsioonist?
2. Kas sa ikka oled kindel, et tööjoonisel olev informatsioon võimaldab valmistada nõutud mõõtmetega detaili?
3. Milliseid teadmisi oleks vaja, et sa oskaksid analüüsida ja hinnata tööjoonisel esitatud informatsiooni tõepärasust?

Detaili valmistamise alustamise eelduseks on tööjoonise olemasolu. **Tööjoonis** on paberil või elektroonsel infokandjal välja joonestatud detaili originaalse või vähendatud suuruse täpne kujutis, kuhu on peale kantud kogu informatsioon detaili valmistamiseks. Tööjoonisele kantud informatsioon sisaldab detaili valmistamiseks vajalikke mõõtmeid ja andmeid mõõtmete lubatud kõikumiste kohta, aga ka ettenähtud pinnakaredust ja kasutatava materjali marki. See on alusdokument, mille järgi toimub toote valmistamine ja valmimine. Tööjoonistel esitatud informatsiooni ebatäpsuse korral on töömees viimane lüli, kelle oskusest tööjoonist analüüsida sõltub materjali raiskamine või selle kokkuhoid.

Tööjoonis ja sellele kantud informatsioon peab alluma kindlatele kokkulepetele ja vormistamisnõuetele, mille aluseks on kinnitatud standardid. Riikide ja firmade vahelise koostöö operatiivsus eeldab standardeid – kokkulepitud reegleid teabe edestamisel ja mõistmisel. Tänu sellistele kokkulepetele on võimalik rahvusvahelises ulatuses spetsialiseeruda kindlatüübiliste toodete tootmisele eri riikides ja piirkondades ühtsete tooteomaduste ning kvaliteedinäitajate alusel. Tähtis on seejuures andmete ja informatsiooni ühtne tõlgendus ning sellest arusaamine – standardiseerimine.

Sellest tulenevalt on tööpingioperaatoril vaja tunda tööjoonistel esitatud informatsiooni olemust, analüüsida seda toote valmistamiseks vajalike tegevuste läbiviimise seisukohast ja vajadusel teha ettepanekuid kas tööjoonise või tehnoloogilise protsessi korrigeerimiseks. Praagiks tunnustatud toote valmistamisele kulutatud aeg ja raha on ressursside lubamatu raiskamine.

Tööjoonise analüüsi oskus põhineb lisaks joonestusalastele oskustele tootmistehnoloogia ja töödeldava materjali omaduste tundmisel. Kui kasvõi osaliselt puuduvad teadmised tööpinkide ehituse ja neil töödeldavate materjalide omaduste ning tehnoloogiliste võimaluste kohta, on tulemuseks ebakvaliteetne töö. Sellest tulenevalt on kvaliteetse väljundipõhise töötulemi saavu-

tamiseks vaja teada, mis mõjutab tootmisprotsessi ja kuidas seda juhtida. See on oma ala spetsialistiks saamise eeltingimus ja põhinõue.

Tööjoonise analüüs põhineb lõppkokkuvõttes joonisel oleva informatsiooni kokkuviimises töödeldava materjali omadustega ja tööpingi tehniliste võimalustega. Kui esineb vasturääkivusi, tuleb tööjoonise koostajat või töötlemistehnoloogit informeerida. Kui tööpingioperaator ei saa kasutada tööpingi tehnilistest võimalustest või tööjoonisel olevast ebapiisavast/ebatäpsest informatsioonist tingituna detaili valmistada, siis ressursside kokkuhoiu vajadustest tulenevalt ta ei tohigi seda teha.

Tööjoonist ja seal oleva informatsiooni kajastamist õpitakse ametikoolides eraldi õppeainena. Allolev informatsioon juhib meeldetuletuseks tähelepanu olulistele mõistetele tööjoonise tõlgendamisel.

Nimimõõde (nominal size, basic size) on detaili suurust näitav mõõde, mis kantakse joonisele kõigepealt ja mille suhtes arvestatakse hälbeid (kõrvalekaldeid). Nimimõõtmeid tähistatakse arvutustes D , d , A või ka indeksiga – D_{nom} , d_{nom} .

Piirmõõtmed (limits of size) on suurim ja vähim lubatav mõõde (avale D_{max} , D_{min} , võllile d_{max} , d_{min}).

Piirhälbed (limit deviations, permissible deviations) näitavad piirmõõtme ja nimimõõtme algebralist vahet. Suurimale piirmõõtmele vastavat piirhälvet nimetatakse ülemiseks hälbeks (upper deviation) ja vähimale vastavat – alumiseks hälbeks (lower deviation). Hälve on alati märgiga suurus. Positiivne hälve näitab, kui palju võib detaili tegelik mõõde olla nimimõõtmest suurem, ja negatiivne hälve, vastupidi, kui palju võib tegelik mõõde olla nimimõõtmest väiksem.

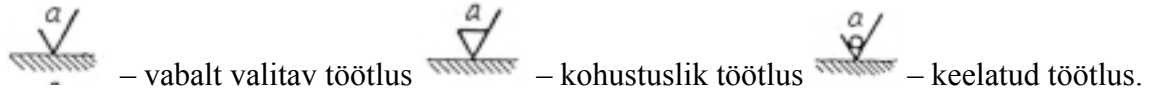
ISO standard näeb ette kindlad reeglid ühtse arusaamise tagamiseks mõõtmete märkimisel tööjoonisele:

+0,2	+0,02	0	
ISO Ø 48 – 0,3	Ø 52 0	Ø 56 – 0,017	Ø 50 ± 0,3

Tolerants (dimension tolerance, tolerance) on mõõtme lubatav kõikumisulatus ehk piirmõõtmete ehk piirhälvete vahe. Tolerants on alati positiivne suurus (märgita, mitteskalaarne). Tolerantsi tavamõistetele lisanduvad keermetolerantsid, asenditolerantsid jm, mis määravad detaili töötlemiseks vajaliku teabe.

Tegelik mõõde (actual size) on valmisdetaili mõõde, mis on mõõdetud ettenähtud täpsusega.

Detaili välispinna kvaliteedi määrajaks on pinnakareduse näitajad, mille mõõtühikuks on 1/1000 mm (μ/m). Tähistused vastavalt kas Ra või Rz ja sümboolid:



Tööjoonise analüüs kuulub detailivalmistaja otseste kohustuste hulka ning on vajalik töö kvaliteedi tagamiseks.

Kordamisküsimused:

1. Millist ülesannet täidab tootmisprotsessis detaili tööjoonis?
2. Kuidas tähistatakse tööjoonisel mõõde ja nende lubatud kõikumist?
3. Mida tähendab nimimõõt, ülemine ja alumine piirmõõt, hälve ja tolerants?
4. Kuidas tähistatakse pinnakaredust ja detaili töötlemise viisi tööjoonisel?
5. Milles seisneb tööjoonise analüüs?

2.3 Materjalikäsitlus

Materjalikäsitlus lehtmetailide valmistamisel hõlmab materjalide tellimist, vastuvõtmist lattu, materjalide sertifikaatide kontrollimist, materjali sorteerimist, tootmisse väljastamist ja metallijääkide tagastamist ning nende transportimist vanametalli vastu võtvasse firmadesse. Pärast esimeste proovidetailide valmistamise võib osutuda vajalikuks materjali keemilise koostise kontrollimine.

Seda tööd saab tellida Tallinna Tehnikaülikooli materjalilaborist. Kui metallide töötlemisel tekivad ettenägemata defektid (praod, murdumised), mida materjalisertifikaat ei kajasta, tuleb pöörduda TTÜ materjalilabori poole. Laborianalüüsi andmed võivad esile tuua vajaduse vahetada materjali tarnijat või tellida teist marki materjali. Tootmise häireteta kulgemiseks peavad materjali varud laos olema piisavad, kuid mitte ülemääraselt suured.

Parim logistiline lahendus seisneb õigete materjalimarkide jõudmises töökohale just siis, kui viimane varu on tootmisse suunatud. See eeldab miinimum-maksimumvarude süsteemi sisseviimist ettevõttesse. Miinimum-maksimumvarude süsteem tähendab varustuse sellist

korraldust, kus olenemata ettenägematutest tarneviivistest on ettevõttel tootmise pidevaks käigushoidmiseks ettenähtud materjali miinimumvaru olemas.

Samas ei ole majanduslikult otstarbekas hoida ladudes suuri materjalikoguseid ja panna käibeks vajalik raha lihtsalt laovarude alla kinni. Miinimum-maksimumvarude süsteemi kasutamine eeldab häid teadmisi hankijaettevõtete majanduslikust seisust, transpordiettevõtetest, kes veavad materjali, ja samuti riikide, kus asjaosalised ettevõtted paiknevad, majanduslikust ja poliitilisest stabiilsusest.

Kui materjali tarnepool on logistilise kontrolli all, on järgmise sammuna vaja saada kontrolli alla ettevõttesisene materjali liikumine ja ökonoomne kasutamine. Lehtmetallist detailide väljalõikamine olenemata töötlemistehnoloogiast nõuab läbimõeldud paigutusskeemi väljatöötamist, mis omakorda eeldab antud pingitüübile vastavate lehemõõtmete õiget valikut ning tootmistehnoloogiliste võimaluste tundmist.

Suurseeriade puhul kasvõi ühe lisadetaili saamise võimaluse leidmine parema paigutusega annab pikemas perspektiivis olulist säästu. Igal tootmisse suunatud materjalil peab olema marsruutleht koos kõigi vajalike andmetega operaatorile õigete töötlemistulemuste saavutamiseks.

Vajalik andmebaas võib olla paber kandjal või digitaalne, olenevalt ettevõtte töökorraldusest. Materjalide õigeaegne etteandmine, detailide ladustamine ära veoks ettenähtud alustele või konteineritesse ja tootmisjääkide regulaarne eemaldamine on eelduseks rütmilise tootmise toimimisele.

Järgmiseks oluliseks valdkonnaks on detailide valmistamine vastavalt tööjoonisele ja nõutud kvaliteediga. Selle kindlustab tööpingi korrasolek, operaatorite kohusetundlik ja läbimõeldud töö ning tööoskused. Uute tehnoloogiate kasutuselevõtt nõuab tööpingioperaatoritelt pidevat enesetäiendamist ja tööoskuste parandamist. Seetõttu on ettevõtte töötulemuste parandamiseks oluline organiseerida täienduskoolitusi, suunates töötajaid vastavalt vajadustele, kuid mitte vähem kui kord aastas, end täiendama vastavasisulistele kursustele. Ökonoomne ja ratsionaalne mõtteviis ettevõtte igal tasandil tagab pikemaajalise jätkusuutlikkuse ja konkurentsivõime.

Materjalikäsitluse logistiline ja ökonoomne organiseerimine ettevõttes on ressursside piiratuse tingimustes ning keskkonna saastetaluvuse suurendamist silmas pidades iga ettevõtte ja tema töötajate esmane kohustus.

Kordamisküsimused:

1. Mida tähendab materjalide amorfne ja kristalliline struktuur?
2. Millised peavad olema metallide omadused nende töötlemiseks lehtmetsallipinkidel?
3. Miks on vaja markeerida erinevaid metalle kokkulepitud margitähistega?
4. Millist ülesannet täidavad standardid materjalide omaduste kindlakstegemisel?
5. Millist ülesannet täidavad materiaalse toomise läbiviimisel tööjoonised?
6. Miks on peab tööpingioperaator läbi viima tööjooniste analüüsi?
7. Millist ülesannet täidab ettevõttes materjalikäsitluse ratsionaalne organiseerimine?

3 Töötlemistehnoloogiad (seade ja tehnoloogia)

3.1 Giljotineerimine

1. Kas sa tahad teada, mida tähendab metallide töötlemisel giljotineerimine? Kui jah, siis alusta all oleva teksti lugemist.
2. Kumb materjali tükeldamisprotsess on kiirem, kas saagimine või giljotineerimine?
3. Kas sa oskad kirjeldada kvaliteetse detaili saamiseks vajalikke tegevusi giljotineerimis-seadmel?

3.1.1 Mõiste ja olemus

Giljotineerimiseks nimetatakse metallitöötlemis viisi, mille puhul detaili lõikamisel ei moodustu laastu ja ei kasutata põlemist ega sulatamist. Üldjuhul töödeldakse lehtmaterjale, aga võimalik on giljotineerida ka vardaid, vinkleid jne.

Giljotineerimise põhimõte on selles, et tempel või liikuv tera surutakse vastu matriitsi ehk fikseeritud tera. Sõltuvalt giljotiini tüübist on kahe tera vahel pilu tavaliselt 5% kuni 10% materjali paksusest. Kokkupuutel materjaliga tekivad templi ja matriitsi vahel suured kontsentreeritud pinged. Materjal annab järele, kui tempel on sisenenud 2% kuni 60% detaili paksuse ulatuses (sõltuvalt materjalist). Lõikepinnal eristub kaks selget piirkonda – esimene osa on plastselt deformeerunud ja teine osa on murdunud.

Kuna materjali struktuur on kohati erinev ja ka terade vaheline pilu ei pruugi joosta ideaalselt ühtlaselt, võib lõikeserv olla erineva kvaliteediga. Ebatasast pinda põhjustab veel asjaolu, et materjalis puruneb kõigepealt kõige nõrgem punkt, seejärel tugevuselt järgmine jne, kuni kogu paksus on läbi lõigatud. Serva lõiketulemust saab parandada, kui detail ülevalt poolt kinni suruda; teatud tingimustel on isegi võimalik murdumise osa peaaegu täielikult vältida. Üldjuhul esineb materjali serval pragusid ja kalestumist, liiga suure terade vahelise pilu korral paindumist ja suurt kraati.

3.1.2 Giljotiinide tüübid

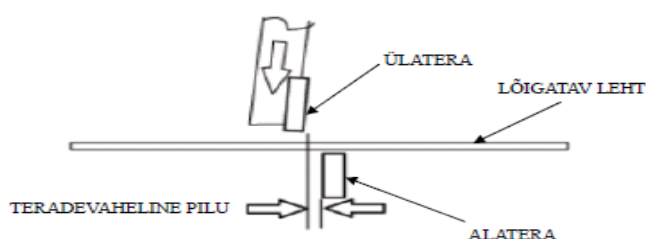
Giljotiine võib liigitada erinevate parameetrite järgi. Järgnevas peatükis vaatame enamlevinud seadmete tüüpe terade liikumisviisist lähtuvalt ja seejärel anname ülevaate erinevate ajamitega giljotiinidest.

- Giljotiinide tüübid terade liikumise alusel
- Giljotiinide tüübid ajamite alusel

3.1.3 Giljotiinide liigitamine terade liikumisviisi alusel

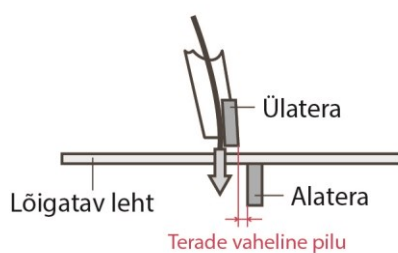
Suure jõudlusega giljotiinid jaotatakse terade liikumisviisi alusel üldjuhul kahte gruppi:

1. Esimese tüübi puhul surutakse ülatera ajami abil alla. Ülatera asetseb alatera suhtes peaaegu paralleelselt kogu töökäigu ulatuses (Joonis 3.1). Selle variandi puhul on eriti olulised ülatera suunavad lineaarsed juhikud, mis peavad tagama ettenähtud teradevahelise pilu.



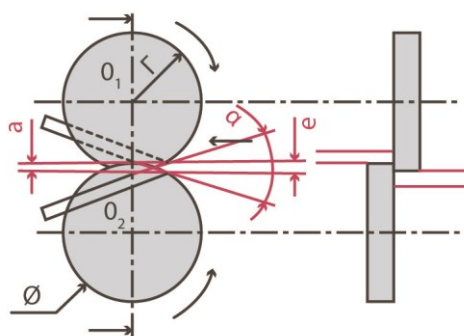
Joonis 3.1 Giljotiini ülatera liikumine mööda joont

2. Teise tüübi puhul (Joonis 3.2) toimub ülatera liikumine mööda kindla raadiusega kaart (swing beam). Selle variandi puhul ei ole nii suurt probleemi üla- ja alatera omavahelise positsioneerimisega, kuna ülatala liikumine toimub fikseeritud raadiusel.



Joonis 3.2 Ülatera liikumine mööda kaart

3. Kolmas tüüp on pöörlevate teradega giljotiin (Joonis 3.3).



Joonis 3.3 Pöörlevate teradega giljotiini tööpõhimõte: O_1 ja O_2 – giljotiiniterade völliid, r – giljotiiniterade raadius, α – terade ülekatte suurus, \varnothing – giljotiiniterade läbimõõt, φ – lehtmaterjali lõikenurk, e – lõigatava materjali paksus

3.1.4 Giljotiinide liigitamine ajamite alusel

Ajam annab vajaliku survejõu, et suruda ülatera läbi lõigatava materjali. Ajamid jaotatakse viite kategooriasse: manuaalsed giljotiinid, suruõhuga ajamid, mehaanilised, hüdromehaanilised ja hüdraulilised ajamid (Joonis 3.4).



Joonis 3.4 Mehaanilised käsijiljotiinid

3.1.5 Suruõhuga töötavad giljotiinid

Ajamiks on pneumosilinder, vajalik on suruõhusüsteemi- ja eraldiseisev kompressor. Selline seade on mõeldud õhukeste materjalide lõikamiseks (Joonis 3.5).



Joonis 3.5 Suruõhuga töötav giljotiin

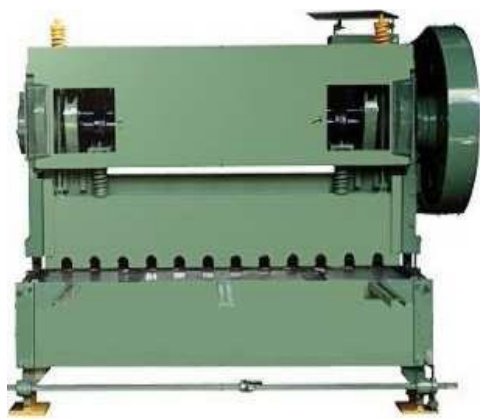
3.1.6 Mehaanilised giljotiinid

Otseajamiga mehaanilised giljotiinid

Tööpõhimõte: pedaalile vajutades paneb mootor liikuma ülatala, mis liigub alla. Pärast lõike teostamist lülitub ajam välja ja tera liigub ülesse. Selliseid seadmeid kasutatakse töökodades, kus giljotineeritakse harva ja seetõttu on oluline, et masin ei peaks kogu aeg töötama. Seisva pingi saab vajadusel kiiresti käivitada.

3.1.7 Hoorattaga mehaanilised giljotiinid

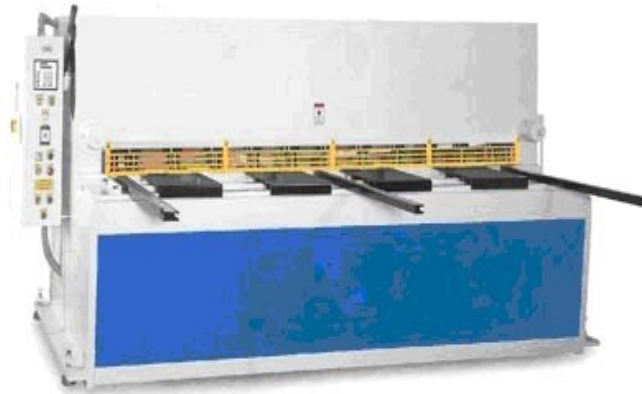
Hoorattaga mehaaniliste giljotiinide tööpõhimõte seisneb selles, et kui operaator pedaalile vajutab, siis ühendatakse sidur ülatera hoorattaga, mis annab giljotineerimiseks vajaliku jõu (Joonis 3.6). Sellist tüüpi seadmed on kiire tsükliga ja seetõttu teatud materjalidele just kõige sobivamad.



Joonis 3.6 Hoorattaga mehaanilised giljotiinid

3.1.8 Hüdromehaanilised giljotiinid

Hüdromehaaniliste giljotiinide tööõhimõte seisneb selles, et ajamiks on hüdraulika, mis paneb liikuma hoova, mille küljes on ülatala. Nii saavutatakse tekkinud jõuõla tõttu suurem võimsus. Lahendust kasutatakse just sellepärast, et tekkinud mehaaniline lisaefekt nõuab väiksema jõudlusega hüdraulikasüsteemi (Joonis 3.7).



Joonis 3.7 Hüdromehaaniline giljotiin

3.1.9 Hüdraulilised giljotiinid

Hüdrauliliste giljotiinide puhul kantakse lõikamiseks vajalik jõud otse hüdrotsilindritelt ülatalale (Joonis 3.8).



Joonis 3.8 Firma Amada hüdrauliline giljotiin

3.1.10 Töövõtted

Giljotineerimise protsessi saab teostada erinevate moodustega. Kuna enamlevinud neist on variant, kus lõiketerad asuvad omavahel nurga all, peatume just sellel pikemalt.

Giljotineerimine paralleelsete teradega

Selle variandi puhul on oluline märkida, et giljotineerimiseks vajalik jõud läheb väga suureks, kuna tera on detailiga kontaktis kogu lõikepikkuses (Joonis 3.9).

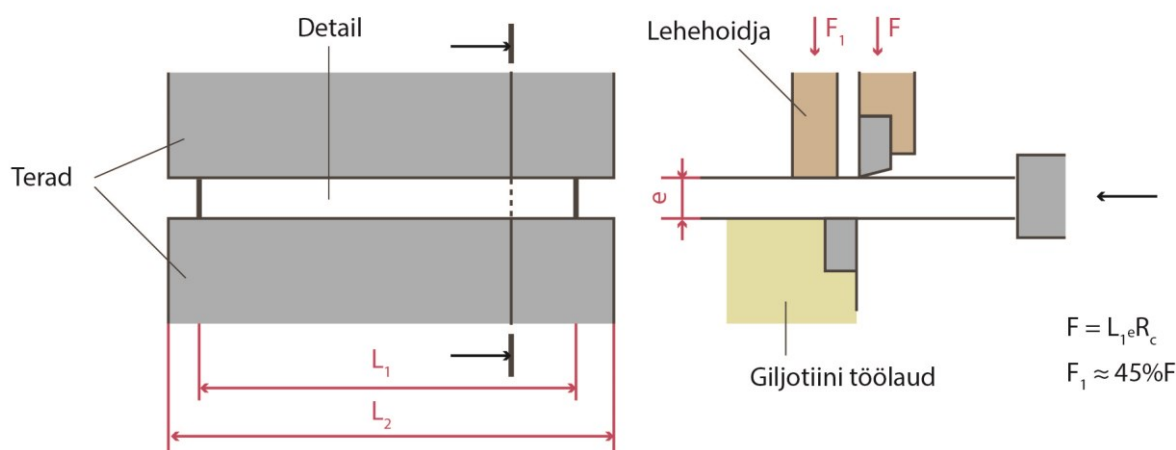
$$F = L_1 * e * R_c$$

F – giljotineerimiseks vajalik jõud (N)

L₁ – lõikepikkus

e – materjali paksus (mm)

R_c – materjali tõmbetugevus (N/mm²)



Joonis 3.9 Giljotineerimise skeem paralleelsete teradega.

Giljotineerimine, kus terad asuvad omavahel nurga all

Madalsüsinikterase puhul saab giljotineerimiseks vajaliku jõu arvutada valemist:

$$F = e^2 * R_c / 2 * \tan \alpha$$

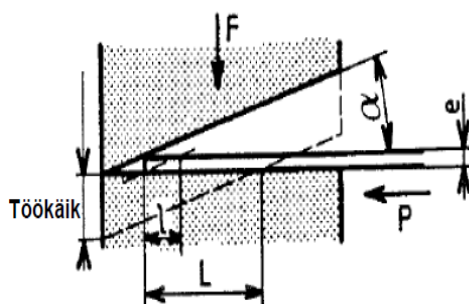
F – giljotineerimiseks vajalik jõud (N)

e – materjali paksus (mm)

R_c – materjali tõmbetugevus (N/mm²)

α – teradevaheline nurk (°)

Tähelepanu tuleks pöörata asjaolule, et lõikenurga muutus on pöördvõrdeline jõu muutumisega: mida suurem nurk, seda väiksem jõud. See lubab muudetava nurgaga pinkidel lõigata paksemaid materjale, võrreldes sama võimsate seadmetega, millel seda võimalust ei ole (Joonis 3.10).



Joonis 3.10 Giljotineerimine nurga all asuvate teradega: F – giljotineerimiseks vajalik jõud (N)

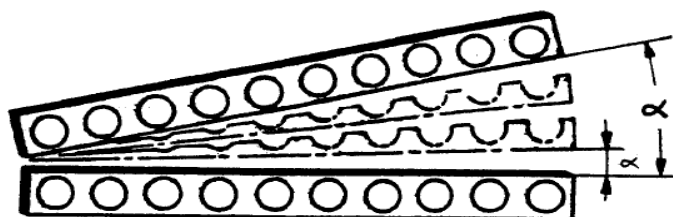
Selle meetodi puhul on vajalik jõud väiksem ja see arvutatakse valemiga

$$F = e^2 \cdot Rc / 2 \cdot \tan \alpha$$

Teisisõnu, kui teradevaheline nurk kasvab, siis ülemise tööriista detailiga kokkupuutuva osa pikkus väheneb ja ei ole vaja nii suurt jõudu materjali läbistamiseks. Kuna kokkupuutuva osa on väiksem, liigub tera kiiremini. Samal ajal tuleb meeles pidada, et tempel on nurga all ja seetõttu peab kogu detaili lõikamiseks vertikaalne töökäik olema pikem.

Lõikenurk

Nurka, mille all terad omavahel asuvad, nimetatakse lõikenurgaks (Joonis 3.11)

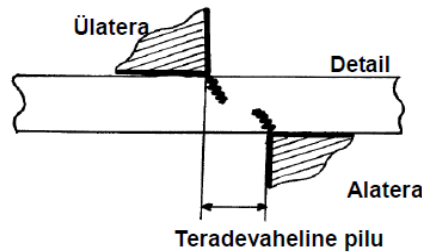


Joonis 3.11 Teradevaheline lõikenurk giljotineerimisel

3.1.11 Teradevaheline pilu

Üla- ja alatera vahelist kaugust nimetatakse teradevaheliseks piluks, mis määratakse vastavalt materjali tüübile ja paksusele (Joonis 3.12). Pilu õige laius ja asjaolu, et see jookseks ühtlaselt

kogu lõike ulatuses, on lõikserva kvaliteedi ja ristseisu tagamiseks väga oluline, seda eriti pikkade lõigete juures. Pilu suurendamine vähendab ka vajalikku jõudu, sõltuvalt faktoritest võib seda asjaolu ära kasutada, et lõigata paksemat või tugevamat materjali.

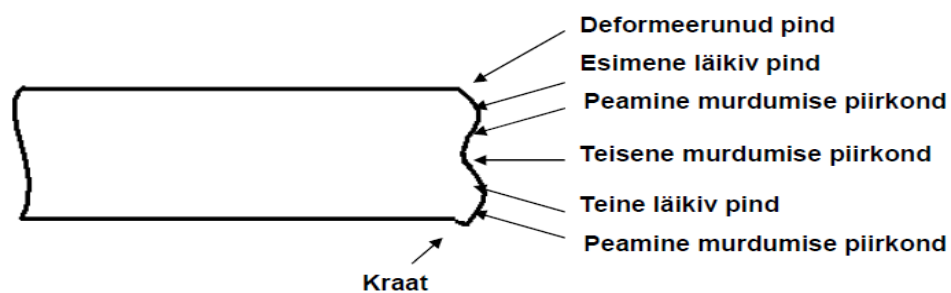


Joonis 3.12 Teradevaheline pilu giljotineerimisel

Teradevahelise pilu juures on kaks äärmust, millele tuleb tähelepanu pöörata:

1. Pilu ei tohi olla nii väikene, et ülemise ja alumise tera juurest alguse saanud lõiked ei kohtuks ühel joonel, see tähendaks viltuse servaga detaili. Järgneval joonisel on välja toodud giljotiini lõike olulisemad eristatavad piirkonnad, kust on hästi näha, kuidas mõlema tööriista juurest alguse saanud praod on samas tasapinnas.

2. Teine äärmus on liiga suur pilu, sellisel juhul sarnaneb lõikepind rohkem rebitud servaga kui puhta lõikega (Joonis 3.13).

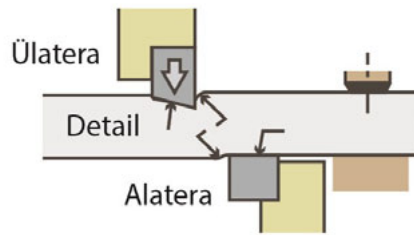


Joonis 3.13 Lõikeserva pind liiga suure pilu korral

Materjalis toimuvad protsessid giljotineerimisel

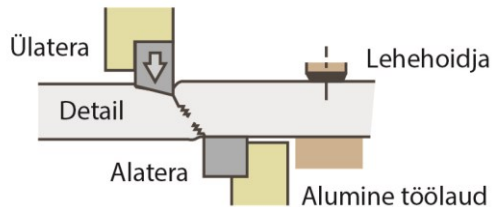
Giljotineerimise põhimõte on lihtne – terade tungimisel detaili ületatakse tõmbetugevuse piir ning mõlema tööriista juures hakkavad tekkima praod ja rebendid, mis kokku saades moodustavad materjali purunemise joone (Joonis 3.14).

1. Terad tungivad detaili, aga materjali tõmbetugevuse piiri veel ei ületata.



Joonis 3.14 Terade tungimine detaili

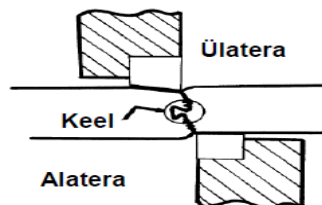
2. Ületatakse materjali tõmbetugevuse piir, mistõttu tekivad praod ja rebenemine (Joonis 3.15).



Joonis 3.15 Pragude ja rebendite tekkimine

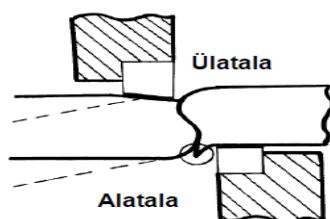
3.1.12 Õige teradevahelise pilu valiku tähtsus

1. Kui teradevaheline pilu on liiga väike, tekib kahe materjali purunemisjoone vahele defekt, nn keel, mis küll tsükli jooksul murdub, aga jätab lõikepinnale ebakvaliteetse jälje (Joonis 3.16).



Joonis 3.16 Materjali käitumine väikese teradevahelise pilu korral

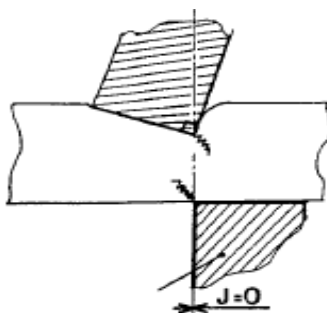
2. Liiga suure pilu korral ei ole lõikejoon risti materjaliga, võib tekkida serva paindumine ja suur kraat (Joonis 3.17).



Joonis 3.17 Materjali käitumine suure teradevahelise pilu korral

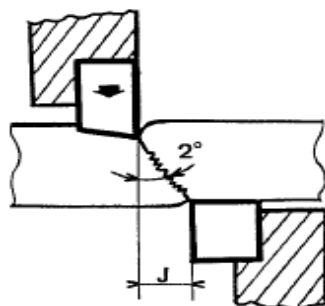
Lõikejoone nurk

Praod materjalis tekivad nurga all. Järgneval joonisel on näha lõikejoone kujunemine, kui teradevaheline pilu oleks 0 (Joonis 3.18).



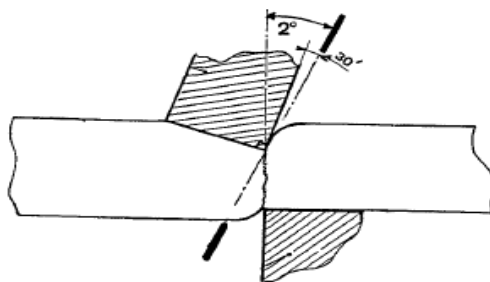
Joonis 3.18 Teradevaheline pilu (J) puudub ($J = 0$ (null))

Kuna normaalne lõikeprotsess toimub vastavalt materjali tüübile ja paksusele määratud teradevahelise piluga, siis reaalselt lõikejoont võib näha järgmisel joonisel. Tekkiva lõikejoone nurk vertikaaltelje suhtes on 2° (Joonis 3.19).



Joonis 3.19 Purunemisjoone tekkimine

Selle asjaolu kompenseerimiseks on paljudel giljotiinidel ülatera kallutatud 2° nurga alla (Joonis 3.20).



Joonis 3.20 Risti lõikepind saavutatakse ülatera kallutamisega

3.1.13 Giljotineerimiseks vajalikud jõud

Giljotineerimiseks vajaliku jõu arvutamisel tuleb arvesse palju erinevaid faktoreid. Järgnevalt toome välja neist seitse kõige olulisemat:

1. materjali paksus
2. materjali tugevus
3. materjali sisenemise sügavus
4. terade kaldenurk
5. painutusjõud ja materjali vastupidavus
6. teradevaheline pilu
7. tööriistade teravus.

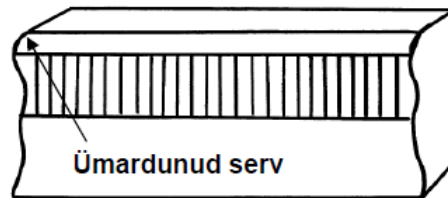
3.1.14 Terade sisenemise sügavus

Erinevate materjalide puhul on lõikamiseks vajalik terade sisenemise sügavus erinev.

1. Plastiliste materjalide puhul toimub detaili läbilõikamine alles töötsükli lõpus.
2. Enamik materjalide puhul tekivad terade puuteservadele praod, mis on väikese nurga all ($\approx 2^\circ$). Plastilisemate detailide puhul toimub protsess aeglasemalt, vastavalt sellele, kuidas tööriistad kulgevad.

3. Väheplastiliste materjalide puhul liiguvad praod kiiresti edasi ja toimub murdumine. deformatsiooni suurus (detaili ümardatud serv,

Joonis 3.21) on funktsioon terade sisenemise (protsentides) ja teradevahelise pilu vahel. Kui sisenemise protsent on 50%, peab tööriist materjali tungima poole paksuse ulatuses. Näiteks madalsüsinikterase puhul on see näitaja 2%, aga alumiiniumi puhul 60%.



Joonis 3.21 Plastse deformatsiooni suurus

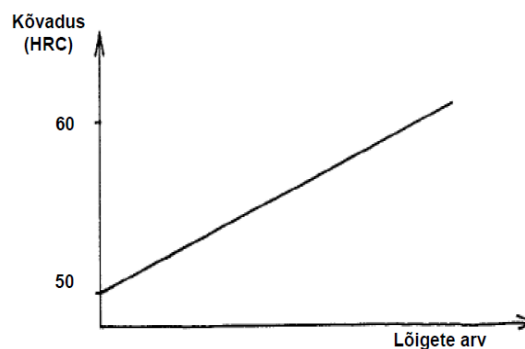
3.1.15 Giljotiini terad

Giljotiini terad on seadme tööriistad ja nende eest tuleb hästi hoolt kanda. Oluline on jälgida, et terad oleksid teravad. Kui sellele piisavalt tähelepanu ei pöörata, muutuvad kulutused uutele tööriistadele ja praagile peagi liiga suureks. Terav tööriist lõikab kiiremini ja ei teki liigset deformatsiooni detaili pinnal, kuna kogu jõud kantakse väiksemale alale kui ümara servaga tera korral. Terade kestvuse hindamiseks on põhiliselt kaks kriteeriumi:

1. kulumiskindlus
2. vastupidavus kildude murdumisele.

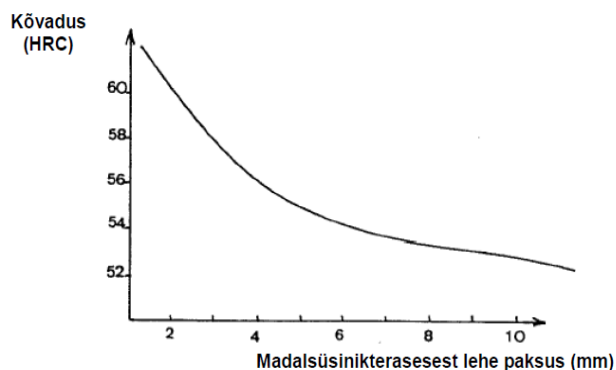
Tänapäeval ei ole turul materjali, mis suudaks täita mõlemaid kriteeriume. Põhjus on lihtne – oma olemuselt on need kaks tingimust teineteisele proportsionaalselt vastukäivad.

Kulumiskindlus sõltub materjali koostisest. Seosest terade kulumise ja materjali kõvaduse vahel annab aimu järgmine illustratiivne joonis (Joonis 3.22):



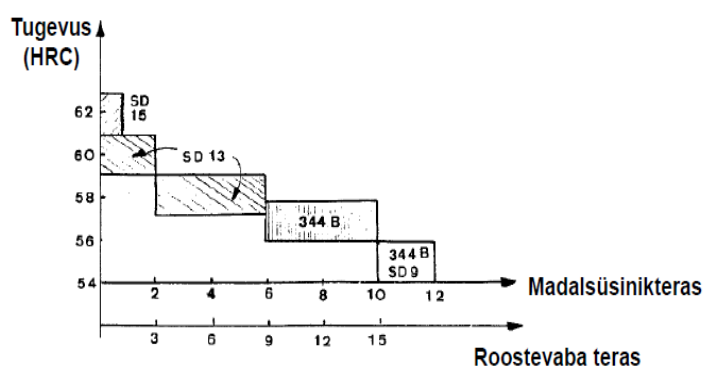
Joonis 3.22 Seos materjali kõvaduse ja lõigete arvu vahel

Parim vastupidavus kildude murdumisele saavutatakse, kui terade kõvadus valitakse lähtuvalt materjali paksusest vastavalt järgmisele graafilisele joonisele (Joonis 3.23):



Joonis 3.23 Seos materjali kõvaduse ja paksuse vahel

Eeltoodust tulenevalt ei ole olemas universaalseid terasid, mida kasutada 0,4–12 mm materjalide puhul. Parim kompromiss kulumiskindluse ja kildude tekkimise vahel saavutatakse siis, kui kasutatakse terasid järgmise graafiku alusel (kastides on näidatud Amada giljotiiniterade tüübid, Joonis 3.24):



Joonis 3.24 Amada firma giljotiiniterade tüübid

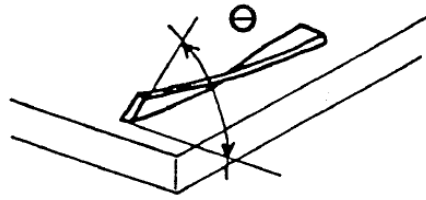
Materjali käitumine giljotineerimisel

Materjali käitumises giljotineerimisel eristatakse kolme põhilist deformatsiooni:

1. vääne;
2. kumerus;
3. kaar.

Vääne

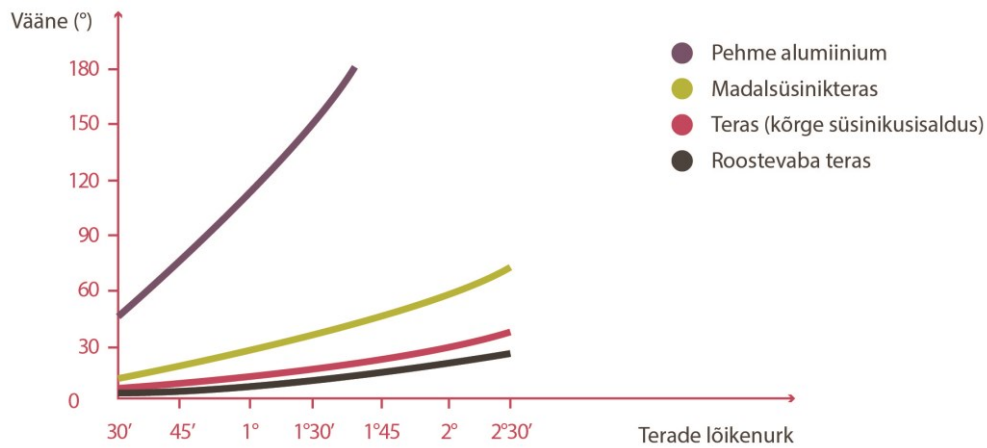
Vääne on materjali omadus lõikel väänduda. Deformatsiooni peamiseks põhjuseks on üla- ja alatala vaheline lõikenurk. Väände suurus on proportsionaalses seoses lõikenurga ja lõigatava detaili pikkusega – mida suurem nurk ja pikem detail, seda suurem vääne (Joonis 3.25).



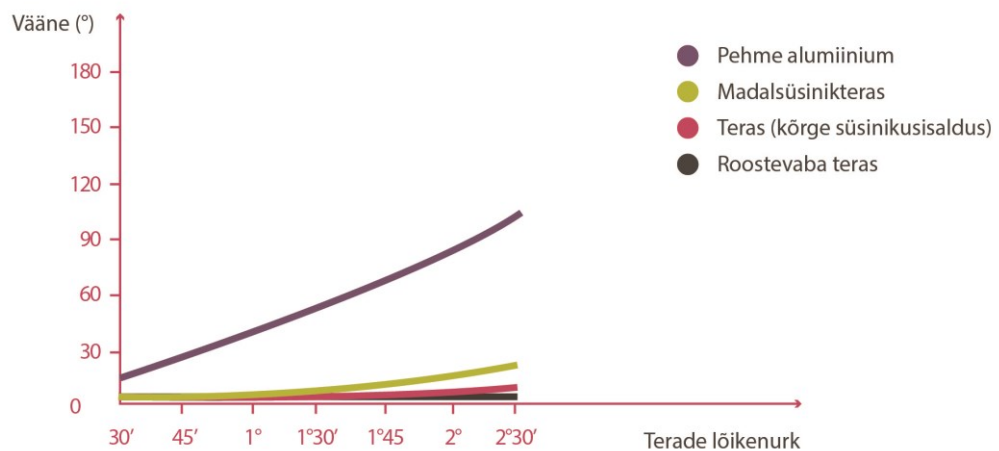
Joonis 3.25 Väände tekkimise seos lõikenurga ja lõigatava detaili pikkuse vahel

Järgnevatel graafikutel on välja toodud, millised on eeldatavad väänded erinevate lõikenurkade, materjali tüüpide, paksuste ja detailide pikkuste juures.

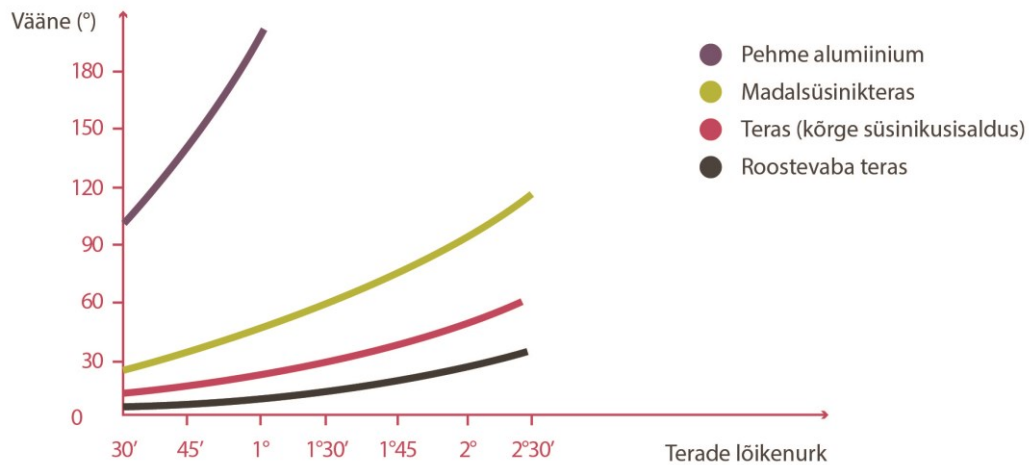
1. Materjali paksus 1,5 mm ja lõigatava riba laius 19 mm.



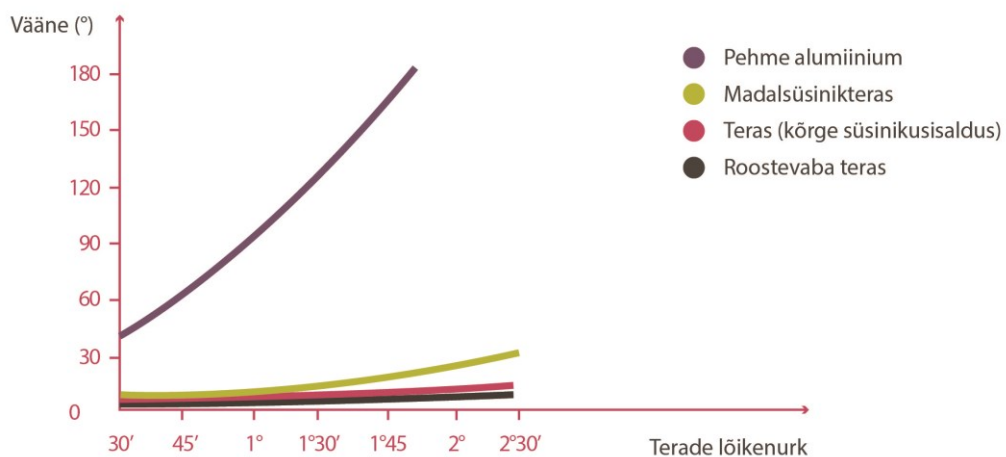
2. Materjali paksus 1,5 mm ja lõigatava riba laius 40 mm.



3. Materjali paksus 5 mm ja lõigatava riba laius 19 mm.



4. Materjali paksus 5 mm ja riba laius 40 mm.



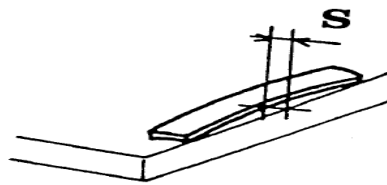
Esitatud graafikutelt saab järeldada, et pehmemad materjalid väänduvad rohkem kui kõvemad. Samuti on suuremad väändenurgad paksemate materjalide ja kitsamate ribade puhul. Vähendades terade lõikenurka 2°30`-lt 1°45`-ni, on võimalik väänet vähendada umbes 2 korda rohkem, kui muutes lõikenurka 1°45`-lt 1°-ni, mis tähendab seda, et viimase variandi puhul ei ole seadistus võrreldes töökiiruse kaoga õigustatud.

3.1.16 Kumerus

Kumerus on materjali omadus giljotineerimisel põhilehe suhtes eemale kumerduda. Kuigi kumerdumisel on mingil määral seos ka riba laieusega, on siiski peamisteks põhjusteks materjalis

endas esinevad tehnoloogilised probleemid nagu rullvaltsimisest tulenevad struktuurimuutused – valtsimisliinil töödeldava lehe servad jahtuvad varem, mistõttu tekivad keskosa suhtes pinged.

Seetõttu on giljotineerimise juures oluline tähelepanu pöörata asjaolule, kas lõiget teostatakse piki või risti lehtmaterjali valtsimise suunaga. Üldiselt on aktsepteeritav kumerus $S = 0,5$ mm 1 meetri kohta ribal, mis on vähemalt 100 mm lai (Joonis 3.26).



Joonis 3.26 Giljotineerimisel tekkiv kumerus S

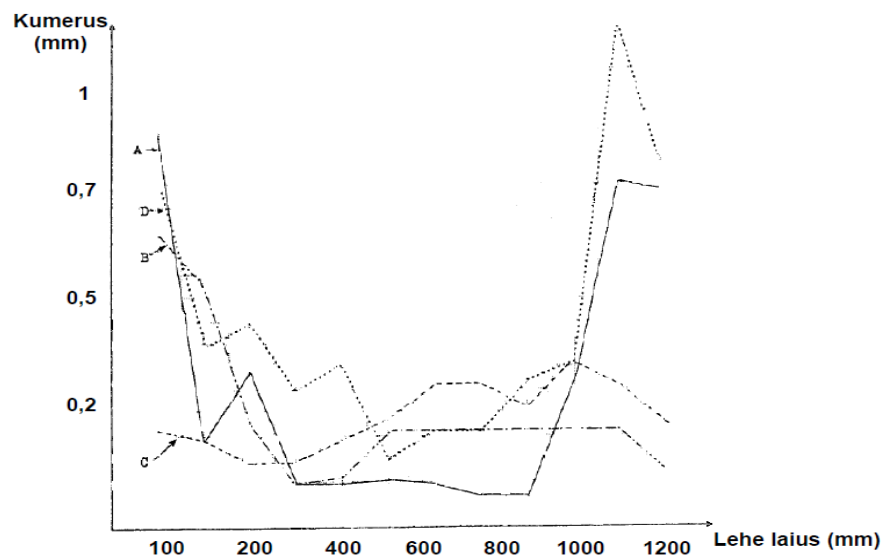
Järgnevalt graafikult (Joonis 3.27) on näha, et kumeruse sügavus varieerub lehtmaterjali laiuse ulatuses ja lehe servades on see kõige suurem, mis on tingitud materjali valtsimise suunast.

A – kuumvaltsitud, õlitatud, karastamata

B – kuumvaltsitud, õlitatud, karastatud

C – kuumvaltsitud

D – kuumvaltsitud, õlitatud, karastamata (giljotineeritud teise tootja masinal)



Joonis 3.27 Kumeruse suuruse ja lehe laiuse vaheline seos

3.1.17 Kaar

Kaar on materjali omadus kaarduda vertikaalsihis. See probleem esineb rohkem pikkade ja kitsaste ribade giljotineerimisel. Peamine põhjus kaare tekkimiseks on nurga all töötav ülatera. Teine põhjus võib olla tööriistade poolt lõikejoonel tekitatav deformatsioon. Mida laiem on lõigatav detail, seda väiksem on kaare või väände tekkimise võimalus, sest tagasivetruvus kasvab lõigatava riba laiuse suurenemisel. Kaar võib esineda koos väändega kitsastel detailidel ja koos kumerusega laiematel detailidel.

Kaare ja kumeruse vähendamiseks on oluline kontrollida jõudu, millega lehehoidjad detaili kinni suruvad. Näiteks 3 mm madalsüsinikterase puhul on vajalik jõud $F1 \approx 1t/m$.

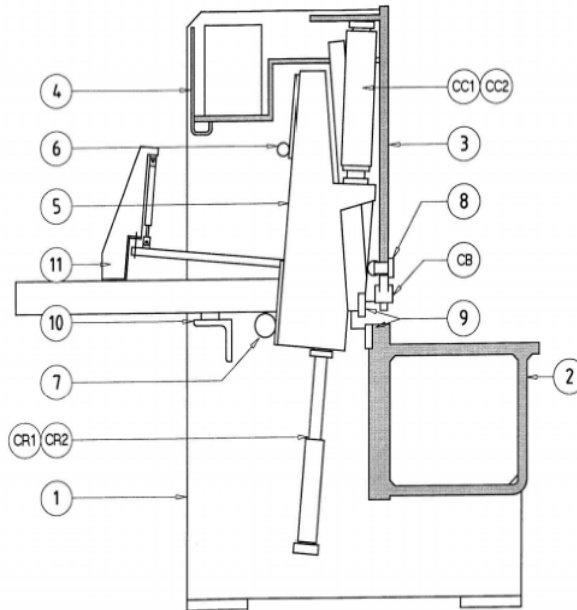
Kokkuvõte

Giljotineerimise täpsust vähendavateks asjaoludeks peetakse: materjali sisestamise ebatäpsust, väände, kumeruse või kaare teket, külmpkarastust, valtsimise pingeid ja seadme mehaanilisi ebatäpsusi. Kõik ebatäpsused kasvavad lõiknurga suurenedes. Vältida tuleks liiga suurt teradevahelist pilu, mis soodustab deformatsioone. Kõiki materjali deformatsioone saab vähendada või isegi vältida, eriti kitsaste ribade puhul, kui lõigatav leht sisestada masina tagantpoolt nii, et lõigatud detail jääb töölauale.

Kui detaili on eelnevalt lõigatud mõne termilise lõikprotsessiga, siis on sinna tekkinud pinged. Sellist materjali giljotineerides võivad tekkida deformatsioonid pingete leevenemisest.

3.1.18 Amada GS II masina ehitus

Amada GS II seeria giljotiinid baseeruvad nn *closed box* töölauakonstruktsioonil, mis toestab alumist lõiketera ja tagab raamile jäikuse ning stabiilse terade vahelise pilu kogu lõikepikkuse ulatuses (Joonis 3.28).



Joonis 3.28 Amada GS II masina ehitus

Raam

Giljotiini raam on keevitatud kokku erinevatest komponentidest ja sellele on tagatud suur jäikus.

Raami põhikomponendid on järgmised:

- kaks külgtala (1), mis toetavad juhikuid ja on omavahel ühendatud
- karpkonstruktsioon (2), mis toetab alumist lõiketera
- esiplaat (3), millele kinnituvad lehehoidjad (CB)
- tagumine toetussein (4)
- ülatera hoidja (5), mis koosneb kahest keevitatud raamist
- ülatera hoidjat suunavad laagrid: ülemised laagrid (6), alumised laagrid (7) ja esilaagrid (8)
- üla- ja alatera (9)
- tagatugi (10)
- ülaterahoidjale kinnituvad fiksaatorid (11).

Lõiketerad

2 lõiketera (9), millel on võimalik kasutada nelja lõikeserva. Nende kasutamiseks tuleb pöörata või omavahel vahetada ülemine ja alumine lõiketera. Lõiketera ristlõige on 16 x 65 mm. Ülemise ja alumise lõiketera kinnitusi korrigeeritakse (poole pikkuse ulatuses). Lõiketerade tüübid on toodud Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Lõiketerade tüübid

Masina tüüp	Lõikamis pikkus mm	AMADA kood	ANORS spetsifikatsioon	Tugevus HRC	Kaal kg
GS	3100	V 11353	SD 13	57-59	25,5
630	3100	V 32205	SD 13-2	55-57	25,5

3.1.19 Giljotineerimise ohutusjuhend

Masina paigaldamisel, töötamisel ja hooldamisel pea kinni kõikidest ohutusreeglitest ning alljärgnevast:

1. Kõiki elektritöid peavad tegema ainult kvalifitseeritud elektrikud, et vältida kehalisi vigastusi ja materiaalseid kahjusid.
2. Ära pane käsi lõiketerade vahele ja hüdrosilindri alla (käpp).
3. Elektroonilist käsuaehelat ega ühtegi teist masina osa ei tohi modifitseerida.
4. Ära kasuta masinat, kui mõni selle ohutusseadmetest on eemaldatud või selle töös esineb häireid.
5. Ära sisene masina ohutusseadmete tööalasse, st ohtlikku piirkonda masina tagaküljel.
6. Kontrolli iga päev ja veendu enne masinaga tööle asumist, et
 - kõik ohutusseadmed on õigesti positsioneeritud ja töökorras
 - tagatud on juurdepääs kõigile süsteemikomponentidele
 - põrand masina ümber on puhas, seal ei ole vett, õli ega määrdeaineid.
7. Ära kanna masinaga töötamisel või masina reguleerimisel lipsu, salli või muid lahtiseid riietusesemeid.
8. Veendu, et sinu käsutuses on alati üks masinat põhjalikult tundev operaator, kes on saanud vastava väljaõppe ja kvalifitseerunud masina seadistamiseks ja reguleerimiseks.
9. Lülita pealüliti välja enne, kui hakkad masina juures tegema hooldus- või parandustöid, välja arvatud neil juhtudel, kus nimetatud tööde läbiviimiseks on vajalik elektritoide. Sellistel erijuhtudel võib masina juures hooldustöid teha ainult üks vastava väljaõppe saanud inimene.
10. Kanna kaitsekindaid, mis on kohandatud töötamiseks tingimustes nagu metalli lõikamine, lehtmetsa ja metallijäätmete käsitlemine.

11. Isegi siis, kui masina tekitatud müratase tühikäigul või lõikamise ajal on väga madal, võib lõigatud osade kukkumine põhjustada müraimpulsse, mille väärtus võib olla üle 85 dBA. Sellistes tingimustes tuleks kanda kuulmiskaitseid.
12. Masinat ei tohi kasutada plahvatusohtlikus keskkonnas.
13. Masina käitamist ja hooldustöid tohib läbi viia ainult kvalifitseeritud töötaja.

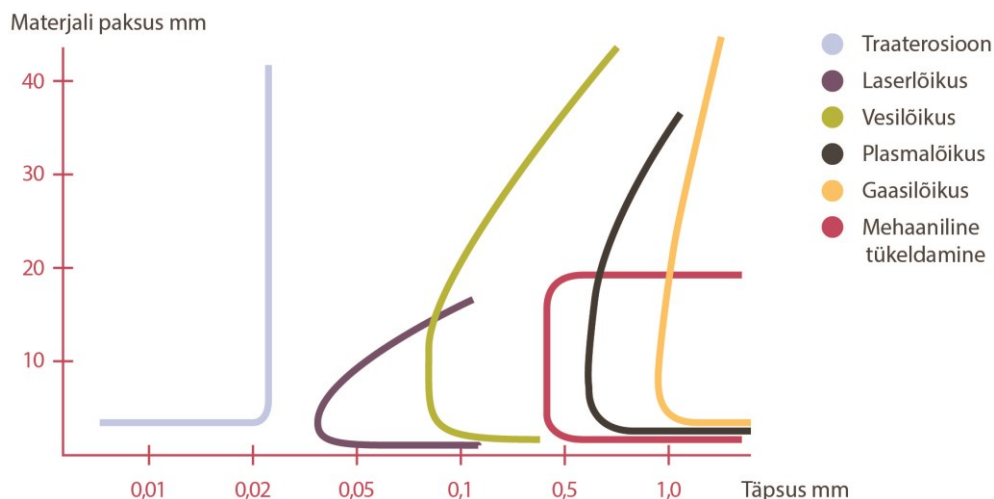
Kordamisküsimused

1. Mida nimetatakse giljotineerimiseks?
2. Milline on mehaanilise giljotineerimisseadme ehitus ja tööpõhimõte?
3. Kuidas liigitatakse giljotiine terade liikumisviisi alusel?
4. Milliseid nõudeid esitatakse giljotiini üla- ja alatalale?
5. Kuidas liigitatakse giljotiine ajamite alusel?
6. Millise tükelduslõike korral rakendub üla- ja alatalale maksimaalne koormus?
7. Kuidas mõjutab giljotiini lõiketerade vaheline pilu lõigatava materjali serva kvaliteeti?
8. Mida tähendab materjali vääne, kumerus ja kaar giljotineerimisel?
9. Milliseid töökaitsenõudeid ja vahendeid peab kasutama giljotineerimisel?

3.2 Gaasi- ja plasmalõikus

1. On sul ettekujutust erineva paksuse ja koostisega metallide tükeldamisest sulatusega?
2. Oled sa näinud gaas- ja plasmalõikuspinke ja nende töötamist?
3. Kas sinu arvates on huvitav tutvuda gaas- ja plasmalõikustehnoloogiatega?

Gaas- ja plasmalõikus, nagu paljud teisedki kuumusega materjale lõigatavad tehnoloogiad, baseeruvad kõrgetemperatuurilisel töötlusprotsessil, mis oma täpsuselt jääb alla traaterosioon-, laser- ja vesilõikusele, kuid konkureerib nendega materjali paksuse osas (Joonis 3.29). Gaas- ja plasmalõikuspinkide konstrueerimise põhimõtted on võetud käsigaaslõikamis- ning keevitus- tehnoloogiate kohandamisest tööpinkide võimalustega, mis tänapäeval tänu arvjuhtimis- programmide kasutusvõtule võimaldab lõikamisel saavutada suure täpsuse ja lõikekiiruse.



Joonis 3.29 Erinevate lõikemeetodite võrdlus

Gaas- ja plasmalõikamise puhul kasutatakse soojusenergiat materjalide kuumutamiseks nende süttimis-, sulamis- või aurustumistemperatuurini.

Gaaslõikamisel hapnikuga kasutatakse hapnikureaktsiooni eksotermilist energiat. Leek ainult kuumutab materjali kuni süttimistemperatuurini. Hapnikujuga põletab materjali ja puhub välja sulametalli ja räbu. Lõikamiskiirus oleneb hapniku puhtusastmest ja lõikava gaasijoa kujust. Suurema tootlikkuse saavutamiseks on vaja kõrge puhtusastmega hapnikku, düüsi optimeeritud lahendust ja sobivat gaasivarustust.

Plasmalõikamisel lämmastikuga kuumutatakse materjali sulamistemperatuurini ning lõikamisgaas puhub sulametalli välja. Tulemusele aitab kaasa õige lõikamisgaasi valik.

Gaas- ja plasmalõiketehnoloogia on tavaliselt ühendatud ühe pingi konstruktsioonis ja võimaldavad seega kasutada kahte lõikamismoodust vastavalt vajadustele ja võimalustele.

Joonis 3.30 on näidatud **JANTAR 2** lõikepink, mis on väga efektiivne ning mõeldud keerukate profiilide täpselt lõikamiseks kuni 100 mm paksusest materjalist gaasi- või plasmapõletite abil. Tänu kahepoolsele ajamile saavutatakse suur lõikamiskiirus ja hea -täpsus. **JANTAR 2** toodetakse töölaiustega 1500, 2000, 2500 ja 3000 mm, võimalusega laiendada jälge 2000 mm moodulite abil. Seade on varustatud täiendava töölauga, mistõttu masina mõõtmed ei muutu raskete materjalide töötlemisel, samuti kannatab see masin suurt termilist koormust.



Joonis 3.30 Gaasi- ja plasmalõikuspink JANTAR 2

Tehnilised andmed:

Tabel 3.2 Gaasi- ja plasmalõikuspink JANTAR 2 tehnilised andmed

Ajam	Kahepoolne
Lõikamise laius	1500, 2000, 2500 või 3000 mm
Lõikamise pikkus	alates 2000 mm
Positsioneerimise kiirus	25 000 mm/min
Lõike paksus ühe gaasipõletiga	maksimaalselt 100 mm
Lõike paksus plasmapõletiga	sõltub plasmaseadme parameetritest
CNC positsioneerimise täpsus	0,005 mm
Nõutav töölaua kõrgus	700 mm

Joonis 3.31 on kujutatud gaasi- ja plasmalõikuspinki **SAPPHIRE BL2** kõrgekvaliteediliste tööstuslike seadmete seeriast, mille abil on võimalik lõigata materjale paksusega **kuni 300 mm**. See pink on ette nähtud pidevaks tööks rasketes tingimustes ilma pikemate vaheaegadeta. Pingil on mehaanilised ja elektroonilised elemendid, mis tagavad töökindluse ja kõrge tootlikkuse minimaalse hoolduse puhul. Seda lõikepinkki toodetakse töölaiusega 2000 kuni 6000 mm; pikisuunalise teepikkuse kohta piirangud puuduvad. Pinki kasutatakse väga paljudes ettevõtetes, kus on rasked töötingimused: rasketööstuses, laevatehastes ja terasetööstuses.



Joonis 3.31 Gaas- ja plasmalõikuspink SAPHIRE BL2

Tabel 3.3 Gaas- ja plasmalõikuspink SAPHIRE BL2 tehnilise andmed

Ajam	Kahepoolne
Lõikamise laius	2000–6000 mm
Lõikamise pikkus	alates 2000 mm
Juhtteede pikkus	4000 mm
Portaali pikenduse pikkus	2000 mm
Positsioneerimise kiirus	20 000 mm/min
Lõike paksus ühe gaasipõletiga	200 mm (300 mm)
Lõike paksus plasmapõletiga	sõltub plasmaseadme parameetritest
Nõutav töölaua kõrgus	700 mm

Jooniste 3.30 ja 3.31 lõikepingid baseeruvad firma Eckert lõiketehnoloogiatel. Gaas- ja plasma-lõikepinkide nomenklatuur on erinev ja nende tehnilised parameetrid varieeruvad sõltuvalt tööstuse konkreetsetest vajadustest ning pingivalmistajate pakutavatest lahendustest. Kuna gaas- ja plasmalõikus toimuvad eralduvate gaaside keskkonnas, on pinkidele esitatud kõrgendatud nõuded ohutute töötingimuste tagamiseks, eriti plasmalõikamise puhul, kus on vajalik efektiivse ventilatsioonisüsteemi olemasolu.

Sektsioonlauad on komplekteeritud arvutijuhtimisega luukidega, mis võimaldavad eraldada põlenud esemed tolmu- ja õhust. Seejärel juhitakse õhk torusüsteemi kaudu filterventilatsiooni. Vastuvõetud ohutusstandardid garanteerivad kaasaegsete gaas- ja plasmapinkide tööohutuse ja keskkonnanõude.

3.2.1 Gaaslõik

Hapnik- ehk gaaslõik (oxyfuel gas cutting) puhul põleb teras hapnikujoas oksiidideks. Vajalik materjali ettekuumutus toimub hapniku-atsetüleenileegiga, mille järel juhitakse lõikesse hapnikujuga. Sulanud metalliräbu puhutakse lõikepinnast välja. Sobib süsinikteraste ja madallegeerteraste lõikamiseks, mida iseloomustab minimaalse lõikejoone laius (kerf) vahemikus 2–5 mm. Gaaslõikusele on iseloomulik pilu tasapinnast kõrvalekalle, servade kalle (squariness and inclination tolerance), mida tähistatakse tähega u.

Lõike laiuse pilu võib olla piires 0,2–2,0 mm. Nimetada võiks veel hapnikujoa kõrvalekallet, hilineid lõikamise suunas (drag), mis tekib, kui hapniku voolukiirus on ebapiisav ja lõikekiirus suur. Oluline on ülaserva raadius (top edge rounding), lõikepinna karedus, vagude sügavus (roughness), termomõju tsoon – kuni 6 mm, karastumise võimalus – $C > 0,35 \%$, ettekuumutus, lõigatud toorikute (restraint) kõverdumine termiliste pingete toimetel.

Karastamata terase lõikamiseks piisab vaid gaasist, sobivast põletist ja kindlast käest. See põhimõte ei ole 20. sajandi algusest saadik muutunud. Gaaslõikamine on põlemisprotsess. Tegelikult ei lõika mitte kuumutusleek, vaid hapnikujuga, mis põletab materjali soojuse tekkel ning kannab põlemissaadused (nt räbu) lõikelt ära. Lõikamisel on hapniku puhtusaste lõikamiskiiruse seisukohast väga oluline. Mida puhtam gaas, seda suurem lõikamiskiirus ja parem tootlikkus ning lõikekvaliteet.

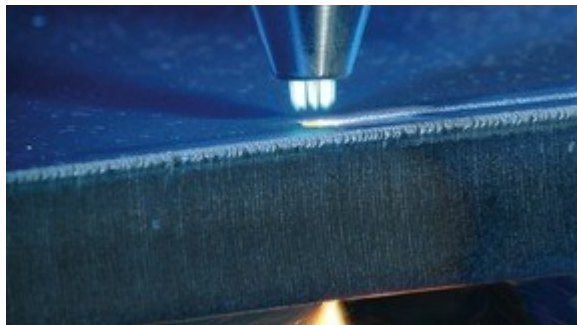
Enne kui lõikamine saab alata, tuleb terast gaasileegiga süttimistemperatuurini kuumutada. Põlevgaasi valik mõjutab lõikekvaliteeti ja eelkuumutuseks kasutatavat aega. Põlevgaasi valimisel tuleb arvestada ka materjali paksust. Lõhnastatud hapnikku ODOROX® kasutades saab vähendada tulekahju- ja plahvatusohtu, millega põlevgaasid on alati seotud. Lõhn hoiatab aegsasti gaasilekete korral.

Lõikamisseadmete olulisim osa on lõikamisdüüs. Mida suurem on hapnikujoa väljalaskekiirus, seda võimsam on düüs. Kiirus sõltub omakorda lõikamisdüüsi kujust. Kvaliteetse lõike saavuta-

miseks on lõikamisdüüsi konstruktsioon ülioluline, samuti selle kohandatavus erinevatele põlevgaasidele gaasikanalite suuruse, lubatud kõrvalekallete ning pinnaviimistluse poolest.

Gaaslõikamist saab kasutada karastamata ja madallegeritud terase lõikamiseks, mille maksimumpaksus on veidi üle 1000 mm. Lõike kvaliteet oleneb ka töödeldava detaili pinnast, mida võivad mõjutada eri tüüpi eelkrundid tehases. Mitme põleti kasutamine lame- ning nurklõikamiseks ja liite ettevalmistamiseks on näide lõikamisprotsessi universaalsusest. Protsess on ka hõlpsasti mehhaniseeritav.

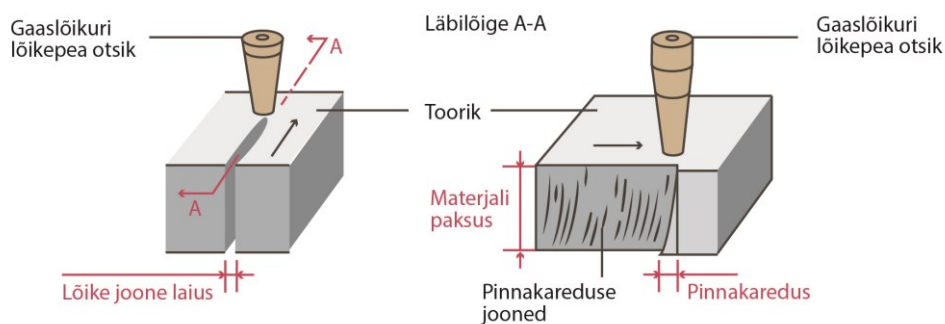
Põlevgaaside kasutamine koos hapnikuga võib põhjustada ohtlikke olukordi, kui kasutajal ei ole piisavalt teadmisi gaaside, seadmete ja kaitseseadmete kohta. Selliseid ohte saab vältida, järgides tuletööde ohutusjuhiseid. Tüüpiline gaaslõikamisprotsess on kujutatud joonisel 3.32.



Joonis 3.32 Gaaslõikamisprotsess gaaslõikajaga

Gaaslõikeprotsessi mõjutab üle 20 teguri, mille arvessevõtmine eeldab kogu lõikeprotsessi põhjalikku tundmist.

Joonis 3.33 on näidatud gaaslõikeprotsessi skemaatilisel kujutisel tekkiv lõikejoone laius ja lõikejooned lõikepinnal.



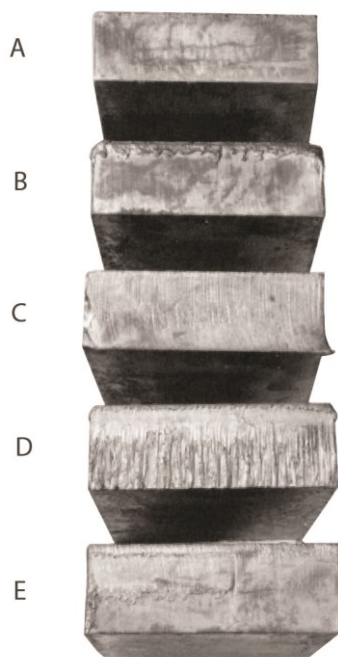
Joonis 3.33 Gaaslõikeprotsessi skemaatiline kujutis

Gaaslõikamisel võib lõigatava materjali paksus varieeruda vahemikus **3–1520 mm**. Paksuse järgi liigitatakse lõigatavaid materjale:

- kerge lõikamine – paksusega alla 9,5 mm, kusjuures paksusega alla 3,2 mm on raske kvaliteeti kontrollida ning parema lõiketulemuse saavutamiseks pannakse plaadid üksteise peale;
- keskmine lõikamine – paksusega 9–255 mm, parim lõikekvaliteet;
- raske lõikamine – paksusega üle 250 mm.

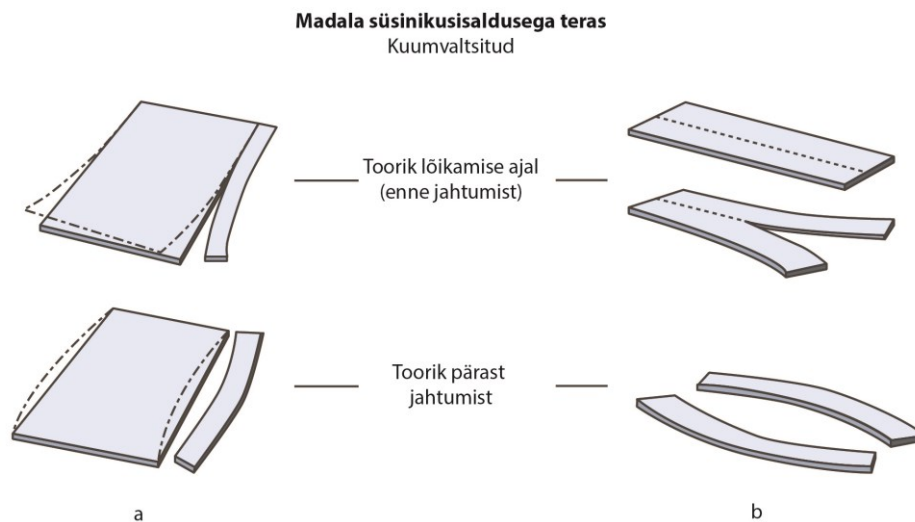
Joonis 3.34 on võimalik võrrelda lõikepinna kvaliteeti. Joonisel ülevalt alla on lõikepinnad tähistatud vastavalt A, B, C, D ja E:

- A – optimaalsed parameetrid – lõikekiirus, ettekuumus ja lõikehapniku surve. Ei ole räbu, otsaserv ei ole ümardusraadiusega;
- B – liiga suur ettekuumus, tekib palju räbu ja otsaserv on ümardunud;
- C – liiga suur lõikekiirus, suur kõrvalekalle, vasak serv ei ole hästi läbi lõigatud;
- D – liiga suur lõikehapniku surve, pind konarustega, otsaserv on sulanud;
- E – liiga väike lõikekiirus, põlenud räbu on jäänud lõikepinnale.



Joonis 3.34 Lõikerežiimi muutusest tingitud lõikepinna kvaliteet

Materjalide omadustest, nende paksusest ja lõikeparameetritest sõltuvalt võib esineda toorikute kõverdumist. Joonis 3.35 (a, b) on näidatud madalsüsinikterasest lehtmetsalli kõverdumised lõikamisel ja hilisemal jahutamisel.

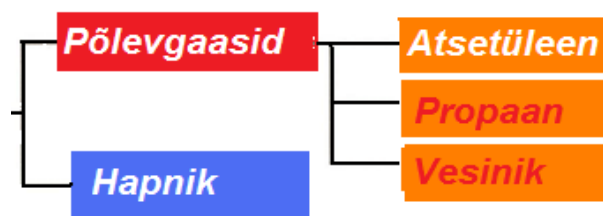


Joonis 3.35 Lehtmetsalli deformatsioonid lõikamisel

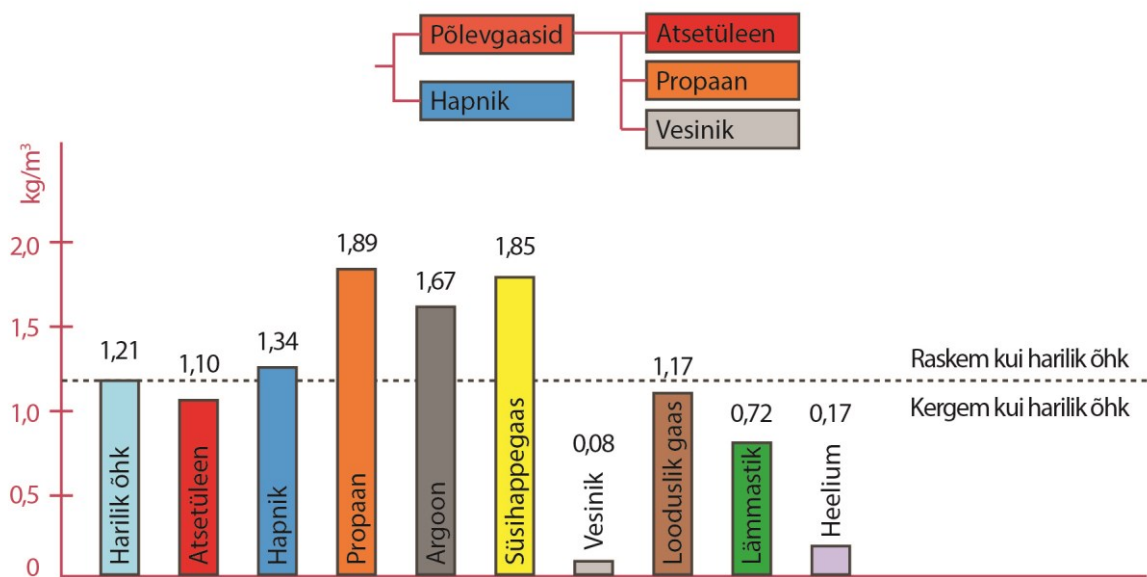
3.2.2 Lõikamisel kasutatavad põlevgaasid

Gaaslõikamisel kasutatakse erinevaid gaase ja nende segusid. Põlevgaasid kuuluvad ohtlike ainete nimekirja, seega on nende omaduste tundmine ning käsitlemisoskus väga oluline tööpingsioperaatorite jaoks.

Põlevgaasid (Joonis 3.36) on gaasid, mis hapnikuga ühinedes põlevad ja mida kasutatakse lõikamisel. **Hapnik** on gaas, mis soodustab põlemist, kuid iseseisvalt ei põle (Joonis 3.37).



Joonis 3.36 Põlevgaasid



Joonis 3.37 Põlevgaasid ja hapnik

Atsetüleen on metallide gaaskeevitamisel ja -lõikamisel põhiline põlevgaas, millel on terav küüslaugulõhn ja mis imab väga hästi vett. Teda saadakse kaltsiumkarbiidist koksi ja kustutamata lubja sulatamisel elektriahjudes temperatuuril 1900...2300 °C reaktsiooniga $\text{CaO} + 3\text{C} = \text{CaC}_2 + \text{CO}$. Uuesti veega reageerides saadakse temast atsetüleen ja kustutatud lubi järgneva võrrandiga $\text{CaC}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{C}_2\text{H}_2 + \text{CA}(\text{OH})_2$. Ühest kilogrammist võib saada 235...285 dm³ atsetüleeni. Kõrge energiasalduse tõttu kasutatakse atsetüleeni põlevgaasina, kus leegi temperatuur ulatub põlemisel tehniliselt puhtas hapnikus kuni 3200 °C-ni.

Atsetüleen on süsiniku ja vesiniku keemiline ühend. Normaaltemperatuuril ja -rõhul on tehniline atsetüleen värvitu küüslaugulõhnaga gaas. Lõhna põhjustavad gaasis sisalduvad lisandid: väävelvesinik, ammoniaak, fosforvesinik jt. Atsetüleen on õhust veidi kergem. Ta on uinutava toimega ja suurtes kogustes lammata, sisaldades väikestes kogustes vesiniksulfiidi, arseeni ja fosfeeni.

Atsetüleeni sissehingamist suurtes kogustes tuleb vältida. Normaalasel atmosfäärirõhul ning temperatuuril 20 °C kaalub 1 m³ atsetüleeni 1,09 kg. Veeldub –82,4...–84,0° C ning –85 °C juures muutub tahheks.

Atsetüleen on eriti kergelt süttiv gaas. Isesüttimistemperatuur rõhul 0,19 Mpa on 500...600 °C, rõhul 2,16 Mpa aga juba 350 °C. Juba ülerõhul 0,6 bar laguneb atsetüleen algaineteks – süsinikuks ja vesinikuks. Lagunemisega kaasneb plahvatus. Vedelas või tahkes olekus võib atsetüleen plahvatada nii lõõgast kui hõõrdumisest. Temperatuuril 400 °C ühinevad atsetüleeni-

molekulid omavahel, moodustades uued keerukamad ained – benseeni (C₆H₆), stüreeni (C₈H₈), naftaliini (C₁₀H₁₀) jt.

Segunedes **õhuga, on plahvatusohtlikkuse piirid 2,4...83%, hapnikuga 2,4...93%**. Siiski kõige **plahvatusohtlikumad on segud, mis sisaldavad 7...13% atsetüleen koos õhu või hapnikuga** ja võivad plahvatada nii sädemest kui ka tugevast kuumusest. Atsetüleeni rõhk voolikutes ei või **tõusta üle 1,5 baari**, kuna temperatuuri tõusuga võib tekkida plahvatusohtlik olukord.

Atsetüleenile lisatud vaskoksiid alandab isesüttimistemperatuuri **kuni 240 °C**. Teatud tingimustes **reageerib atsetüleen vasega**, moodustades plahvatusohtlikke ühendeid (atsetüleenivask) ja seega on keelatud kasutada vaskdetaili, **milles on üle 65...70% vaske**.

Vedelikes lahustumisel atsetüleeni plahvatusohtlikkus väheneb. Eriti hästi **lahustub atsetüleen atsetoonis**. Normaalarõhul ja 20 °C juures võib ühes mahuosas atsetoonis lahustada kuni 20 mahuosa atsetüleeni. Rõhu tõstmisel ja temperatuuri langemisel suureneb atsetüleeni lahustuvus atsetoonis veelgi.

Kasutuskohale toimetatakse atsetüleen terasballoonides, mis on täidetud poorse massiga, läbiimmutatud atsetooniga ja rõhul kuni 1,86 Mpa. Atsetüleen on värvitu, põlev ja puhtas olekus ilma lõhnata gaas, veidi kergem õhust. Tema leek põleb õhus väga kuuma, heleda ja tahmavana. Segus õhu või hapnikuga võrdsetes osades põleb atsetüleen täielikult ja ei tahma. Võrreldes õhuga põleb atsetüleen segus hapnikuga väga intensiivselt. Suure süsinikusisaldusega (92,3% kaalust) atsetüleen põleb temperatuuril kuni 3200° C. Põlemiskiirus on 13,5 m/s, mis on sobiv tema kasutamiseks metallide keevitamisel ja lõikamisel.

Atsetüleeni plahvatusohtlikkus ja tema lagunemine. Atsetüleen on suure süttimis- ja plahvatusohtlikkusega gaas ja tema segu õhu või hapnikuga on suurtes piirides plahvatusohtlik. Õhuga segunedes on atsetüleen plahvatusohtlik piirides 2...82% ja hapnikuga 2,5...93%. Suure plahvatusohtlikkuse tõttu tuleb jälgida, et mitte kusagil ei lekiks atsetüleeni.

Atsetüleeni kasutus- või hoiukohas peab olema hea ventilatsioon. Kui on tekkinud atsetüleeni lekkimine ükskõik millise kohast või süttib põlema reductor, tuleb ballooni ventiil kohe sulgeda. Selleks peab olema alati ballooni juures tulekindel kinnas. Suure leegi puhul, kui ei õnnestu ventiili sulgeda, tuleb kasutada süsihappegaasi (CO₂) või spetsiaalset kuiva pulbrit.

Atsetüleeni teine ohtlik omadus on tema lagunemine algkomponentideks – süsinikuks ja vesinikuks – temperatuuril üle 350 °C ja üle 2-baarilise rõhu juures, löökidega transpordil ja hoidmisel. Selleks et ära hoida atsetüleeni lagunemist kokkusurutud gaasilises olekus, on ballooni tema hoidmiseks täidetud seest poorse massiga väga väikeste pesadena, mis välistab balloonis tekkiva gaasilise atsetüleeni ohtlikkuse. Porne mass on läbi immutatud atsetooniga, milles lahustatakse atsetüleen.

See vähendab atsetüleeni lagunemist ja hoiab gaasi väikese surve all ning vähendab plahvatusohtliku lagunemisprotsessi tekkimist. Ettevaatamatuse tõttu võib ikkagi tekkida gaasi lagunemine ballooni väärkäsitlemise tulemusel – balloon kas kukkus või sai põrutada, kuumenes üles või pole tema seadmed korras, mille tulemusel leek võib sattuda ballooni sisemusse tagasilöögi tagajärjel. Atsetüleeni lagunemisel tekivad alljärgnevad ilmingud:

- ➔ **ballooni ülemise osa soojenemine, mis näitab lagunemisprotsessi algust**
- ➔ **rõhu tõus balloonis (seda näeb ainult siis, kui reductor on kinnitatud balloonile)**
- ➔ **kui peale tagasilööki gaas, mis tuleb reductorist, sisaldab tahma ja on erilise lõhnaga.**

Eeltoodud ilmingute korral tuleb kiiresti sulgeda ballooni ventiil, eemaldada kõik seadmed balloonilt ja asuda ohtu kõrvaldama. Balloon hakkab ülemisest otsast soojenema ja kui kannatab (umbes 50 °C) veel kätt peal hoida, tuleb balloon viia ohutusse kohta, teda külma veega kogu aeg pealt jahutades. Jahutamine peab algama mitte hiljem kui 5 minutit peale lagunemise algust ja jätkuma seni, kuni balloon on külm (enam ei aura).

Kui lagunemine on jõudnud sellisesse punkti, kus käega ei saa ballooni puutuda (üle 50 °C), on plahvatuse oht vältimatu ja ballooni ei tohi ümber paigutada. Sel juhul tuleb ballooni hakata jahutama ohutust kohast suure hulga külma veega, üleliigsed inimesed aga saata ohtlikust kohast eemale. Kui balloon enam ei aura temale vett peale juhtides, võib selle viia ohutusse kohta, katkestamata veega jahutamist.

Hoiatus: kui on alanud atsetüleeni lagunemise reaktsioon, peab atsetüleeniballooni ventiil olema kogu aeg kindlalt suletud! Mitte mingil juhul ei tohi ventiili avada.

Eksimused: isegi kogunud töötajad on avanud atsetüleeni ballooniventili täielikult, uskudes, et sellises olukorras rõhk balloonis alaneb. Tegelikult toimub kõik vastupidi. Atsetüleen, mis aurustub atsetoonist, liigub lagunemise tsoonist ventiilini. Lagunemine muutub plahvatuslikuks ja

surve balloonis tõuseb, kuna avatud ventiil ei jõua seda välja viia ja balloon võib plahvatada mõne sekundi jooksul.

Atsetüleen ei ole mürgine, kuid on uinutav gaas. Aastaid tagasi kasutati haiglates puhast atsetüleeni koos hapniku seguga anestesias. Seejuures ei tohi atsetüleeni olla segus liiga palju, kuna siis tekib hapnikupuudus. Atsetüleeni tuleb kasutada ainult hästiventileeritavates ruumides.

Olulised soovitusel: teatud tingimustes võib atsetüleen muutuda plahvatuslikuks koos vase, hõbeda ja elavhõbedaga. Seepärast ei tohi atsetüleen kokku puutuda materjalide, soolade, liidete ja sulamitega, milles on nende materjalide suur kontsentratsioon, välja arvatud messing, milles vaske on alla 65%, ja niklisulamid, mida võib kasutada normaalsetes tingimustes. Pole lubatud kasutada juhuslikke vasest torusid voolikute ühendamiseks.

Hoida ja kasutada tohib atsetüleeniballoone ainult püstises asendis. Kui kasutada neid horisontaalses või kallutatud asendis, siis võib üks osa atsetooni valguda kas reduktorisse või voolikutesse.

Atsetüleeni torustik ja lisaseadmed (tihendid, ventiilkorgid, membraanid) ei tohi lahustuda atsetüleenis ja selle lahustites. Atsetüleenitorustik peab olema terasest. Plahvatuslike ühenduste tekkimise tõttu ei tohi kasutada hõbedast, vasest või üle 65% vaske sisaldavatest metallisulamitest osi.

Atsetüleeni hoidmise ja kasutamise kohtades peab olema hea ventilatsioon ning tagatud hoonetes elektriõhutus, st valgustuse sisse- ja väljalülitamine peab toimuma väljaspool hoiuruumi.

Lahtise tule kasutamine ja suitsetamine on kategooriliselt keelatud balloone hoiukohas, reduktorite ja voolikute ühendamisel ning lahtivõtmisel.

Üle lubatud normi (norm on esitatud kasutusjuhendis) kasutamisel võib atsetüleen külmuda ja balloonisene madal temperatuur piirata gaasi kasutamist.

Lõikamisel peab leegi temperatuur olema metalli sulamistemperatuurist ligikaudu kaks korda kõrgem, seetõttu tuleb gaase, mille leegi temperatuur on madalam kui C₂H₂-l, kasutada nende metallide lõikamisel, mille sulamistemperatuur on madalam kui terastel. Hapniklõikamisel kasutatakse põlevgaase, mis hapnikuga segatult annavad vähemalt 2000° C leegi.

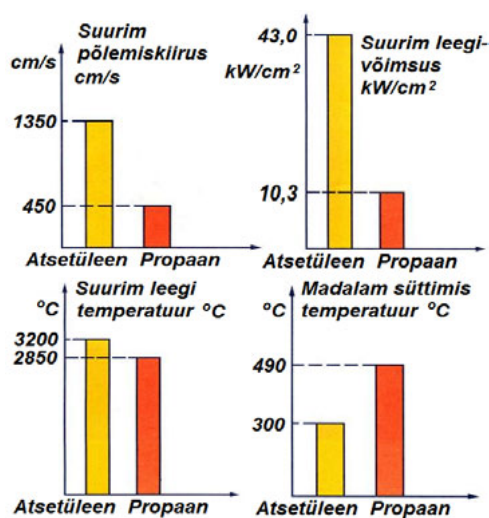
Põlevgaaside kasutamine sõltub nende kütteväärtusest. Gaasi kütteväärtuseks nimetatakse soojushulka džaulides (kilokalorites), mis saadakse ühe (1) m³ gaasi täielikul põlemisel. Erine-

vate põlevgaaside ühesuuruste koguste täielikuks põlemiseks on vaja erinev kogus hapnikku, millest sõltub leegi efektiivvõimsus. Oluline on tagada lõikamisel vajalik soojushulk, mis viiakse kuumutatavasse metalli ühe ajaühiku jooksul.

Põlevgaasid ja nende omadused. Atsetüleenil baasil olev põlevgaas võimaldab saada:

- a) suurimat põlemiskiirust
- b) suurimat leegi võimsust.

Allolev joonis 3.38 selgitab atsetüleenil ja propaanil parameetrite ja leegi vahelisi seoseid.



Joonis 3.38 Põlevgaaside parameetrite seosed

AGA atsetüleeniballooni puhul peab teadma, kui palju sealt on võimalik atsetüleenil kätte saada. Juuresolev tabel selgitab, mitu liitrit atsetüleenil tunnis saab kätte erineva suurusega balloonidest. Kui atsetüleenil võetakse välja liiga palju, tuleb koos sellega välja ka atsetoon ja tekib nn **sülitamisefekt**. Kui balloone on pakendis, siis tuleb avada kõikide balloone ventiilid.

Tabel 3.4 Maksimaalsed eri suurusega atsetüleeniballoonidest saadavad gaasikogused

Balloonid (Maht liitrites)	Suurim atsetüleenikogus l/h (liitrit tunnis)	
	Tavalise toatemperatuuri juures	Alla 0° C
A - 5	350	250
A - 20...21	650	500
A - 40...41	1300	800
A - 50	1600	1000

NB! Tegelikku gaasi kogust balloonis saab mõõta ainult kaalumise teel!

Teised põlevgaasid. Vesinik (H_2) on universumi kergeim ja levinuim element. Tegemist on värvitu ja lõhnatu põlevgaasiga, mida leidub Maal enamasti hapnikuga seotuna vee kujul. Umbes 93% kõigist universumi aatomitest on vesinikuaatomid. Vesinikku kasutatakse peamiselt keemiatööstuses ja metallurgias.

Vesinik on üks kergemaid gaase ja õhust 14,5 korda kergem. Teatud vahekordades õhu ja hapnikuga moodustab vesinik plahvatusohtlikke segusid. Lõiketöodel tuleb rangelt täita ohutusnõudeid. Vesiniku ja hapniku segu põleb sinise leegiga, kus puuduvad selgelt eristatavad põlemistsoonid ja leeki on raske reguleerida.

Propaani ja butaani segud koosnevad põhiliselt propaanist (C_3H_8) ja butaanist (C_4H_{10}) ning normaaltingimustes on tegemist kergesti süttiva värvitu ja lõhnatu gaasiga. Ohutuma kasutamise eesmärgil lisatakse gaasisegule tugevalt lõhnavat ainet (kuni 0,005 massiprotsenti). Gaasisegu on õhust raskem ja moodustab juba väikeses koguses koos teda ümbritseva õhuga süttiva segu.

Hoiatus!! Kui gaas pääseb kontrollimatult balloonist välja, võib ta süttida ja plahvatada. Plahvatusohtlikkuse piirid nii õhu kui hapnikuga on 1,5...9%.

Temperatuuri langemisel ning rõhu tõusmisel gaasisegu veeldub. Segul on suur ruumpaisumise tegur – propaanil 16 korda, butaanil 11 korda suurem kui veel. Balloone ei täideta rohkem kui 85% mahust – sellest rohkem on väga ohtlik. Segu kütteväärtus on suur. Eriti suur on kütteväärtus, kui segu on butaanirikkam. Propaani ja butaani vahekord segus oleneb aastaajast – külmal ajal on ülekaalus propaan, soojal ajal aga butaan.

Kasutatakse laialdaselt teraste lõikamisel, kergsulavate värviliste metallide keevitamisel ja jootmisel, karastamisel, plastide gaaskeevitamisel. Propaani ja butaani segu on vedelas olekus ning toimetatakse töökohale terasballoonides rõhu all 1,6 Mpa. Ballooni temperatuur ei tohi tõusta üle +40 °C. Kõrgematel temperatuuridel, eriti tulekahju puhul, on olemas kontrollimatu gaasi väljavoolu ja ballooni lõhkemise oht. Ühe kilogrammi segu aurustumisel moodustub 500 dm³ gaasi.

Töövahendite paigaldamine ja järelevalve. Statsionaarseid paigaldustöid võib läbi viia ainult spetsialiseeritud organisatsioon, kes annab tehtud töö kohta kirjaliku sertifikaadi. Voolikuühendusi võib teha lõikaja ise, kasutades selleks voolikuklambreid. Süsteemi tuleb pidevalt jälgida, kontrollida (visuaalne kontroll jne) ja kulunud osad ning pragunenud voolikud välja vahetada.

Ballooni peab kasutama alati püstises asendis, ventiil ülespoole, et gaas väljuks balloonest gaasilisena, mitte vedelikuna.

NB! Hoiatus! Horisontaalses asendis olevast balloonest võib gaas väljuda vedelal kujul. Vedelgaas moodustab aurustudes mahult ligi 250-korda suurema gaasipilve, millega kaasneb väga suur plahvatusoht.

Gaasi kasutamise katkestamisel pikemaks ajaks tuleb sulgeda esmalt ballooni ventiil ja seejärel gaasiseadme ventiil. Jätkates gaasi kasutamist, ava kõigepealt ballooni ventiil ja seejärel gaasiseadme ventiil. Gaasiballooni hoiuruumi ventilatsiooniavasid ei tohi sulgeda.

Hapnik. Lõikamisel kuumutatakse metalli kõrge temperatuuriga gaasileegi abil, mis saadakse põlevgaasi või -vedelikuaurude põletamisel tehniliselt puhtas hapnikus.

Hapnik on maakeral laialt levinud element ning sisaldub mitmesugustes keemilistes ühendites: mullas kuni 50% kogumassist, vees vesinikuga ühinenult umbes 86% kogumassist ning atmosfääriõhus 20,95%. Õhus on peale hapniku lämmastikku 78.08%, inertgaase 0,94% ning ülejäänud osa moodustavad süsihappegaas, vesinik ja teised gaasid.

Normaalingimustes (temperatuur 20 °C, rõhk 101,3 kPa ehk 760 mm Hg) on hapnik värvilt helesinine, lõhnatu, õhust veidi raskem ja mittepõlev, kuid põlemist aktiivselt soodustav gaas, keeb –183 °C juures (1 m³ O₂ kaalub 1,34 kg). Puhtas hapnikus toimub põlemine hulga kiiremini kui õhus ja mida suurem on rõhk, seda kiiremini. Need materjalid, mis tavaolukorras ei põle või põlevad raskelt, süttivad puhtas hapnikus juba suure leegiga. Seda hapniku omadust kasutatakse metallide lõikamisel.

Surve all olev hapnik põhjustab plahvatuslikku põlemist kokkupuutel hariliku õli, määrete või teiste orgaaniliste ainetega. Sel eesmärgil ei tohi gaaslöikepingi operaator mingil juhul kasutada tööriideid või seadmeid, millel on õli või määreid. Erilist tähelepanu tuleb pöörata sellele, et hapnikuballoon ise ei puutuks kokku nende ainetega.

Hapniku lekkimine õhku suurendab põlevate materjalide, muuhulgas juuste ja riiete süttimist. See võib juhtuda õige väikese hapnikukontsentratsiooni puhul õhus, mis võib viia tõsiste põletuste või muude kahjustusteni. Seadmed, mida kasutatakse hapnikuga töötamisel, ei tohi olla tolmused ega metallipulbriga koos, muidu võivad need süttida.

Mida suurem on hapnikusisaldus põlemisõhus, seda intensiivsem on põlemine. Kui hapnikusisaldus õhus tõuseb 24%-ni, siis põlemiskiirus suureneb kaks korda, 40% juures juba kümme

korda. Tavaõhus mittepõlevad materjalid võivad süttida ja põleda puhtas hapnikus või hapnikuga rikastatud õhus. Vedela hapniku aurustumisel tekkinud gaas on eriti külm ja õhust raskem, see võib koguneda suurtes hulkades kanalisatsiooni ja keldritesse, suurendades seal hapnikukogust.

Vedel hapnik või külma hapniku aurud võivad tekitada nahale põletushaavadega sarnaseid traumasid. Palja nahaga isoleerimata seadmeosi puudutades võib nahk metalli külge kinni jääda, rebenedes lahtitõmbamisel. Vigastatud kohta ei tohi hõõruda, vaid tuleb loputada vaid leige veega ning pöörduda arsti poole.

Hapnik on väga aktiivne gaas, andes ühendeid kõikide keemiliste elementidega peale inertgaaside (argoon, neon, heelium, ksenoon ja krüpton). Hapniku ühinemisel teiste elementidega eraldub suur kogus soojust, st reaktsioonid on eksotermilised.

Territooriumil ja ruumides, kus kasutatakse hapnikku, on suitsetamine ja lahtise tule tegemine keelatud. Tuleks vältida viibimist territooriumil, kus hapnikusisaldus võib olla suurenenud. Pärast viibimist suurenenud hapnikusisaldusega territooriumil tuleb riided hoolikalt tuulutada. Tööriistad ja riided peavad olema puhtad õlist ja rasvainetest. Seadmed, kus kasutatakse hapnikku, ei tohi olla rasvased ega õlised. Vedela hapniku käsitlemisel tuleb kasutada selleks ette nähtud kaitsevahendeid nagu kindad, silmakaitсед, erijalatsid ja kaitseriietus.

Tähelepanu: RÕHU ALL OLEVA GAASILISE HAPNIKU KOKKUPUUTUMISEL RASVADE, ÕLIDE VÕI TAHKEKÜTUSE TOLMUGA NAD SÜTTIVAD, MIS VÕIB PÕHJUSTADA PLAHVATUSE VÕI TULEKAHJU.

Õnnetusjuhtumite ärahoidmiseks tuleb hapnikuaparatuuri hoolikalt puhastada rasvainetest. Hapniku segunemisel põlevgaaside või vedelikuaurudega tekivad teatud vahekordade puhul plahvatusohtlikud segud, mis võivad süttida lahtisest tulest või sädemest. Selle vältimiseks on kasutusel uued hapnikusegud, milles on 12 miljondikku mahuosa lõhnaainet. Antud hapnik on kasutusel „ODOREXi“ nimetuse all, vältimaks lahtiunustatud kraanist või purunenud liitest hapniku kogunemist ruumi, mille tagajärjel võib tekkida plahvatusoht.

Õhust toodetakse hapnikku erilistes seadmetes, kus õhk filtri läbimisel kõigepealt vabaneb kahjulikest lisanditest, tolmust, süsihappegaasist ning niiskusest. Seejärel surutakse töödeldav õhk kompressori abil kokku kuni rõhuni 19,6 MPa (200 kg/cm²) ning jahutatakse soojusvahetites kuni veeldumiseni.

Vedela õhu lagundamine hapnikuks ja lämmastikuks põhineb nende erinevatel keemistemperatuuridel: normaalarõhul keeb vedel lämmastik temperatuuril $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$, vedel hapnik $-182,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ juures. Seega aurub vedelast õhust kõigepealt lämmastik kui madalama keemistemperatuuriga aine ning vastavalt lämmastiku aurustumisele küllastub vedelik järjest rohkem hapnikuga.

Hapnikku väljastatakse puhtusega 99,5% ja 99,7%. Väga suurt tähtsust omab hapniku puhtus hapniklõikamisel. Mida vähem sisaldab ta gaasilisi lisandeid, seda suurem on lõikekiirus, puhtamad lõikeservad ja väiksem hapnikukulu.

Lõikekohale toimetatakse hapnik balloonides rõhul 15 või 20 MPa või vedelas olekus, kus normaalarõhul ja temperatuuril $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ saadakse 1 dm^3 vedelast hapnikust 850 dm^3 gaasilist hapnikku. Peale selle väheneb siis taara mass 10 korda. Hapnikku tohib kasutada vaid seadmetel, mis on selleks otstarbeks valmistatud. Tulekahju korral vähendab hapnikuventiili kiire kinnikeeramine põlemise intensiivsust. Võimaluse korral tuleb teisaldada balloon ohutusse kohta. Ballooni kuumenemise vältimine vähendab plahvatuse ohtu.

Ohud hapnikupuudulikkusest õhus. Normaalne hapnikusisaldus õhus on 21%. Hapnikusisalduse langemine õhus võib tekkida tema ärapõlemisega või väljatõrjumisega kasutatavate kaitsegaaside poolt, sest need on õhust raskemad. Sellised olukorrad on väga ohtlikud. Üldised näidustused, mis tekivad hapnikupuudulikkusest, on toodud Tabel 3.5 Hapnikupuudulikkusest tekkivad tüüpilised nähud.

Tabel 3.5 Hapnikupuudulikkusest tekkivad tüüpilised nähud

Hapniku sisaldus õhus	Tagajärjed ja esinevad sümptomid (atmosfääri normaalse rõhu juures)
15...19%	Töövõime langus. Võivad tekkida koordinatsioonihäired. Esimesed sümptomid võivad tekkida inimestel, kellel on verevarustuse ning kopsude töö häired.
12...14%	Hingamine on raskendatud, pulss nõrk, esinevad koordinatsioonihäired ja välisärritustele vastuvõtlikkus praktiliselt puudub.
10...12%	Hingamine on veelgi raskem, mõistus kaob, huuled muutuvad siniseks.
8...10%	Väheneb mõtlemisgegevus, tekib minestus, mälukaotus, nägu on surnuvalge, huuled sinised, ajab oksele.
6...8%	Ei reageeri ümbritsevatele.
4...6%	40 sekundi pärast – kooma, krambid, hingamise lakkamine ja surm.

Tähelepanu: viibides atmosfääriõhus, mille hapnikusisaldus on 12% või vähem, võib mälu-kaotus saabuda ootamatult ja nii kiiresti, et inimesel ei jätku aega oma olukorras midagi ette võtta. Kannatanu tuleb kiiresti viia värske õhu kätte ja anda talle hingata hapnikku või teha kunstlikku hingamist. Viivitamatult tuleb kutsuda kiirabi, kes annab hapnikku juba meditsiinilise personali jälgimisel.

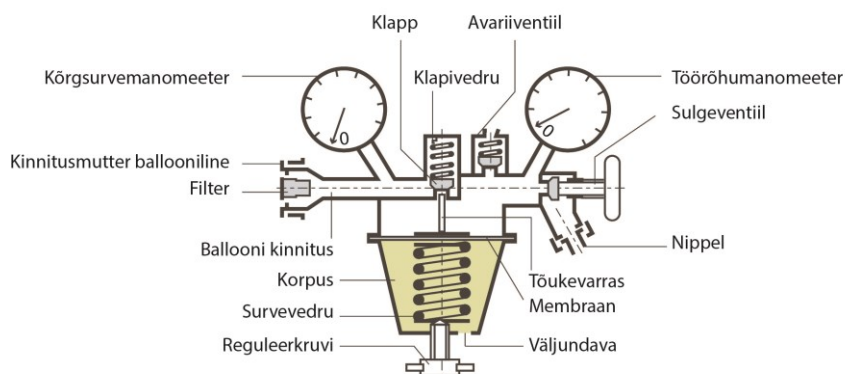
Tabel 3.6 Kasutatavate gaaside oleku omadused

Gaas	Atsetüleen	Hapnik	Süsihappegaas	Propaan
	C ₂ H ₂	O ₂	CO ₂	C ₃ H ₈
Gaasi olek	lahustatud poorses massis olevasse atsetooni	gaas	vedelik	Vedelik
Rõhk toatemperatuuril	20	200	50	5
Täispudeli plahvatusohtlikkus temperatuuril (°C)	65	350	100	100
Ülerõhukaitse	ei ole	ei ole	kaitseplaat	Kaitseventiil
Kaal võrreldes õhuga	veidi kergem	veidi raskem	oluliselt raskem	oluliselt veel raskem

Surugaasireduktorid. Metallide gaaslõikamisel peab gaasi töö rõhk olema madalam kui balloonis või gaasitorustikus olev rõhk. Gaasi rõhku alandatakse reductoritega. Reduktoriks nimetatakse seadet, mis vähendab balloonist võetava gaasi rõhku kuni töö rõhuni ning automaatselt hoiab selle püsivana, sõltumata gaasi rõhu muutusest balloonis või gaasitorustikus.

Reduktorid erinevad üksteisest värvi ning ballooni külge kinnitamise viisi poolest. Välja arvatud atsetüleenireduktorid, mis kinnitatakse survemutriga, mille keere vastab ventiili keermele. Atsetüleenireduktorid kinnitatakse balloonidele survepoldi ja klambriga, ent AGA balloonil sissekeeratava survemutriga.

Vastutoimega reductor töötab järgmiselt (Joonis 3.39): rõhu all olev gaas voolab balloonest kõrgrõhukambrisse ja takistab klapi avanemist. Gaasi andmiseks madalrõhukambrisse tuleb kaanes olevat reguleerimiskruvi pöörata päripäeva.



Joonis 3.39 Redukti ehitus

Kruvi surub survevedru kokku, mis omakorda lükkab ülespoole painduvat membraani. Seejuures tõstab membraanil olev ketas varda abil üles klapi, surudes kokku tagasilükkevedru, ning gaas pääseb madalrõhukambrisse. Klapi avanemist takistab peale kõrgrõhukambris oleva gaasi rõhu veel ka tagasilükkevedru, mis on survevedrust hulga nõrgem.

Ettenähtud töörõhku hoitakse järgmiselt: gaasi tarbimisel väheneb rõhk madalrõhukambris, survevedru pikeneb ja membraan liigub ülespoole, ketas tõukab vardaga klappi, avades selle, ja gaas voolab madalrõhukambrisse. Kui gaasi rohkem ei tarbita, siis rõhk madalrõhukambris tasakaalustab vedru surve, mis surutakse koomale, ja membraan paindub allapoole, ketas vardaga laskub allapoole ning vedru toimele istub klapp pesale, vähendades gaasi voolu madalrõhukambrisse kuni gaasi voolu lakkamiseni, st rõhud tasakaalustuvad. Tarbimise alustamisel protsess kordub.

Rõhku kõrg- ja madalrõhukambris mõõdetakse manomeetritega. Kui madalrõhukambris tõuseb rõhk liiga kõrgeks, st lubatust suuremaks, siis hakkab tööle kaitseklapp ja gaas väljub läbi kaitseklapi atmosfääri.

Hapnikureduktor on ette nähtud hapnikuballoonidele, **atsetüleenireduktor** atsetüleeniballoonidele, **propanireduktor** aga propaani-butaaniballoonidele, st reductorit ei või panna teistele balloonidele, kuhu nad ei ole ette nähtud. Madalama kõrgrõhuga reductorit ei tohi paigaldada

kõrgema kõrgrõhuga balloonile. Näiteks 15 MPa-ga reductorit ei tohi panna balloonile, kus rõhk on 20 MPa, vastupidi aga küll.

Ekspluatatsioonieeskirjad kohustavad: enne paigaldamist kontrollida ballooni ühendusotsikute puhtust (läbi puhuda, selleks avada korraks ballooni ventiil), kontrollida tihendi seisukorda, katkine välja vahetada, ühendused kindlalt pingutada; avariiventil peab olema suunatud ülespoole. Kui reductor on paigaldatud, avada ballooni ventiil aeglaselt ja reguleerida töö rõhku. Kontrollida kõikide ühenduskohtade tihedust.

Selleks suletakse põleti ventiil ja keeratakse reguleerimiskruvi välja. Töö rõhuanomeetri osuti peab jääma paigale (rõhk ei tohi tõusta, veel vähem langeda, mis näitab, et kõrgrõhu ja madalrõhu kambrit eraldav klapp on ebatihed). Teine võimalus – sulgeda ballooni ventiil ja jälgida kõrgrõhuanomeetrit. Kui kusagil on ebatihedus, hakkab kõrgrõhuanomeetri osuti kohe langema ja tuleb üles leida ebatihedad kohad. Rõhu püsimisel on kõik korras.

Lühiajaliste töökatkestuste puhul suletakse ainult sulgeventiil ega muudeta reguleerimiskruvi asendit. Töö lõpetamisel tuleb aga sulgeda ballooni ventiilid, vabastada voolikud rõhu ja reguleerimisvedru surve alt ning lõpuks sulgeda põleti ventiilid.

Gaasi rõhu reguleerimisel ei tohi manomeetrite osutid minna üle ettenähtud ülempiirist (põhiliselt 2/3 mõõteulatusest), mis on iga manomeetri tüübi kohta erinev ja on manomeetritel fikseeritud. Igasuguse rikke korral suletakse kiiresti ballooni ventiil, lastakse reductorist gaas välja ja kõrvaldatakse rike, kui see osutub võimalikuks.

Reduktorite eksploateerimisel võivad tekkida järgmised rikked: süttimine, külmumine või gaasileke.

Süttida võib reductor ballooni ventiili järsul avamisel. Süttimisel põleb kõigepealt ära klapi eboniitihend, seejärel põlevad ära ülejäänud detailid. Reduktori süttimisel tuleb viivitamatult sulgeda ballooni ventiil. Et vältida reductorit süttimist, tuleb ballooni ventiil alati avada pikka mööda ning jälgida, et reductorit pinnal ei oleks tolmu ega õli.

Suure tarbimise korral võib balloonis olev niiskus muutuda jääks ja ummistada kõrgrõhukambri väljavooluavad, põletisse voolav gaasihulk väheneb või katkeb hoopis. Eriti kiirelt toimub külmumine, kui õhutemperatuur on 0 °C ümber. Külmunud reductor sulatatakse lahti puhta kuuma vee või auruga, lahtise tule kasutamine reductorit soojendamiseks on rangelt keelatud.

Redukti ekspluaterimisel võib hakata gaas lekkima. Klapi ebatiheda sulgumise tõttu voolab gaas madalrõhukambrisse, mistõttu kambris ja voolikutel tõuseb rõhk ning mittekorras kaitseklapi korral võivad membraan või voolikud puruneda. Põhjuseks võib olla kõrvaliste osakeste (tagi, laastud, puru jne) sattumine klapi alla, klapi ebatasane pind, klapi vedru murdumine või järeleandmine, klapi sööbimine juhtsoontesse, klapi pinna kaardumine.

Gaasilekke vältimiseks tuleb reductoreid hoolega käsitseda ning jälgida, et reductoris ei satuks tolmu ega mustust. Eriti ohtlik on põlevgaaside leke, sest õhuga segunemisel moodustub plahvatusohtlik segu.

Ebatiheduste avastamiseks tuleb katta kõik ühenduskohad, balloonest põletini, seebiveega – lekkekohtadesse ilmuvad siis seebimullid, näidates ära, kus on lekkekohad.

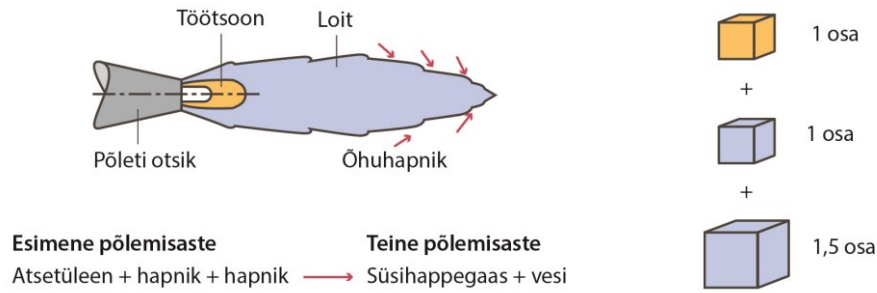
Manomeetrid on ette nähtud gaasi ülerõhu mõõtmiseks. Kasutatakse peamiselt vedrumanomeetreid, mis kujutavad endast ühest otsast kinni joodetud kõverat toru, kuhu lastakse gaas, mis püüab toru sirgendada seda rohkem, mida suurem on balloonis rõhk. Kinnijoodetud toru ots on ühendatud osutiga, mis näitab, kui palju liigub toru ots ehk kui suur on rõhk balloonis. Seda saab lugeda monomeetri skaalalt. Iga manomeeter on ette nähtud teatud rõhu mõõtmiseks kuni 2/3 skaala mõõtepiirkonnast või on seal tähis (punane kriips). Töö käigus seda ületada ei tohi.

Kasutatavad manomeetrid peavad olema korras, kontrollitud ehk taadeldud, omama vastavat templi või plommi. Tihendina kasutatakse pliidi, fiibrit või nahka.

Lõikeleegi liigid. Lõikeleek moodustub põlevgaasi põlemisel hapnikus. Leegi ülesanne on kuumutada ja sulatada lõikekohas lisa- ja põhimetalli. Kõige rohkem kasutatakse gaaslõikamisel hapniku-atsetüleenileeki kõrge temperatuuri (3200 °C) ja kuumuse kontsentreerituse tõttu. Põlevgaasina kasutatakse veel propaan-butaani, vesinikku ja looduslikku gaasi.

Põlevsegu koostisest, so hapniku ja põlevgaasi suhtest, sõltub keevitusleegi kuju, temperatuur ja toime sulametallile. Põlevsegu koostise muutmisega saab muuta lõikeleegi põhiparameetreid.

Normaalse leegi saamiseks peab hapniku ja põlevgaasi suhe olema C₂H₂ puhul 1,1...1,3, maagaasiga 1,5...1,6 ja propaan-butaani puhul 3,5. Põlevgaasid, mis sisaldavad süsivesinikke, annavad keevitusleegi, millel on kolm selgesti eristatavat osa: tuum, taandav tsoon ja loit (joonis 3.40). Need kolm selgesti eristatavat tsooni vesinikuleegil puuduvad ja leeki on välisilme tõttu raske reguleerida.



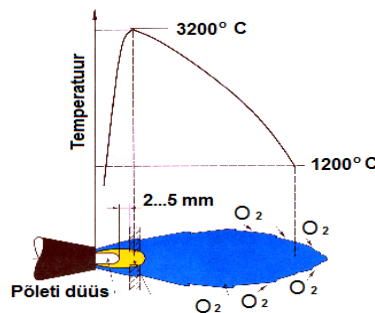
Joonis 3.40 Gaasileek põletist

Põleti düüsidest välja voolava gaasijoa süütamisel nihkub leek edasi joa liikumise suunale, kusjuures gaasisegu voolamiskiirus peab olema veidi suurem gaasi põlemise kiirusest. Liiga suure kiiruse puhul puhutakse leek ära (jäik leek), väiksema kiiruse puhul (pehme leek) võib leek lõpuks tungida põleti sisemusse gaasikoguste reguleerimisel.

Atsetüleeni põlemisel hapnikus võib tinglikult eristada kahte staadiumi. Kõigepealt laguneb C_2H_2 soojuse toimel süsinikuks ja vesinikuks: $C_2H_2 \rightarrow 2C + H_2$, seejärel toimub atsetüleeni põlemise esimene staadium, kus kasutatakse segus olevat hapnikku: $2C + H_2 + O_2 = 2CO + H_2$.

Põlemise teine staadium toimub õhuhapniku arvel: $2CO + H_2 + 1,5O_2 = 2CO_2 + H_2O$. Olenevalt hapniku ja atsetüleeni omavahelisest suhtest saadakse kolm peamist keevitusleegi liiki: **normaalne, oksüdeeriv ja taandav leek.**

Normaalne ehk neutraalne leek saadakse 1...1 vahekorras, kuid praktikas antakse hapnikku veidi rohkem, 1,1...1,3 atsetüleeni mahust. Normaalleeki iseloomustab vaba hapniku ja süsiniku puudumine taandavas tsoonis. Hapnikku antakse põletisse veidi rohkem seetõttu, et ta pole päris puhas, samuti kulub väike osa hapnikku vesiniku põlemiseks. Normaalleegis on kõik kolm tsooni hästi selgesti nähtavad.



Joonis 3.41 Põletileegi temperatuurid

Tuumal on teravalt piiritletud, peaaegu silindriline, otsast ümarduv kuju, ta pind helendub tugevalt. Tuuma väliskiht koosneb hõõgivatest süsinikuosakestest, mis seal põlevad. Tuuma suurus oleneb küttesegu koostisest, hulgast ja väljavoolukiirusest. Leegi tuuma läbimõõt võrdub põletidüüsi kanali läbimõõduga, pikkus aga gaasisegu väljavoolukiirusega (Joonis 3.41).

Leek ei tohi olla liiga nõrk (pehme) ega jäik. Nõrgal leegil on kaldumus tagasilöökideks, jäik leek aga puhub sulametalli välja.

Taandav (keskmise) tsoon järgneb tuumale ja eristub sellest selgesti tumedama värvuse tõttu. Ta pikkus oleneb düüsi numbrist. Tsoon koosneb atsetüleenini mittetäieliku põlemise produktidest — süsinikoksiidist ja vesinikust. Oma nimetuse on taandav tsoon saanud sellest, et süsinikoksiid ja vesinik desoksüdeerivad (taandavad) sulametalli, võttes selle oksiididest ära hapnikku. Taandavas tsoonis (Joonis 3.41) on temperatuur kõige kõrgem (3200 °C) punktis, mis asub tuuma otsast 2...5 mm kaugusel olenevalt düüsi suurusest ja gaasi väljavoolu kiirusest.

Täieliku põlemise tsoon (loit) järgneb taandavale tsoonile. Ta koosneb süsihappegaasist, veeaurust ja lämmastikust, mis tekivad leegi taandavas tsoonis süsinikoksiidi ja vesiniku ärapõlemise tõttu õhuhapnikus. Tsooni temperatuur (Joonis 3.41) on piirides 1200...2500 °C. Tegelikult kulub ühe osa atsetüleenini põletamiseks 2,5 osa hapnikku, st üks osa tuleb balloonest ja 1,5 osa võetakse õhust.

Oksüdeeriv leek tekib hapniku suure ülehulga puhul siis, kui põletisse antava hapniku maht on atsetüleenini mahust rohkem kui 1,3 korda suurem. Tuum muutub koonusekujuliseks ja kahvatuks., lüheneb tunduvalt ja tema piirjooned ähmastuvad. Samuti lühenevad leegi ülejäanud tsoonid. Leek omandab sinakaslilla värvuse. Leek põleb mühinal, valjus sõltub hapniku rõhust. Oksüdeeriva leegi temperatuur on kõrgem kui normaalleegil.

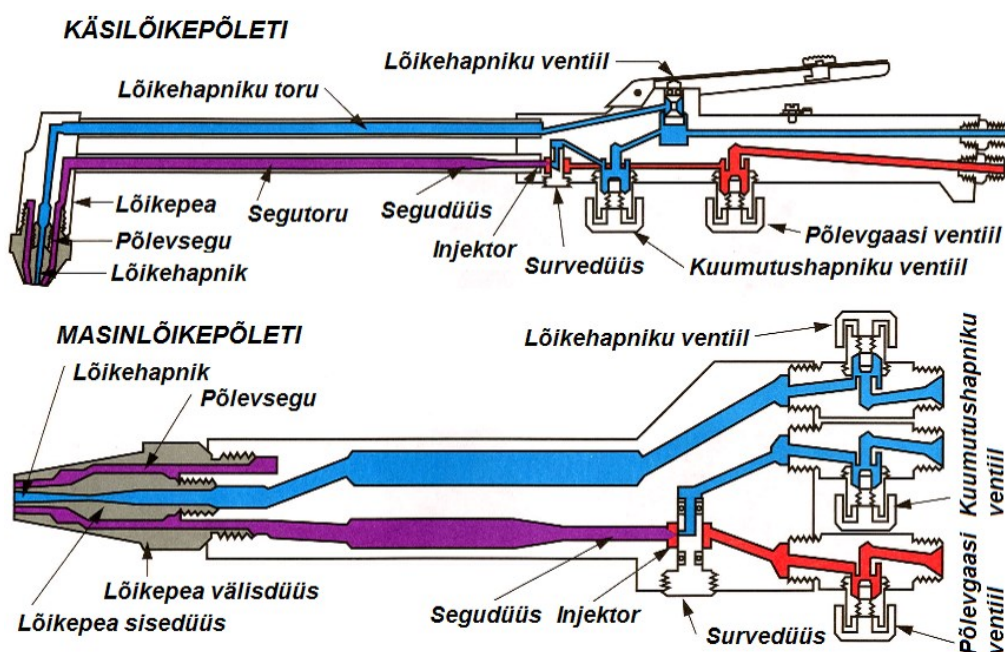
Taandav ehk tsementeeriv leek tekib atsetüleenini ülehulga puhul siis, kui põletisse antava atsetüleenini ühe mahuühiku kohta tuleb vähem kui 0,95 mahuühikut hapnikku. Tuuma piirjooned kaotavad sellise leegi puhul oma selguse, tuuma otsale tekib aga roheline kroon, mille järgi otsustatakse atsetüleenini ülehulga üle. Taandav tsoon on tunduvalt heledam ja sulab tuumaga peaaegu ühte, loit aga on muutunud kollakaks. Suurendades veelgi atsetüleenini ülehulka, hakkab leek tasapisi suitsema, sest atsetüleenini täielikuks põlemiseks ei jätku enam hapnikku. Leegis olev liigne süsinik neeldub kergesti sulametalis. Taandava leegi temperatuur on madalam kui normaalsel ja oksüdeerival leegil. Atsetüleenikoguse vähendamisel kuni tuuma otsal oleva rohelise krooni täieliku kadumiseni muutub leek normaalseks, veel vähendades aga oksüdeerivaks.

3.2.3 Lõikepõleti ja metallide lõikamise olemus

Lõikepõletite ehitus nii käsilõikamiseks kui masinlõikamiseks on oma olemuselt samasugused (Joonis 3.42). Metallide hapniklõikamine põhineb metallide omadusel põleda tehniliselt puhtas hapnikus, kusjuures hapnikujuga eemaldab ka põlemisjäägid.

Lõikamisel kuumutatakse kõigepealt metall lõikepõletiga temperatuurini, mille juures metall hapnikujoas süttib. Metallil põlemisel eraldub soojus, mis moodustuva räbu kaudu kandub alustele kihtidele. Metall põleb kogu lõigatava lehe paksuse ulatuses ning selle tulemusena moodustub kitsas pilu. Lõikamisel tekkiv räbu ja oksiidid eemaldatakse hapnikujoaga.

Eristatakse pinnalõikamist (lõigatakse maha metalli pealiskiht), tükelduslõikamist (metall lõigatakse tükkideks) ning piikhapniklõikamist (metalli põletatakse sügav auk).



Joonis 3.402 Käsi- ja masinlõikepõletite ehitus

Kuumutusviisi järgi liigitatakse veel hapnik-, plasmahapnik-, kaarhapnik-, rübustihapnik- jne lõikamist. Hapnikuga saab lõigata ainult neid metalle ja sulameid, mis täidavad järgmisi põhitin- gimusi:

1. Metallide hapnikus süttimise temperatuur peab olema madalam tema sulamistempera- tuurist. Kõige paremini vastavad sellele nõudele süsinikuvaesed terased, mille hapnikus süttimise temperatuur on umbes 1300 °C, sulamistemperatuur aga 1500 °C. Terase süsinikusisalduse

suurenemisel hapnikus süttimise temperatuur tõuseb, kuid sulamistemperatuur alaneb. Seega terase lõigatavus süsinikusisalduse kasvuga halveneb.

2. Lõikamisel tekkivate metallioksiidide sulamistemperatuur peab olema madalam metalli enda sulamistemperatuurist, vastasel juhul hapnikujuga ei eemalda rasksulavaid okside nagu alumiinium ja suure kroomisisaldusega terased, mis võivad häirida lõikamise normaalset kulgu.

3. Metallide põlemisel hapnikus peab eralduma selline kogus soojust, mis hoiab lõikeprotsessi pideva. Terasel lõikamisel eraldub umbes 70% soojusest metalli enda põlemisest hapnikus ja ainult 30% üldisest soojushulgast saadakse lõikepõleti kuumutusleegist.

4. Lõikamisel tekkiv räbu peab olema vedelvoolav ja lõikest kergesti väljapuhutav.

5. Metallide ja sulamite soojusjuhtivus ei tohi olla ülemäära suur, sest vastasel korral hakkab kuumutusleegi ning kuuma räbuga antav soojus lõikekohast kiiresti hajuma, mille tagajärjel lõikeprotsess muutub ebastabiilseks ja võib iga hetk katkeda.

Terasel lõikamisel põleb raud hapnikus järgmise reaktsiooni kohaselt: $\text{Fe} + 0,5\text{O}_2 \rightarrow \text{FeO} + 270,1 \text{ KJ/kg}$; $2\text{Fe} + 1,5\text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 + 831,1 \text{ KJ/kg}$; $3\text{Fe} + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 + 1117,5 \text{ KJ/kg}$. Seega kulub ühe kilogrammi raua põlemiseks 0,38 kg ehk 0,27 m³ hapnikku, 1 cm³ raua kohta 2,1 liitrit hapnikku. Tegelikult kulub seda rohkem, sest 30...50% lõikejoa hapnikust kulutatakse räbu eemaldamiseks lõikekohast. 1 kilogrammi raua maht on 127,4 cm³.

Gaasilõikamise alustamisel kuumutatakse metalli esmalt ainult kuumutusleegiga eespool lõikehapnikujuga. Seejärel ja edaspidi kuumutatakse lõigatavat metalli tema süttimistemperatuurini millega tagades lõikamisprotsessi pidevus. Kuumutusleegi võimsus sõltub lõigatava metalli või sulami paksusest ja keemilisest koostisest.

Mida õhem on lõigatav metall, seda suurem tähtsus on kuumutusleegil. Kuni 5 mm paksuse terasel lõikamisel annab kuumutusleek 80% kogu soojushulgast. Detaili paksuse suurenemisel väheneb kuumutusleegi osa soojuse üleandmisel. 25 mm paksune teras saab kuumutusleegist 29% ja ülejäänud soojuse raua põlemise arvelt. Leegi suurim temperatuur on 2...4 mm kaugusel tuuma otsast ja seega peab tuuma ots lõikamisel olema metalli pinnast sama kaugel. Leek on reguleeritud veidi suuremale hapniku ülehulgale, sest nõrgalt oksüdeeriv leek kuumutab intensiivsemalt ning parandab lõikekvaliteeti.

Metalli põletab ja põlemisproduktid eemaldab lõikest hapnikujuga. Düüsi läbiva hapniku kogus oneline düüsi ehitusest, hapniku rõhust ja joa väljavoolukiirusest, mis nõuab kindlat hapniku-

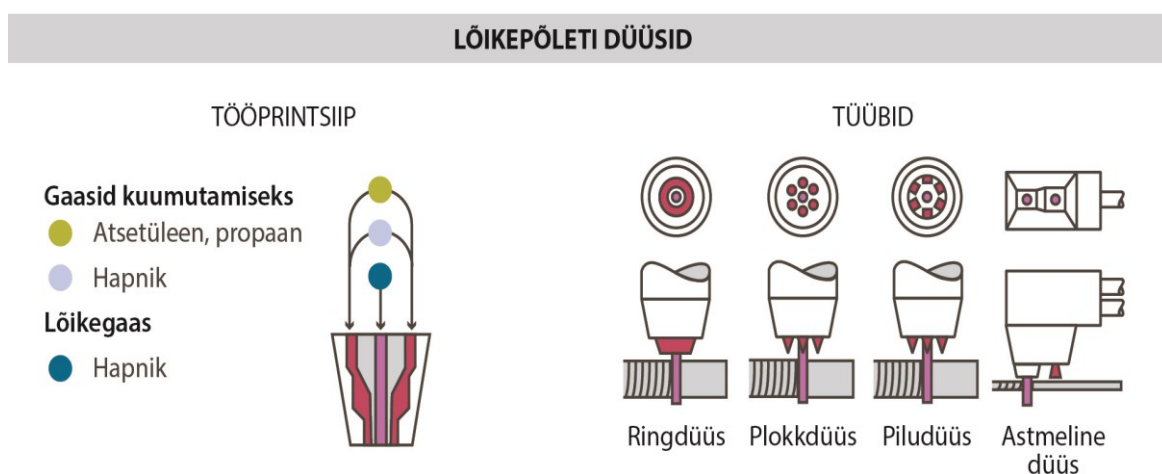
kogust. Vähene kogus hapnikku põhjustab raua mittetäielikku põlemist ja oksiidide mitte-eemaldumist, suur kogus aga jahutab liigselt metalli.

Lõikehapniku juga peab kutsuma esile pideva oksüdeerumise kogu lõigatava metalli paksuse ulatuses, kusjuures lõikepõleti edasiliikumise kiirus peab vastama metalli kogu paksuse ulatuses oksüdeerumise kiirusele, mis sõltub hapniku kiirusest. Lõigatav pilu ei tohi olla liiga kitsas ega lai, sest siis on hapnikukulu suurem kui keskmise pilu puhul. Kitsa pilu puhul ei puhuta jääke praost välja.

Lõigatava hapnikujoa iseloom oleneb düüsi kanalite kujust ja mõõtmetest, hapniku rõhust eespool düüsi, hapnikukulust ajaühikus, düüsis valitsevast rõhust ja väljavoolukiirusest (Joonis 3.43). Seega määrab ja mõjutab hapniklõikamist hapniku rõhk, mis valitakse kooskõlas lõigatava metalli paksuse ja düüsi kujuga. Lõikevaliteeti ja -kiirust määrab hapniku puhtus ja seega ka tema kulu lõikamisel. Paremaid tulemusi annab hapnik, mille puhtus on 99,7%.




Enne töö alustamist tuleb tutvuda lõikepõleti kasutamise eeskirjadega ja veenduda põleti korrasolekus. Kontroll ühtib keevituspõletite kontrolliga. Hapniku- ja põlevgaasiventilidega reguleeritakse kuumutusleek parajaks koos lõikehapnikuga. Kuumutusleegi abil aetakse metall kuumaks, kuni ta saavutab õlekarva värvuse, siis avatakse lõikehapniku ventiil ja hakatakse lõikama.

Kasutatakse erinevaid põletidüüse, mis on kujutatud joonisel 3.43.



Joonis 3.43 Põletidüüside erinevad variandid

Gaaslõikuse erinevate lõikepeade ja parameetritega näitajad on toodud joonisel 3.44.

Gaaslõikamine	Hinnang		Omadused
	Täpsus	...	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Kasutatakse konstruktsiooni-terase puhul; ✓ väga paksu materjali lõikamine; ✓ keevituse ettevalmistamine tootmisetapis (I, V, Y, X ning K keevised).
	Kiirus	..	
	Ökonoomsus	
	Paindlikkus	
Gaaslõikamine	Hinnang		Omadused
	Täpsus	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Suur lõikekiirus; ✓ kõikide elektrit juhtivate metallide lõikamine; ✓ suur täpsus kõikide toorikutega; ✓ kraatide tekke vältimine; ✓ lihtne automatiseerimine.
	Kiirus	
	Ökonoomsus	
	Paindlikkus	
Gaaslõikamine	Hinnang		Omadused
	Täpsus	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Suurim kiirus õhukese materjali puhul; ✓ suurim täpsus õhukeste toorikute ja peenikeste kontuuride puhul; ✓ lihtne automatiseerimine.
	Kiirus	
	Ökonoomsus	...	
	Paindlikkus	...	

..... väga hea

Joonis 3.414 Erinevate lõikepeade võrdlusandmed

Leegi sagedasemad plaksud tekivad düüsi, injektori ning segukambri mustumisel, düüsi ülekuumenemisel või kuumutushapniku ebapüsiva rõhu korral. Gaasi lekkimist põhjustavad nõrge-
nenud kinnitused või kulunud tihendid.

Väikesed rikked – düüsi viltuasend, ühenduskohtade ebatihedused, injektori ja düüsikanalite mustumine, düüsi pinnal olevad pritsmed, tahm jne – kõrvaldab lõikaja seadme hooldamise käigus. Eritööriistu nõudvat keerukamat remonti tehakse selleks ettenähtud töökodades.

3.2.4 Hapniklõikamise tehnoloogia ja ettevalmistused lõikamiseks

Hapniklõikamisel tuleb tükeldamisel arvesse võtta lõiketäpsust ja lõikepinnale esitatavaid nõudeid. Väga palju mõjutab metalli ettevalmistamine lõikamiseks. Lehed tuleb eelnevalt asetada klotsidele, et räbu saaks lõiketsoonist vabalt välja voolata. Alumise lehe ja põrandapinna vahele peaks jääma vähemalt 100...150 mm tühja ruumi.

Enne lõikamisele asumist tuleb metalli pind puhastada mustusest, tagist, roostest ja värvist. Selleks võib lõikepiirkonda kuumutada gaasileegiga ning seejärel puhastada terasharjaga. Lehed peavad olema märgistatud, hapniku ja atsetüleenirõhk seatud vajalikule gaasirõhule ning düüside markeering (number) vastama lõigatava metalli paksusele.

Metalli kuumutatakse lõike alguses kuni metalli süttimiseni hapnikus. Avades lõikehapniku ventiili, toimub metalli pidev oksüdeerumine kogu metalli paksuse ulatuses ja lõikepõletiga liigutakse edasi piki lõikejoont. Et saada kvaliteetset lõiget, tuleb düüsi ja lõigatava metalli vahel hoida püsivat vahekaugust. Heaks abiliseks on ratastoed, sirkel ja joonlaud. Vahekaugused oleksid järgmised vastavalt hapniku rõhule ja metalli paksusele:

Paksus mm	3...10	10...25	25...50	50...100	100...200	200...300
Kaugus mm	2...3	3...4	3...5	4...6	5...8	7...10

Hapniku rõhk:

Paksus mm	5...20	20...40	40...60	60...100
Hapniku rõhk kh/cm²	3...4	4...5	5...6	7...9

Põhinäitajad on kuumutusleegi võimsus, hapniku rõhk ja lõikekiirus. Võimsus sõltub metalli paksusest ja peab olema küllaldane kiireks kuumutamiseks põlemistemperatuurini lõikamise algul ja vajaliku temperatuuri hoidmiseks lõikeprotsessil. Kuni 300 mm paksuseid detaile lõigatakse normaalleegiga.

Lõikepõleti edasilikumise kiirus peab olema kooskõlas metalli põlemiskiirusega, millest sõltub lõike stabiilsus ja kvaliteet. Aeglase lõike korral lõikeservad sulavad, kiire puhul aga jäävad läbi lõikamata alad.

Lõikekiirust mõjutavad: lõikeviis (käsitsi või masinaga), lõikejoone kuju (sirg- või kõverjoone-line) ja lõikamise otstarve (ettevalmistav või puhaslõikamine). Seda saab määrata katseliselt, vastavalt paksusele, lõikamise viisile ja otstarbele. Õigesti valitud lõikekiiruse puhul ei tohi lõikejoone mahajäämine ületada 10...15% lõigatava detaili paksusest. Lõike laius ja puhtus oleneb lõikeviisist. Masinlõikamisel on puhtamad ja väiksema laiusega lõiked kui käsilõikamisel. Paksemal detailil on krobelisem lõikeäär ja laiem lõikepilu.

Terase hapniklõikamine. Terases süsinikusisaldusest ja lisandite keemilisest koostisest sõltub terase lõigatavus (Tabel 3.7). Süsinikusisaldusega kuni 0,3% on teras hästi lõigatav. Kui süsinikusisaldus terastes on üle 0,3%, siis lõikepind karastub, üle 0,7% juures on lõikamine raskendatud, kuna ettekuumutusega saab lõigata kuni 1,6% süsinikusisalduse terast (vaata tabelit).

Räni (Si) ei raskenda lõikamist, kui teda on terases kuni 2,5%, eelkuumutusega saab lõigata terast kuni 4% ränisisaldusega. Seejuures peab süsinikku (C) olema kuni 0,2%, suurema koguse puhul tekib raskuslav ränioksiid.

Mangaan (Mn) ei mõjuta terase lõikamist, saab lõigata 13% sisalduse korral ja eelkuumutusega on võimalik lõigata 18% mangaani- ja 1,3% süsinikusisaldusega teraseid.

Väävel ja fosfor sellises koguses, nagu nad terastes esinevad, ei mõjuta lõikamist.

Kroom, (Cr) nagu ränigi, tõstab räbu viskoossust ja on lõigatav 1,5% juures, soodustades lõikeservade kattumist räbuga. Kroomisisalduse puhul 1,5...3,0% saab lõigata ainult eelkuumutusega 600 °C juures.

Nikkel (Ni) ei ole hapnikule lähedane metall ja ei sega lõikamist. Kuni 7% niklisisaldusega on sulam lõigatav, kuid kuni 35% ja süsinikusisaldusega maksimaalselt 0,3% on lõigatav eelkuumutusega.

Molübdeeni (Mo) sisaldus 0,15...0,25% ei mõjuta terase lõikamist.

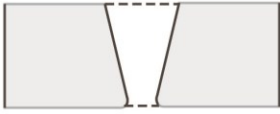





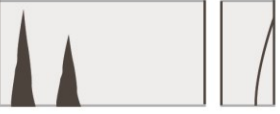

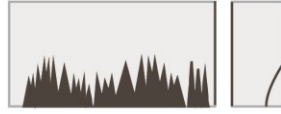
Vase (Cu) 0,5% sisalduse juures on teras lõigatav, kuid üle 0,5% tuleb aeglasemalt lõigata.

3.2.5 Gaasileegiga lõigatavate metallide keemiline koostis maksimaalsete keemiliste elementide sisalduse puhul

Tabel 3.7 Terase lõigatavuse sõltuvus keemiliste elementide sisaldusest terases

Jrk. nr.	Keemiline element	Saab lõigata ilma kuumutusega kuni	Ettekuumutusega kuni
1.	Süsinik (C)	0,3 %	1,6 %-ni
2.	Räni (Si)	2,5 %	üle 4 % - pole lõigatav
3.	Mangaan (Mn)	13,0 %	max kuni 18 % Mn ja 1,3 % C
4.	Kroom (Cr)	1,5 %	1,5...3,0 % Cr ja temp. kuni 600 °C
5.	Volfram (W)	10,0 %	Võimalik, kui C=0,8 %, Ni=0,2 % ja Cr=5,0 %
6.	Nikkel (Ni)	7,0 %	35% Ni ja max 0,3 % C – hästi lõigatav
7.	Molübdeen (Mo)	0,8 %	Üle 2,5 % Mo - pole lõigatav
8.	Vask (Cu)	0,5 %	Üle 0,5 % Cu - aeglasema lõikekiirusega

Õhukesi teraslehti pole soovitatav lõigata hapnikuga, sest lõikamisel kuumenevad nad üle ja kaarduvad (kummuvad). Kui lõigata, siis tuleb lehed panna pakki, paki paksus 100 mm, ja lehed tihedalt üksteise vastu, servad kinnitatud, peale asetada paksem leht ja kasutada astmelist lõikepead, kus kuumutav leek liigub ees ja lõikav hapnikujuga tuleb järgi, st kahe avaga põletit. Paksu metalli (kuni 100 mm) on hea lõigata nii käsitsi kui ka masinaga. Joonisel 3.45 on toodud sagedamini esinevad defektide põhjused lõikamisel.

Ebaühtlane lõige		
Lõike laius aheneb allpool  <ul style="list-style-type: none"> • Lõikamise kiirus liiga suur • Suudmiku kaugus liiga suur / liiga väike • Suudmik kulunud, vigastatud, must 	Lõike laius laieneb allpool  <ul style="list-style-type: none"> • Suudmiku kaugus liiga suur • Lõikamise kiirus liiga suur • Hapniku rõhk liiga kõrge 	Sisselõige ülaservas  <ul style="list-style-type: none"> • Hapniku rõhk liiga kõrge • Suudmiku kaugus liiga suur • Suudmik kulunud, vigastatud, must
Sisselõige alaservas  <ul style="list-style-type: none"> • Lõikamise kiirus liiga suur • Suudmik kulunud, vigastatud, must 	Nõgus lõikepind  <ul style="list-style-type: none"> • Lõikamise kiirus liiga suur • Suudmik kulunud, vigastatud, must • Hapniku rõhk liiga madal 	Ebaühtlane lõikepind  <ul style="list-style-type: none"> • Lõikamise kiirus liiga suur • Suudmik kulunud, vigastatud, must • Hapniku rõhk liiga madal
Lõikamise defektid		
Üksikud defektid  <ul style="list-style-type: none"> • Lõikamise kiirus liiga väike • Plaadi pind on ebatasane, roostes või määrdunud (nt märkimine) • Suudmiku kaugus liiga väike • Kuumutusleek liiga nõrk • Tagasilöök suudmiku ja lõikeseadmesse • Plaadil on räbu (keevitusjäätgid) 	Defektidega piirkond  <ul style="list-style-type: none"> • Lõikamise kiirus liiga suur • Plaadi pind on ebatasane, roostes või määrdunud (nt märkimine) • Lõikamise kiirus liiga väike • Suudmiku kaugus liiga väike • Kuumutusleek liiga nõrk 	Defektid lõike allservas  <ul style="list-style-type: none"> • Lõikamise kiirus liiga väike • Suudmik kulunud, vigastatud, must

Joonis 3.45 Lõikamisel esinevad defektid

Lõike stabiilsuse suurendamiseks kallutatakse lõikepõleti düüsi hetkel, mil hapnikujuga lõikub metalli, vertikaaltasapinnast 2...3° põleti liikumise suunast kõrvale. Enne lõikepõleti lõikehapniku avamist tõstetakse põleti 1,5 cm kõrgusele ja lõike tekkimisel suunatakse etteantud kõrgusele tagasi.

3.2.6 Plasmalõikamine

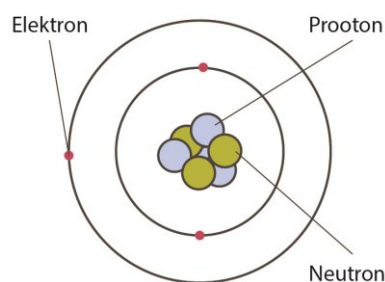
Plasmalõikamine on meetod, mille puhul kuuma plasmakaare energiat kasutatakse sulanud materjali ärapuhumiseks. Plasmalõikamine töötati meetodina välja 1950. aastatel metallide jaoks, mida ei saanud lõigata gaasiga. Taoliste materjalide hulka kuuluvad roostevaba teras, alumiinium ja vask. Seejärel on kasutatud meetodit karastamata ja madallegeritud terase lõikamiseks ning täpsuslõikamiseks.

3.2.7 Plasmalõikamise alused. Mis on plasma?

Tahke, vedel ja gaasiline olek on meile kõigile tuttavad terminid. Plasmat võib kirjeldada kui aine neljandat olekut, mis pakub täiesti uusi võimalusi, nt plasmalõikamist. Gaasid ioniseeritakse, kasutades elektrienergiat, ja juhitakse kõrge täpsusega düüside abil lõigatavale materjalile. Selline fokuseeritud plasma pihustamine moodustab suurepärase lõikeprotsessi aluse.

Materjali kuumutamiselega kaasneb molekulide vibreerimine või üha kiirenev liikumine. Kui materjali kuumutada, siis aine molekulid alustavad vibreerimist üha energilisemalt, kuni tahke aine muutub vedelaks ja molekulid alustavad pörkimist üksteise vastu. Energia lisamisega kiireneb molekulide vibratsioon või liikumine üha tõusvas tempos, kuni molekulid eralduvad üksteisest ja tekib gaas. Kui lisada veel energiat, kiireneb molekulide vibratsioon ja liikumine veelgi, kuni gaasist moodustub plasma.

Aine aatom (Joonis 3.426) koosneb positiivselt laetud tuumast, mis on ümbritsetud negatiivselt laetud elektronidega. Gaasi molekulid koosnevad kas üksikutest aatomitest või selliste aatomite gruppidest, mis on omavahel väga tihedalt seotud. Plasma moodustumisel saavutavad molekulide omavahelised kokkupõrked sellise energia, et nad purunevad ja üksikud aatomid eralduvad või lendavad minema ning mõned elektronid vabanevad aatomikestast. Plasma moodustub, kui kriitiline aatomite kogus kaotab oma elektronid. Teisisõnu, kineetilise energia kasvades vabanevad gaasis mõned elektronid aatomikestast ja plasma on moodustunud.



Joonis 3.426 Aatomi ehitus

Kui aatom annab vabaks elektronid, muutuvad viimased ioonideks. Kui lisada gaasile küllaldaselt energiat, kus on aatomite arvuline tasakaal, annavad aatomid ära elektronid vabade elektronidena ja gaas kannab ioniseeritud gaasi nimetust. Ioniseeritud gaas on plasma. Plasmas on igal antud ajahetkel piisav ioniseeritud aatomite kogum, seega on seal alati ioone ja elektrone,

mis on eraldatud ja vabad. Energia suunamine gaasi peab olema pidev, vastasel korral gaas jahtub ja elektronid suunduvad tagasi aatomisse. Kui see juhtub, muutub plasma tagasi gaasiks.

Plasmalõikamist teostatakse konkreetseks rakenduseks kohandatud gaasidega, nt karastamata terast lõigatakse tihti plasmagaasiga, milleks on hapnik või lämmastik, samas kui roostevaba terast lõigatakse tihti argoonil (või lämmastikul) põhineva gaasiga, sh vesinikuga. Joonisel 3.47 on näidatud lehtmaterjali lõikamine plasmajoaga.



Joonis 3.437 Lehtmaterjali lõikamine plasmajoaga

Plasma viitab osaliselt eraldatud, osaliselt ioniseeritud ja elektrit juhtivale gaasile, mille moodustavad eraldi molekulid, aatomid, ioonid ja elektronid, mida on kuumutatud kõrge temperatuurini. Plasmalõikamisel kasutatakse plasmalõikamist alusmaterjali sulatamiseks ning sulanud alusmaterjali eemaldamiseks lõikest.

Plasma tootmiseks on vaja gaasi, sobivas vormis energiat ja põletit. Plasmagaas on keskkond, millest moodustatakse plasma. Plasmagaas ioniseeritakse otsikust. Sobivate plasmagaaside hulka kuuluvad argoon, vesinik, lämmastik ja nende segud, samuti suruõhk ja hapnik.

Kaitsegaasi sisestatakse välisest otsikust, kattes plasmagaasi joa ning hoides ära õhu sattumise kaarde. Sõltuvalt kasutatavast gaasist võib gaasi katmine kaare kontsentratsiooni tõhustada. Kaitsegaas ja plasmagaas on sageli samad.

VARIGON H35

- Sobib kasutada roostevaba terase plasmalõikamisel: värvitu ja lõhnatu gaas, väga kergesti süttiv, õhust kergem, koostisained, Ar: põhigaas, H₂: 35%, H₂O < 20 ppm, O₂ < 20 ppm. Teised plasmalõikamise gaasid on puhas lämmastik ja hapnik.

Plasmajoa temperatuur on üle 25.000 kraadi. Volfram-, hafnium- või tseeruimelektroodi otsa ja detailide vahel süüdatakse algul pilootkaar, edasi see kustub ja süttib plasmakaar. Suhteliselt

kõrge tühijooksupinge (kuni 400 V), soojusenergia sulatab servad ja joa kiirus eemaldab sulammetalli. Rekombinatsiooniefekt paljuaatomilistel gaasidel – eraldub lisaenergiat.

Kasutatakse seal, kus ei saa kasutada gaaslõikust: roostevabad terased, alumiinium, vask.

Eelised:

- suur lõikekiirus õhukestel ja keskmistel materjalipaksustel
- väike termomõjutsoon
- saab lõigata vee all, puuduvad müra, gaasid, ultraviolettkiirgus.

Puudused:

- lõikejalg on alt kitsenev.

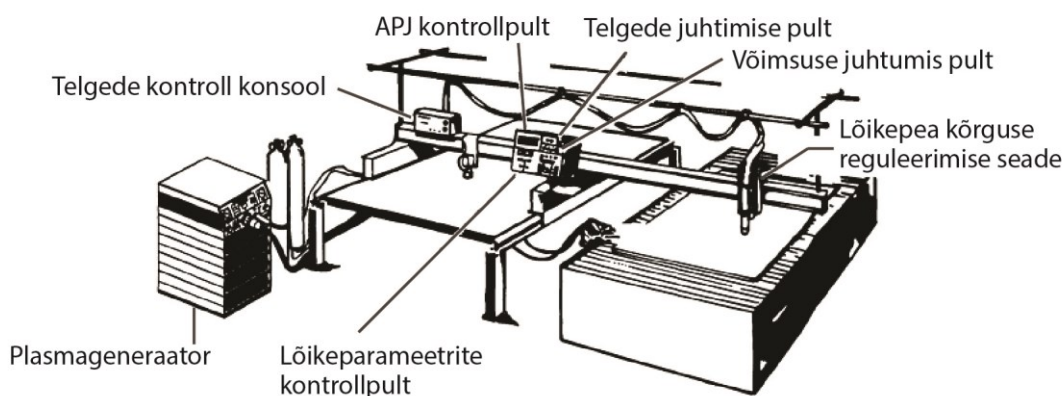
Plasmagaasid:

Argoon (Ar) + vesinik (H₂) - teraseid, lämmastik (N) + vesinik (H₂) - alumiiniumi, lämmastik (N) + suruõhk, hapnik - vaske.

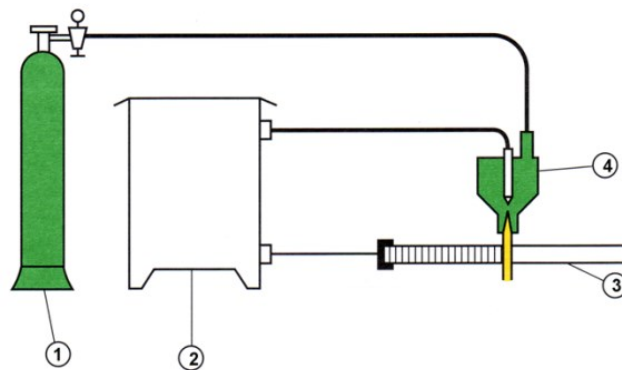
Argoon (Ar), madal energiasisaldus (soojusmahtuvus) ja soojusjuhtivus. Soovitav kasutada segugaasina, kuna suur tihedus stabiliseerib kaart.

Pinnakonaruste kõrgus ja lõikest eemaldatud lõikejoone (kerf) laius on suurem kui hapniklõikamisel.

Plasmalõikepingi ehitus (Joonis 3.448) on samasugune nagu gaaslõikuspingil ja sageli ühendavad pinke valmistavad tehased mõlemad tehnoloogiad ühte pingikonstruktsiooni, et mitmekesistada lehtmaterjali lõikevõimalusi vastavalt tootmisettevõtete profiilile ja kasutatavatele materjalidele. Plasmalõikepingi põhilised koostisosad on toodud joonisel 3.49.

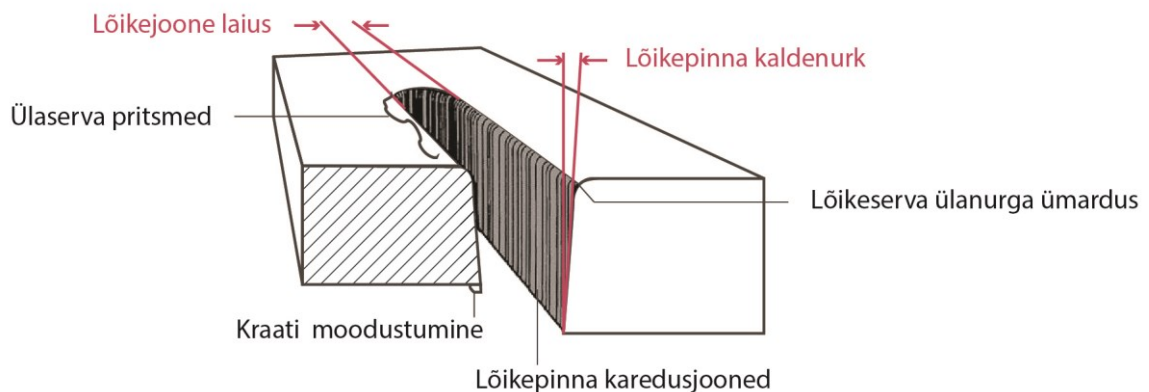


Joonis 3.448 Plasmalõikepingi ehitus



Joonis 3.459 Plasmalõikepingi põhiosad: 1 plasmagaasi balloon, 2 toiteallikas, 3 lõigatav materjal, 4 plasmatron

Plasmalõiketehnoloogia, baseerudes gaaslõikusel, kasutab lõikeprotsessis samu gaase. Plasma-joaga lõigatud lehtmaterjali pind on nähtav joonisel 3.50. Põhimõtteliselt on lõikepind sarnane gaaslõikamisel tekkiva lõikepinnaga.



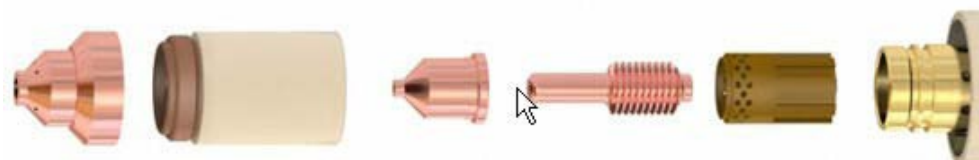
Joonis 3.50 Plasmapingil lõigatud detaili lõikejoone laius

3.2.8 Põleti kasutamine

Plasmapõletite konstruktsioon erineb veidi gaaslõikepõletitest. Plasmapõleti korpus (Joonis 3.51) koosneb tööotsikust ja kaitsekestast, mille sees olevad üksikdetailid (Joonis 3.52) võtavad osa plasmalõikeprotsessist ja kontrollivad seda: kaitseotsik, kaitsekest, düüs, pöörlev elektrood, kaitserõngas, põleti korpus. Neid osasid kutsutakse põletite töödetaileks.



Joonis 3.51 Plasmalõikepõleti



Kaitseotsik kaitsekest düüs pöörlev elektrood kaitserõngas põleti korpus

Joonis 3.52 Põleti detailid

Plasmalõikamise kvaliteetseks sooritamiseks on oluline kasutada põleti käsitlemisjuhendit korrekse häälestuse määramiseks: materjali paksus, lõikeviivitus, põleti kõrgus ja lõikevoolu tugevus vastavalt lõigatava materjali omadustele. Enamik põletite käsitlemisjuhendeid sisaldab vastavaid häälestustabeleid. Lõikekvaliteedi saavutamiseks on oluline kasutada õigeid häälestusparameetreid, teada põleti ehitust ja tema osade ülesandeid ning hooldamist. Häälestusparameetrite seadistamist illustreerib Hypertherm Powermax 45 lõikepõleti näide. Iga konkreetse pingitüübi põleti ehitus võib olla erinev, kuid peamised lõikesüsteemi osad on sarnased. Õige häälestuse saavutamiseks on vaja viia läbi harjutusi vastavalt pingi ja põleti kasutusjuhendile. Muuta ei tohi põletile installeeritud häälestust ja kontrolleri ettenähtud võimsusparameetreid.

Põleti üksikosade asendamisel peab läbi viima põleti uue installeerimise õiges järjekorras. Enamikul mehhaniseeritud põletitel kasutatakse kontrolleri poolt juhitud Ohmic-sensorit, mis reageerib, kui põleti puudutab lõigatavat materjali. Ohmic-sensoril on metallist otsik, mis on ühendatud sensoriga (Joonis 3.53).



Joonis 3.53 Sensori otsik

3.2.9 Plasmageneraator

Plasmajoa toiteallikana kasutatav EPP plasmageneraator on mõeldud markeerimiseks ja plasma-lõikuseks suurte kiirustel. Seda võib kasutada koos teiste ESABi toodetega nagu näiteks PT-15, PT-19XLS, PT-600 ja PT-36 põletid, ning elektroonilise gaasireguleerimis- ja lülitussüsteemiga Smart Flow II.

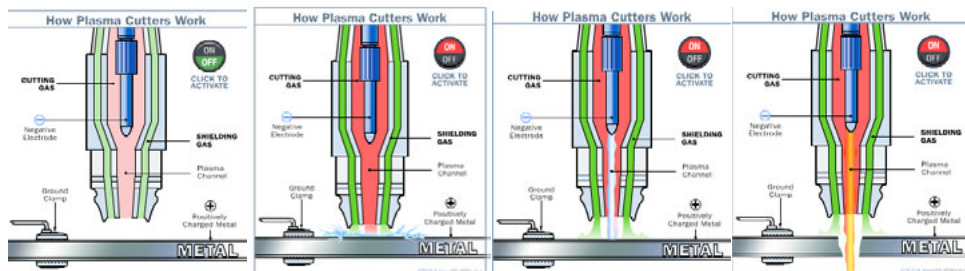
- 10–100 amprit markeerimiseks nõrga vooluga
- 50–450 amprit lõikamiseks tugeva vooluga
- 35–100 amprit lõikamiseks nõrga vooluga
- sundõhkjahutus
- alalisvool
- sisendpinge kaitse
- lokaalse või distantjuhtimisega esipaneel
- termolüliti peatransformaatorile ja pooljuhtseadised
- ülemised tõsteasjad või pilu kahveltõstukiga transportimiseks
- lisageneraatori võimalus väljundvõimsuse suurendamiseks.

Plasmageneraatori üks variantidest, EPP 450, on esitatud joonisel 3.54.



Joonis 3.54 Plasmageneraator (mudel EPP 450)

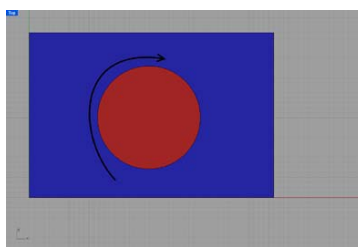
Plasmalõikepea töötamise järjestikused skemaatilised kujutised on toodud joonisel 3.55.



Joonis 3.55 Plasmalõikepea ehitus ja töötamine

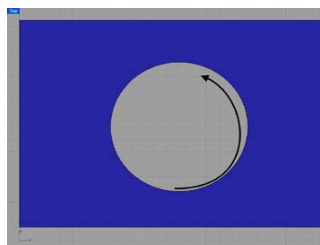
3.2.10 Lõikestrateegia

Lõikesuund peab olema läbi mõeldud enne plasmalõikuri programmeerimist. Nii nagu freespingil, määrab plasmapingi lõikepea liikumissuund ära lõike kvaliteedi. See on tingitud sellest, et ava lõigatakse põleti düüsist väljuva pöörleva plasmajoaga. **Vaadatuna põleti liikumise suunas on plasmalõikamisel parempoolne lõikeserv kvaliteetne** (Joonis 3.56).



Joonis 3.56 Põleti liikumise suund (vt nool) ringdetaili väljalõikamisel

Joonis 3.6 on punase ringina kujutatud meile vajalik väljalõigatav osa ja sinisena mittevajalik. Sellises olukorras peab põleti liikuma kellaosuti liikumise suunas. Alumisel joonisel 3.57 me tahame saada detaili, milles on ava keskel. Sellisel juhul peab lõikepõleti liikuma kellaosutile vastupidises suunas.



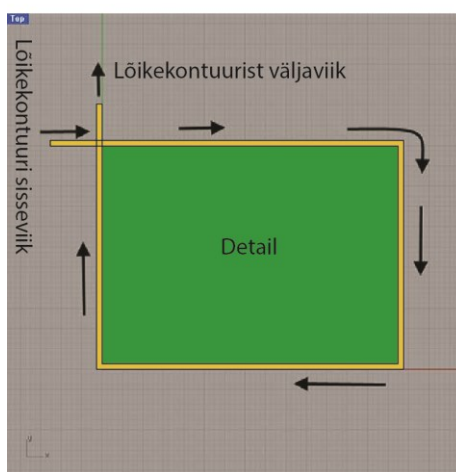
Joonis 3.57 Põleti liikumise suund (nool) ava väljalõikamisel

NB! Pidage meeles – põleti liikumise suunas olev parempoolne lõikeserv on alati parima kvaliteediga.

Lõikejärjekord peab olema kindlaks määratud enne plasmalõikuri programmeerimist. Joonis 3.57 kujutatud detaili sisse (sinine osa) peab esmalt lõikama ava. Kui detailil lõigata esmalt ära servad (hall kontuur), võib see kaasa tuua materjali deformeerumise enne ava lõikamist. Lõikejärjekorra määrab CAM tarkvara.

Sisseminek/väljatulek tähendab põletiga lõikamise alustamist ja peatamist, kui lõikamine on lõppenud. Põletiga materjali lõikamise alustamisel tekib intensiivselt räbu. Liigse räbu tekkimise takistamiseks peab lõikepõleti sisse- ja väljaliikumiseks kasutama lõikeprogrammi (Toolbath). Intensiivne räbu tekib põletileegi sissetungimisel materjali ja sellest väljumisel, kuid mitte lõikeprotsessis.

Joonis 3.468 on näidatud detaili väljalõikamine, kus põleti peab alustama liikumist nurgast ja väljuma samast nurgast, et ei tekiks räbu või defekte väljalõigatavasse detaili. 15 millimeetrit on harilikult piisav sisse- ja väljalõike pikkusvaru, kuid see peab olema pikem, kui lõigata paksemat materjali. Sisse- ja väljaminek programmeeritakse CAM tarkvara paketiiga.



Joonis 3.468 Põleti sisse- ja väljaminek lõigatavast materjalist

3.2.11 Üleskerkimine

Üleskerkimine leiab aset, kui väljalõigatava detaili üks ots langeb läbi lõigatava materjali ja teine ots kerkib lehepinna kõrgemale (Joonis 3.479). Ülestõusnud osa võib takistada põleti või masina liikumist. Kui üleskerkimine leiab aset, peata masin ja ettevaatlikult (tükk on kuum) taasta tasapinnalisus ning jätkka väljalõikamist.



Joonis 3.479 Põleti või masina liikumine on takistatud

Positsioneerimise kadumine

Kui masina töötamisel selgub, et ta ei lõika vastavalt etteantud programmile ja lõikejoon ei ole õige, peata masin. Tee masina põhjalik ülevaatus eesmärgiga leida üles vea põhjus, mis takistab masinal etteantud programmi alusel töötamast. Illustreeritud näide on Joonis 3.60, kus põleti peab lõikama ringjoone sisekontuuri, kuid lõige on kõverdunud, algus- ja lõpp-punkti valik või lõikekõrgus ei ole õige. Kui selline asi juhtub ja masin on kaotanud positsioneerimise, peab masina viivitamatult peatama stoppnupust.



Joonis 3.60 Mitteettenähtud lõige

3.2.12 Mitteplaneeritud liikumine

Kui masina lõikepea liigub käivitamisel lõikekohast eemale või kohale, mis ei ole ette siis peata masin (

Joonis 3.6161). Kui põletile oli häälestatud lõike alguspunkt, kuid ta liigub mitteettenähtud kohale, on tegemist mitteplaneeritud liikumisega. See on harvaesinev olukord ja viitab põleti telgede nullpunktide mittemääramisele. Kui masina põleti liigub mitteettenähtud lõikekohale, siis peata masin stoppnupust.



Joonis 3.61 Põleti liikumine mitteettenähtud kohale

3.2.13 Leek ei põle

Leegi mittepõlemise all mõeldakse seda, kui põleti plasmaleek on kustunud detaili välja-lõikamisel. See ei ole normaalne, kui põleti sisenemisel ja väljumisel ühest lõikekontuurist järgmisele programmiosale leek kustub. Kõige sagedamini kustub leek, kui põleti otsik on liiga kaugel materjalist või lõikamine toimub eelmise sisselõike kohal. Kui leek kustub lõikamise ajal, kasuta stoppnuppu masina seiskamiseks, või pausinuppu. Selgita välja põhjus, mis takistab masina tööd. Pea meeles, et alati tuleb masin peatada, kui tema töös on tekkinud häireid.

Põhisammud NC andmebaasi kasutamise ja CNC plasmalõikuri tööks on toodud allpool.

Masina käivitamiseelne meelespea:

- Tee kindlaks kõikide kaitse- ja töövahendite olemasolu (Joonis 3.62): prillid, kuulmekaitsevahend, kindad, kaitseriietus, väljatõmbeventilatsioon, tulekustuti, aga samuti vasar ja puhastusmeisil.



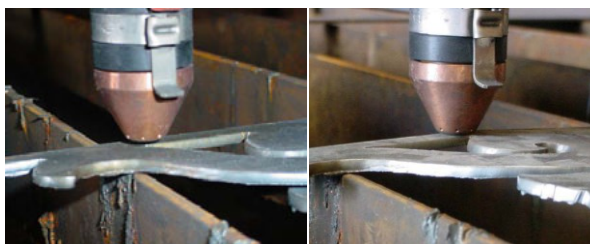
Joonis 3.62 Plasmalõikepingi operaatori kaitse- ja töövahendid

- Küsi oma juhendajalt või instruktorilt luba CNC plasmapingil töötamiseks.
- Tee kindlaks, kas pink on häälestatud, testitud ja valmis tööks.
- Tee kindlaks, kas lõikaja on korras ja installeeritud põletite AMP häälestusele vastavalt ettenähtud materjali lõikamiseks.
- Tee kindlaks, kas CNC kontroll, põleti kontroll ja kompressor on sisse lülitatud. Tee kindlaks, et põleti kontroll oleks häälestatud vastavalt õhurõhule.

3.2.14 Lõikamine NC andmebaasi kasutamisega CNC plasmalõikepingil

1. Kontrolli põleti komplekteeritust ja õhurõhku.
2. Käivita Techno CNC Interface programm.
3. Positsioneeris otsik.
4. Seadista põleti pinge ja lõikekõrgus.
5. Ava soovitud NC andmebaas.
6. Vii läbi NC andmebaasi eelnev läbivaatus.
7. Seadista põleti liikumiskiirus.
8. Liiguta lõikepea lõikekohta.
9. Nulli kõik teljed.
10. Lülita välja z-positsioon.
11. Vii läbi andmebaasi läbivaatus.
12. Pane selga kaitseriietus ja ette -prillid.
13. Käivita pink.

Põleti töötulemuse määravad kolm parameetrit: lõikekõrgus, lõikekiirus ja pinge. Need kolm parameetrit ei ole üksteisest sõltumatud – kui kiirus või kõrgus muutuvad, muutub ka pinge. Kui ükskõik milline neist kolmest parameetrist muutub, siis muutuvad ka ülejäänud. Selle sõltuvuse töötamisel tagab põleti kõrguse kontroll (Torch Height Control). Detaili lõikamisel võib ta kuumusest tingituna kõverduda ja tõusta tööpinnast kõrgemale ning läheneda põletile. Selle tulemuseks on pinge langus ja juhtimissüsteem (automaatne põleti kõrguse kontroll) tõstab põleti kõrgemale, et kompenseerida detaili ülespainet (Joonis 3.63).



Joonis 3.63 Põleti normaalasend (vasakul), asend detaili üleskerkimisel (paremal)

Lõikekontrolli eesmärk on õige lõikepinge viimine kooskõlasse põleti lõikekõrgusega ja liikumiskiirusega. Kontroll-lõikamisel kasutab süsteem etteantud pinget lühikesel lõikepikkusel, kus põleti hoiab häälestatud lõikekõrgust ja kiirust. Lõikekõrgus on sel juhul 1,5 mm (0,06”) ja lõikekiirus 170 IPM. Süsteem valib selliste keskmiste näitajate korral ligikaudseks pingeks 102 V. Pingi käsitlemisjuhendi tabel annab plasmapõleti häälestuspingsiks 117 V.

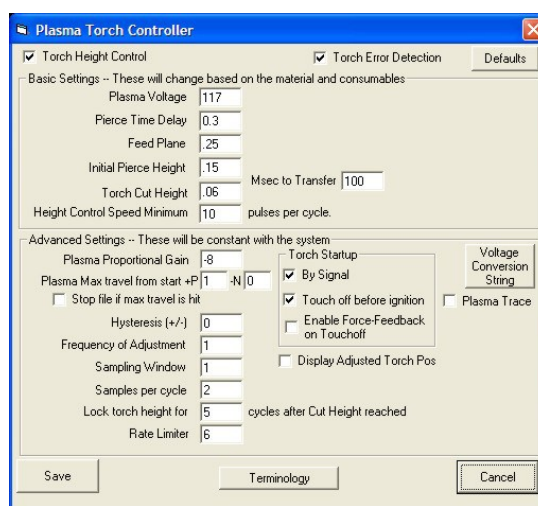
Kui detail on lõigatud, kasutab plasmalõikeseadistus (Plasma Volts setting) soovitud plasmalõikaja pinget põleti kõrguse kontrollimiseks. Muutes plasmalõike seadistust (Plasma Volts setting) 102 V-ni, võtab süsteem aluseks soovitud pinget põleti kõrguse kontrollimiseks, lähtudes konkreetsele materjalile ette nähtud lõikekiirusest ja põleti kõrgusest.

Testlõikamise eesmärk on aidata reguleerida lõikepinge taset. Testi läbiviimine on vajalik ainult siis, kui lõigatava materjali tüübi andmed muutuvad. Kui lõikekvaliteet on vastuvõetav või plasmalõike häälestus on eelnevalt teada, ei ole testi tegemise järele vajadust. Paljud plasmalõikepingioperaatorid koostavad tabeli erinevate lõigatavate materjalide omadustest sõltuvate häälestusandmete kohta ja kasutavad seda, kui materjal muutub. See on mõistlik ja hoiab ümberhäälestuste pealt aega kokku. Kui erinevate materjalide lõikekvaliteet on olnud hea, on lihtne tabelist võetud andmete alusel häälestada pinget, lõikekõrgust, põleti kõrgust, põleti viivitust ja lõikekiirust.

Plasmahäälestus (Plasma Settings)

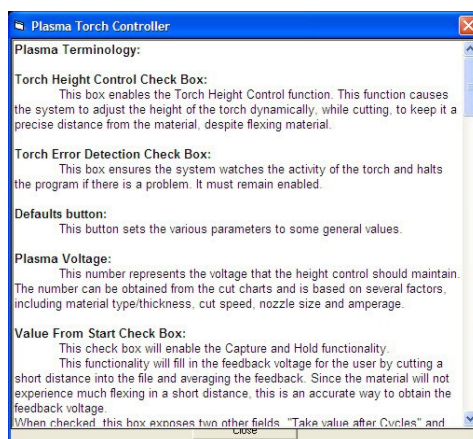
Sobiva plasmahäälestuse määramine on üks võtmetegevusi igale pingioperaatorile olenemata plasmalõike erinevatest süsteemidest. Tehniline CNC andmebaas (Techno CNC Interface) toimib läbi plasmapõleti kontrolleri (Plasma Torch Controller). Plasmapõleti kontrolleri avamiseks vajuta ekraanil plasmahäälestusnuppu. Programm jaotab häälestuse kahte ossa: baashäälestus (Basic Settings) on akna ülemises osas ja lõpphäälestus (Advanced Settings) akna alumises osas. Illustreeriv häälestusandmete aken arvuti ekraanil on näidatud Joonis 3.64.

Baashäälestusega sisestatakse lõigatava materjali baasandmed ja lõpphäälestusega ebatäpseks osutunud juba sisestatud andmed. Baashäälestamine – andmete muudatused seoses materjali (Change with Material) andmete muutusega. Lõpphäälestamine – ebatäpsete andmete muutmise (Unlikely to Change), plasmahäälestusandmete salvestamine (Save Changes to Plasma Settings), väljumine plasmapõleti kontrolliprogrammist muutusi salvestamata (Exit the Plasma Torch Controller without Saving changes), juurdepääs plasmalõike terminoloogiale (Access Plasma Cutting Terminology).



Joonis 3.64 Arvuti häälestusandmete aken

Vajuta aknal terminoloogia nuppu (Click the Terminology button). See avab plasmaterminoloogia akna (Plasma Terminology), mis aitab aru saada plasmapõleti kontrolleri programmis kasutatavatest terminitest. Illustreeriv plasmaterminoloogia aken arvuti ekraanil on näidatud Joonis 3.65. Kui terminoloogiaakent ei ole rohkem vaja, vajuta see kinni (Close).



Joonis 3.65 Plasmaterminoloogia aken

3.2.15 CNC programmeerimise tutvustus (Introduction to CNC Programming)

Andmesisestuskäsk (Line Editor)

Oluline on teada, kuidas kasutatakse andmesisestuskäsku (Line Editor) numberkoodide sisestamisel plasmalõikepingi põleti kontrollimiseks. Eelnevalt on teada, et tänapäeva tööstuses on enamik numberkoode, mis juhivad pinkide tööriistu, loodud CAM andmebaasi abil. Pingi käsitsemisjuhendis kasutatakse Mastercami andmebaasi NC koodide loomiseks, aga on oluline teada, kust need koodid tulevad ja kuidas pink neid numberkoordinaate kasutab. Alljärgnevalt on toodud tegevused detaili valmistamiseks (Joonis 3.66).



Joonis 3.66 Plasmalõikepingil valmistatav detail

1. Kahekordne klahvivajutus tehnilise CNC andmebaasi nupule (Techno CNC Interface) ekraanil (Desktop). See avab tehnilise CNC andmebaasi. Kasuta seejärel andmesisestuskäsundi nuppu, et sisestada masinkoodid joonisel 3.66 toodud detaili lõikamiseks.

2. Vajuta sisestusnuppu (Edit). See käivitab koodide sisestamise võimaluse CAM andmebaasi (ekraanipilt andmetega on esitatud joonisel 3.67), ja sisesta seejärel alljärgnevad koodid:

01 (SINU NIMI)

02 (SINU ETTEVÕTE)

03 (KUUPÄEV)

04 (6" X 6" 12 DETAILI SUURUS)

05 G90

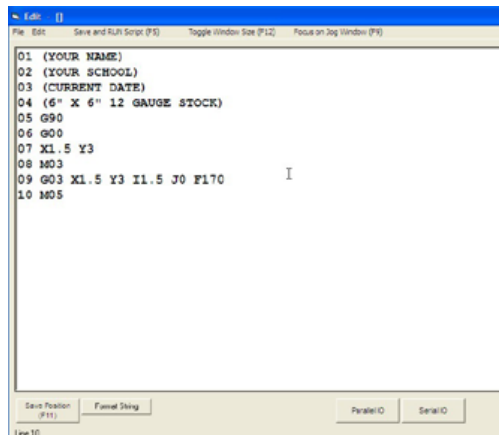
06 G00

07 X1.5 Y3

08 M03

09 G03 X1.5 Y3 I1.5 J0 F170

10 M05



```
01 (YOUR NAME)
02 (YOUR SCHOOL)
03 (CURRENT DATE)
04 (6" X 6" 12 GAUGE STOCK)
05 G90
06 G00
07 X1.5 Y3
08 M03
09 G03 X1.5 Y3 I1.5 J0 F170
10 M05
```

Joonis 3.67 Ekraanipilt andmetega

3.2.16 Andmemenüü. Sisestusmenüü. NC koodid (File Menu. Edit Menu. NC Code)

Mida tähendavad iga rea koodid? G ja M koode kasutatakse tehnilise andmebaasi poolt (vt ekraanil tehnilise andmebaasi kasutusjuhendit, kasutades abinuppu Help). Esimesed kaks koodi iga rea alguses on rea järjekorranumbrid. Kui me tahame sisestada kompleksandmeid, peame alustama realt 0001 pikema programmi paigutamiseks. Esimesed neli rida, read 01–04, on programmi informatsioon. Sulud () ütlevad pingile, et nende vahele on paigutatud programmiline informatsioon. Kogu oluline informatsioon paigutatakse sulgude () vahele.

4. Rida 05, G90 määrab koordinaadid absoluutväärtustes. Kõik arvud on originaalväärtustes.
5. Rida 06, G00 annab pingile korralduse liikuda järgmisse määratud punkti kiirendatult.
6. Rida 07, X1.5 Y3 annab põletile korralduse liikuda ringi alguspunkti.

3.2.17 Põletite häälestamine (Torch Setup)

1. Lülita sisse põletite kontrollid.
2. Lülita sisse õhukompressor ja kontrolli, et õhurõhk jõuab põletite kontrollidesse. Õige õhusurve on kindlaks tehtav põletite kasutamisejuhendi kaasabil. Põletite, mida on kasutatud käesoleva käsitsemisjuhendi koostamisel, spetsifitseerib 90 PSI. Paljudel põletitel on indikaatorid, mis informeerivad õigest õhurõhust. Kui plasmalõikepink on varustatud erinevate põletitega, kasuta põletite õhusurve määramiseks vastava põletite kasutamisejuhendit või teisi õhusurve määramise võimalusi. Ebakindluse korral põletite häälestamisel küsi nõu juhendajalt või nõustajalt.
3. Veendu, et põletite magnetkinnitus töötab.

4. Veendu, et põleti detailid on õigesti monteeritud. Korrektne detailide loetelu on määratud põleti spetsifikatsiooniga lõigatava materjali kohta. Siinse näite puhul on lõigatavaks materjaliks 12 mm paksune karastamata teras. Põleti käsitsemisjuhend spetsifitseerib voolutugevuseks 45 A.
5. Vajuta kaks korda tehnilise CNC andmebaasi (Techno CNC Interface) nuppu ekraanil. See käivitab CNC plasmalõikaja kontrollandmebaasi. Veendu, et tead avarii-stopp-nupu asukohta, enne kui jätkad. Pingi käivitamise järel võib tekkida vajadus kasutada pausi, käivitamise või peatamise avarii-stopp-kontrollnuppu.
6. Veendu, et põleti liiguti (Spindle) on asendis Auto. See jälgib plasmapõleti sisse- ja väljalülitamist automaatselt.
7. Paiguta 12 mm paksusega ja 150 x 150 mm mõõtmetega (6" x 6") materjal töölauale. Veendu, et materjal oleks õigesti paigutatud (Joonis 3.488) ja maandus kinnitatud. Materjali vasakpoolne nurk on lõikamise alguspunkt (nullpunkt).



Joonis 3.488 Materjali paigutamine plasmalõikepingi töölauale

8. Veendu, et maanduskaabli haarats on ühendatud metall-lehe toetuslaual selle osaga, mis on kokkupuutes töödeldava materjaliga. Kui metall-leht on suuremõduline ja ulatub üle plasmapingi töölaual, võib maanduse ühendada vahetult metall-lehe külge.

Plasmalõikeprotsessi alustamisel ja läbiviimisel peab esmalt tutvuma lõikepingi tehniliste ning häälestusandmetega.

Kontrollküsimused:

1. Milliseid materjale saab lõigata gaas- ja plasmalõikepinkidega?
2. Milliseid gaase kasutatakse lõikamisel?
3. Millised on lõikamisel kasutatavate gaaside näitajad?
4. Milliseid ohutusnõudeid tuleb täita gaaside kasutamisel?

Kontrolltest

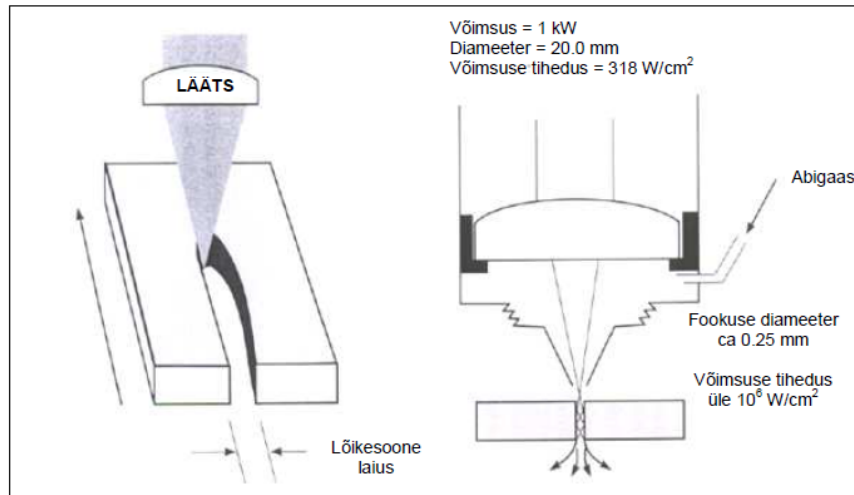
1. Milline suhe kehtib atsetüleeni ja hapniku normaalleegi kohta? a) 1:1 b) 1:3 c) 2:4 d) 5:6
2. Kui palju hapnikku kulub ühe osa atsetüleeni kohta õigesti reguleeritud normaalleegi puhul? a) 1:1 b) 1:2,5 c) 2:3 d) 8:15
3. Milline temperatuur on atsetüleeni ja hapniku põlemisel töotsoonis? a) 1200 °C b) 2500 °C c) 3200 °C d) 3800 °C
4. Milline mõju on leegil, kui temas on palju atsetüleeni? a) süsinikku rikastav b) redutseeriv c) oksüdeeriv d) mõju puudub

Vastused: 1 = 1; 2 = 2; 3 = 3; 4 = 1

3.3 Laserlõiklus

Metallide lõikamine laseriga on levinud tööstusettevõtetes üle maailma. Laserlõikeprotsess on võrreldav teiste termiliste lõikeprotsessidega. Termilistes lõikeprotsessides kasutatakse soojusallikat, millest tulenev kuumus kontsentreeritakse töödeldava detaili pinnale. Laserlõikeprotsessi puhul toimub soojuse ülekandmine kiirgusülekanne teel. Laserkiire footonid neelduvad lõigatavas detailis ja nende energia muundub soojuseks. Kui laseriga lõikamisel kasutatakse abigaasina hapnikku, reageerib hapnik enamiku metallidega, näiteks terasega. Toimub eksotermiline oksüdeerimisprotsess, mis annab lõikeprotsessile lisasoojust.

Laseri võimsus on hästi realiseeritav tänu laserkiire unikaalsetele omadustele nagu koherentsus ja monokromaatsus – laserkiir koondatakse väikesesse punkti lõigatava detaili pinnal. Võimsuse tihedus kerkib üle 10^6 W/cm² taseme, mis võimaldab metallide aurustamist. Võimsuse tihedus on otseses seoses laseri võimsusega. Võrdluseks: päiksekiire võimsustihedus maa atmosfääris on väiksem kui 0,1 W/cm². Joonis 3.69 illustreerib abigaasi abil vedela metalli ja metalliauru väljapuhumist lõikesoone kaudu.

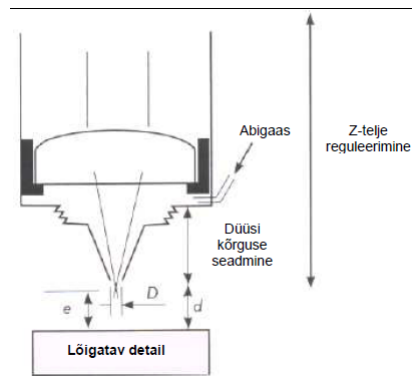


Joonis 3.69 Laseri lõikepea tööpõhimõte

Ainult osa töölehele suunatavast laseri võimsusest kasutatakse ära lõikeprotsessis. Osa võimsusest läheb kaduma tagasipeegeldumise tõttu töölehe pinnalt või lõikesoone sisepindadelt. Ülejäänud energia salvestub materjali pinnal ja lõikesoones, mis tõstab lõikepiirkonda ümbritseva materjali temperatuuri tavalise soojusjuhtivusprotsessi kaudu. Kokkuvõtlikult öelduna: lokaalselt salvestatavat energiat kasutatakse osaliselt metalli sulatamiseks ja aurustamiseks ning osaliselt tekivad kaod materjali soojenemise ja laserkiire tagasipeegeldumiste tõttu.

Düüsi kõrgus (d) ja fookuse asukoht (e) määratakse lõigatava detaili pealispinna suhtes ja need on teineteisest sõltumatult seatavad. Düüsi läbimõõt (D) ei ole reeglina automaatselt muudetav. Düüsi kõrgus (d) hoitakse konstantne distantsanduriga varustatud Z -telje liigutamissüsteemi abil (Joonis 3.70).

Fookuse asukoha vajalik väärtus (e) seadistatakse käsitsi enne lõikeprotsessi alustamist või automaatselt näiteks servomootoriga liigutatava düüsi koostu või adaptiivse optikasüsteemi abil.

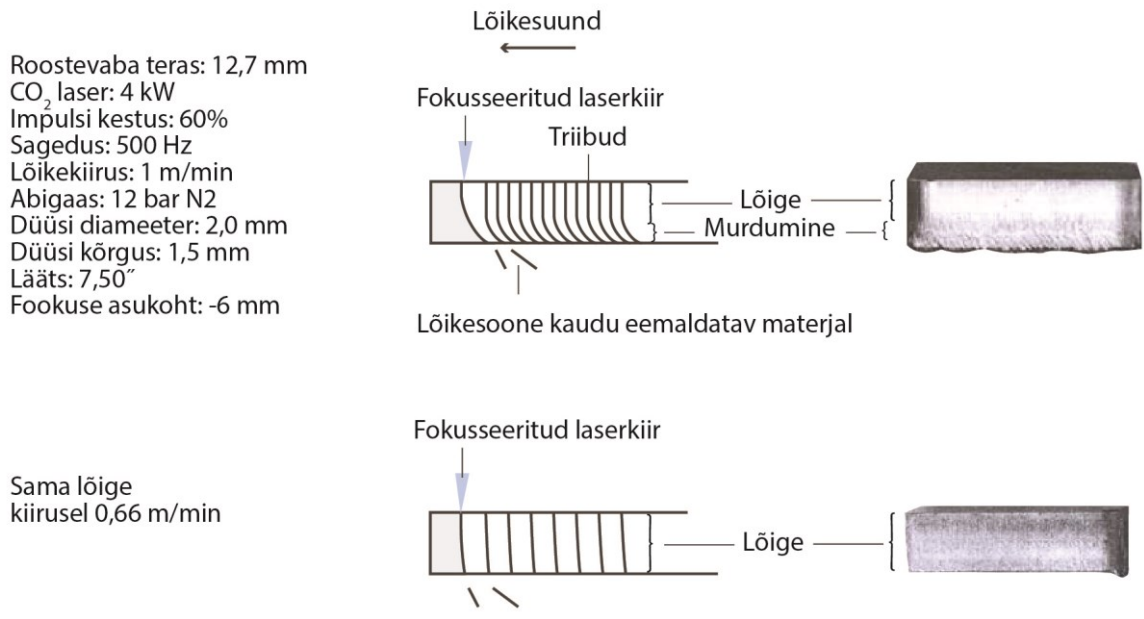


Joonis 3.70 Laserpea fookuse asukoha häälestamisparameetrid

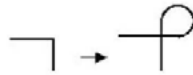
Kui võimsus on muutumatu ja materjali paksus suureneb, siis töödeldavas detailis neelduv võimsus ei ole antud kiirusel enam piisav, et materjali läbi lõigata. Seetõttu detaili alumine osa ei ole vedelas olekus ja seda ei saa ära puhuda.

Eemalduv vedel metall voolab lõikesoonel lõikesuunale vastupidises suunas, kuna seal on takistus kõige väiksem. Lõikepinnal on nähtavad korrapärased triibud. Need triibud näitavad lõiketsooni ja nn murdumistsooni, mis on sarnane mehaanilises lõikeprotsessis kasutatavate terminitega. Joonis 3.7071 on näidatud kuidas lõiketsooni suhe murdumistsooni suureneb lõikekiiruse vähenemisel laseri võimsuse suhtes. Kui paksude materjalide lõikamisel lõikekiiruse ja laseri võimsuse suhtarv ületab mingi taseme, tekivad suurema kaldega triibud.

Seetõttu vähendab enamik lõikeprogramme nurkadele lähenedes lõikekiirust, et saavutada enne suuna muutmist materjali läbilõikamine kogu paksuse ulatuses. Ühe abinõuna kasutatakse ka silmuse programmeerimist (Joonis 3.72), mis mitte ainult ei elimineeri vajadust vähendada kiirust, vaid väldib materjali põlemist, ja seda eriti juhul, kui nurk on väike.



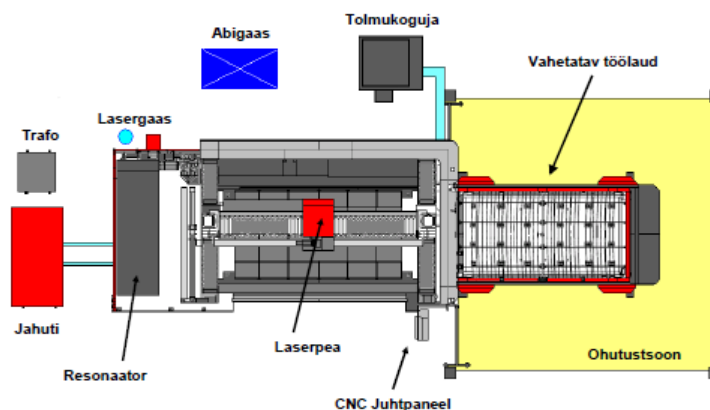
Joonis 3.71 Laserkiire lõikekiirusest tulenev lõikekvaliteet



Joonis 3.72 Silmuse programmeerimine nurgalõikel

3.3.1 Seadmed

Laserpingid esindavad edukat kooslust laserfüüsikast ja optikast koos traditsiooniliste liikumis- ja numberjuhtimissüsteemidega. Laserpingid koosnevad mitmetest erinevatest moodulitest: laseri resonator, abigaasi ja lasergaasi toitesüsteem, jahutusseade laseri ja laserkiire edastussüsteemi jaoks, tolmu koguja ja liigutamissüsteemid ning juhtimisfunktsioonid (Joonis 3.73).

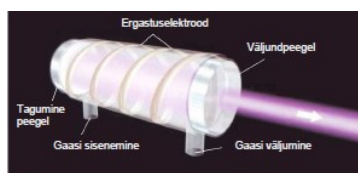


Joonis 3.73 Laserpingi ülesehituse skeem

3.3.2 Laseri resonator

Laseri resonator (Joonis 3.74974) koosneb suure peegeldumisvõimega lasergaasi mahutist ja vahenditest, millega edastada energiat lasergaasile. Lasergaas on gaas, mille omadused võimaldavad võimendada valgust ergastusprotsessi abil. Lihtsustatult koosneb mahuti kahest peeglist, mis on paigutatud nii, et valgus pöörub edasi-tagasi, läbides iga kord lasergaasi. Tavaliselt on üks peeglitest, väljundpeegel, osaliselt läbipaistev. Väljuv laserkiir läbib selle peegli.

Kindla lainepikkusega lasergaasi läbivat valgust võimendatakse (võimsus suureneb); ümbritsevad peeglid kindlustavad, et suur osa valgusest läbiks lasergaasi korduvalt ja toimuks selle mitmekordne võimendamine. Osa peeglite vahel asuvast valgusest (asub mahutis) läbib osaliselt läbipaistva peegli ja väljub laserkiirena. Protsessi, mille käigus edastatakse võimendamiseks vajalikku energiat, nimetatakse ergastamiseks. Kasutusel on peamiselt kaks ergastustehnoloogiat: raadiolainetega (RF) ja alalisvooluga (DC) ergastamine.



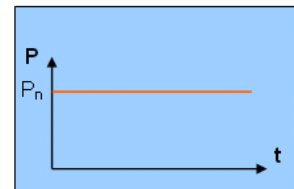
Joonis 3.7494 Laseri resonatori ehitus

Töörežiimid

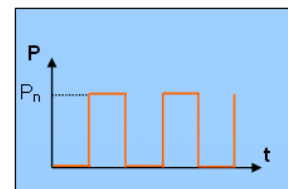
Laseri võimsus võib olla konstantne, püsiva amplituudiga (continuous wave CW) või pulseeriv (Joonis 3.75). Püsirežiimil töötades on võimsus ajas konstantne. Püsirežiimi kasutatakse lihtsamate kujundite lõikamisel maksimaalse kiirusega. Pulseerival režiimil töötades on võimalik

saavutada märksa suuremat tippvõimsust. Laseri võimsus varieerub ajas – vahelduvad sees ja väljas perioodid. Eesmärk on edastada antud punkti maksimaalne kogus energiat nii lühikese aja jooksul kui võimalik. Kui detail saab väga lühikese aja jooksul piisava koguse energiat, siis selle materjal hakkab aurustuma. Pulseerivat töörežiimi kasutatakse kuumenemise limiteerimiseks keerukate kujundite lõikamisel. Samuti kasutatakse seda läbistamisel, peenlõikusel ja peegelduvate materjalide lõikamisel.

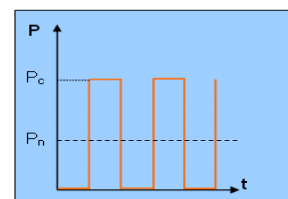
Võimsus on ajas konstantne (t).
Kasutatakse lihtsate kujundite lõikamisel maksimaalse kiirusega.



Võimsus ei ole püsiv. Impulsi võimsus ei ületa laseri püsiva töörežiimi nominaalset võimsust (P_n).
Kasutatakse keerukate kujundite puhul, et vähendada kuumenemist.



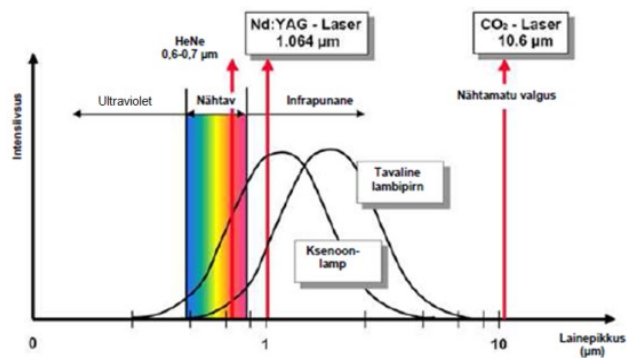
Võimsus ei ole püsiv. Impulsi tippvõimsus (P_c) võib ületada laseri püsiva töörežiimi nominaalset võimsust (P_n).
Kasutatakse läbistamisel, peenlõikusel ja peegelduvate materjalide lõikamisel.



Joonis 3.75 Laseri võimsuse erinevad režiimid

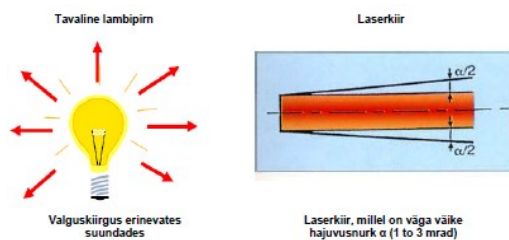
3.3.3 Laserkiir

Erinevalt tavalisest lambipirnist on laservalgus monokromaatne. See omab ainult ühte lainepikkust. Lainepikkus sõltub laserkiirt tekitava keskkonna omadustest. See on väga oluline parameeter, kuna võimsuse neeldumine materjalis sõltub lainepikkusest. Mõni materjal on laseriga paremini lõigatav kui teine. CO₂ laserkiire lainepikkus on 10,6 μm, mis asub valguse infrapunases (IR) spektris (Joonis 3.76).



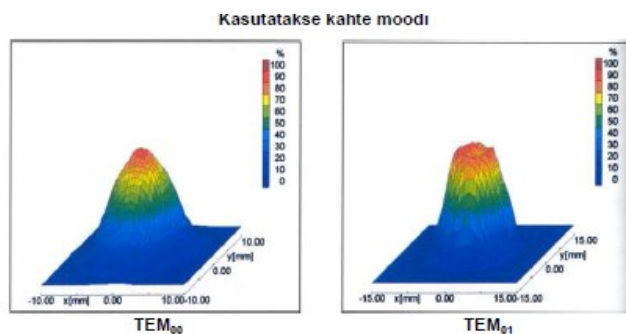
Joonis 3.76 Valgustekitajate erinevad lainepikkused ja intensiivsused

Tavaline lambipirn kiirgab valgust erinevates suundades. Laser emiteerib väga madala hajuvusnurgaga valguskiire. See omadus võimaldab saavutada väga kõrge võimsuse tiheduse, lihtsustab laserkiire edastamist ja hõlbustab fokuseerimist (Joonis 3.77).



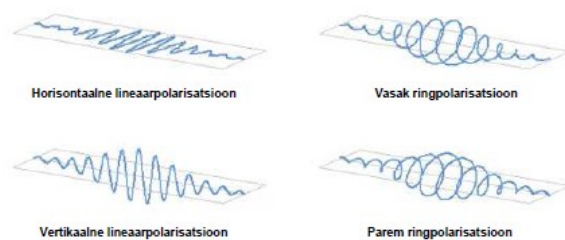
Joonis 3.77 Valguse kiirgamine lambipirnist ja laserkiirest

Laseri mood (TEM, Transverse Electric Magnetic) iseloomustab võimsuse jaotumist laserkiire ristlõike ulatuses. Mood omab suurt mõju fokuseeritud laserkiire omadustele. Laseri resonaatori optika konfiguratsioonist sõltub moodi kuju. Lõikeprotsessis kasutatakse TEM₀₀ või TEM₀₁ tüüpi moodi (Joonis 3.78).



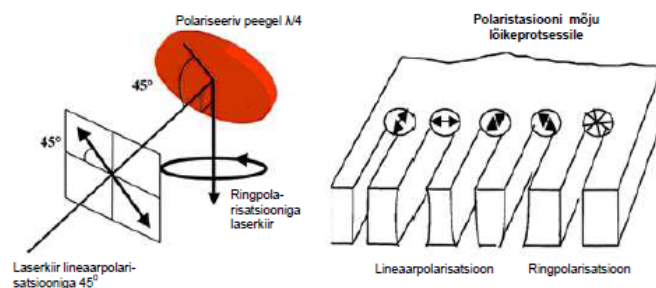
Joonis 3.78 Võimsuse jaotumine laserkiire ristlõike ulatuses

Laserkiire polarisatsioon on laserkiire füüsikalisele elektromagnetilisele tunnusele, millel on mõõdetav mõju löiketulemusele. Valguse polarisatsioon (Joonis 3.79) kirjeldab laine elektrivälja suunda. Elektrivälja võib olla orienteeritud ühes suunas (lineaarne polarisatsioon) või see võib pöörelda laine levimise ajal (ringpolarisatsioon). Ringpolarisatsiooniga valgus annab löiketulemuse, mis üldjuhul ei sõltu löikamise suunast. See ei ole reeglina nii, kui löigata metalle lineaarselt polariseeritud laserkiirega. Lööketulemusele avaldab mõju lineaarse polarisatsiooni suund löikesuuna suhtes. Lineaarselt polariseeritud laserkiir tekitab servades tugevama kalde, juhul kui polarisatsiooni suund on risti löikesuunaga. Ringpolarisatsiooniga laserkiir annab võrdse tulemuse kõigis löikesuundades kogu tööpiirkonna ulatuses.



Joonis 3.79 Laserkiire erinevad polarisatsioonid

Laserkiir on elektromagnetiline laine, mis on algselt lineaarselt polariseeritud. Et lahendada probleem, mis on seotud löiketulemuse varieerumisega lähtuvalt löikesuunast, paigaldatakse peale resonatorit polariseeriv peegel $\lambda/4$. Tulemuseks on ringpolarisatsiooniga laserkiir, mille löiketulemus ei varieeru erinevates löikesuundades (Joonis 3.80).

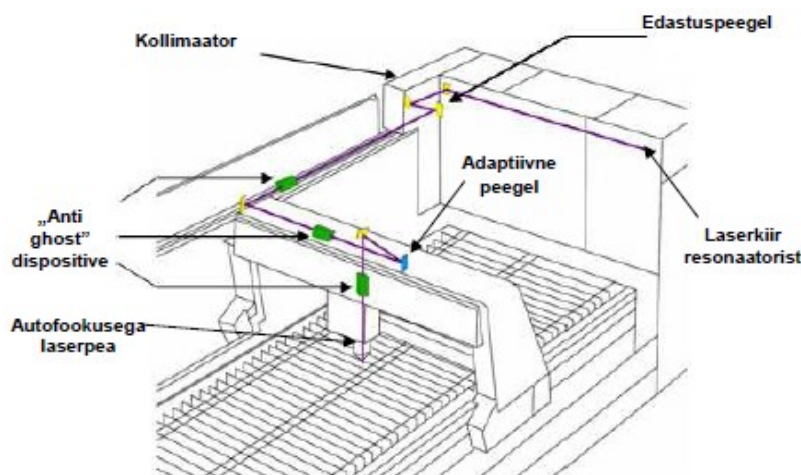


Joonis 3.80 Polariseeruva peegli $\lambda/4$ asend

3.3.4 Laserkiire edastussüsteem

Laserkiire edastamine resonatorist detailini peab täitma tingimusi, mis tagavad ohutuse, väldivad võimsuskadusid ja säilitavad fokuseeritavuse. Hulk peegeldavaid ja edasikandvaid optika-

komponente kogub, juhib, töötleb ja fokuseerib laserkiire kõrge temperatuuriga soojusallikaks. Enamikes **CO₂ laserites** eelistatakse kasutada traditsioonilisi portaaliga laserkiire edastussüsteeme. Portaaliga laserkiire edastussüsteem koosneb nii jäikadest kui ka painduvatest torudest. Torud kaitsevad optikakanalit ja selle optikat atmosfääris sisalduva mustuse (tolm, osakesed, suits, niiskus jne) eest (Joonis 3.81).



Joonis 3.81 Laserkiire edastusskeem resonaatorist lõikepeani

Kollimaator koosneb teleskoobi põhimõttel toimivast kahest peeglist või samaväärsest läätsel. Laserkiire läbimõõtu suurendatakse, kuid hajuvus väheneb. See võimaldab vähendada läätsel suunatava laserkiire läbimõõdu varieerumist, kui liikuda seadme tööpiirkonna ühest nurgast teise.

Autofokusega laserpead seadistavad optikakanali fookuspikkust tööpiirkonna iga punkti jaoks. Adaptiivsete peeglitega tehnoloogia võimaldab saavutada sama tulemuse, muutes koondava läätsel kohal asetseva spetsiaalse konstruktsiooniga peegli kõverusraadiust automaatselt lõikeprotsessi ajal.

Automaatne düüsi kõrguse funktsioon hoiab Z-telje distantanduri abil fookuse asukoha ja düüsi kõrguse lõigatava lehe pinna suhtes konstantse, hoolimata töölauale paigaldatud lehe kõrguse muutumisest (leht võib olla kergelt laines või paksus veidi varieeruv).

Peegleid ja läätsesid kasutatakse laserkiire nõutud omaduste tagamiseks, selle suunamiseks ja fokuseerimiseks. CO₂ laserkiire edastusoptika on valmistatud tsinkseleniidist (ZnSe). Tsinkseleniidist valmistatakse fokuseerivaid läätsesid ja väljundpeegleid. CO₂ laserite peegeldav optika on enamasti kaetud teemant-treitud vaskpinnaga, mis tagab 98,5% peegelduvuse

lainepikkusel 10.6 μm . Lisades hõbedast pinnakatte samale vasebaasil valmistatud peeglile, saavutatakse 99,5% peegelduvus. Ränist (SI-peegelduvus 99,5%) peegleid kasutatakse resonatorisisestes suunamispeeglites ja laserkiire edastuskanali peeglitena.

3.3.5 Seadme liigutamissüsteemide kontseptsioonid

Kasutusel on erinevaid liigutamissüsteemide konstruktsioone koos mitmesuguste lisadega erinevate rakenduste jaoks. Lendoptikaga tasapinnalistel laserpinkidel on enamasti kaks telge (X ja Y) ja Z-i seadistamine lehe pinna jälgimissensori abil. Lõigatav leht on paigal. Enamikel kaas-aegsetest lasepinkidest on kolm liikuvat telge (X, Y ja Z). Lendoptikaga lahendust iseloomustab optikakanali pikkuse muutumine suures vahemikus, kui liigutakse töölaua algpunktist selle kõige kaugemasse punkti (Joonis 3.82).



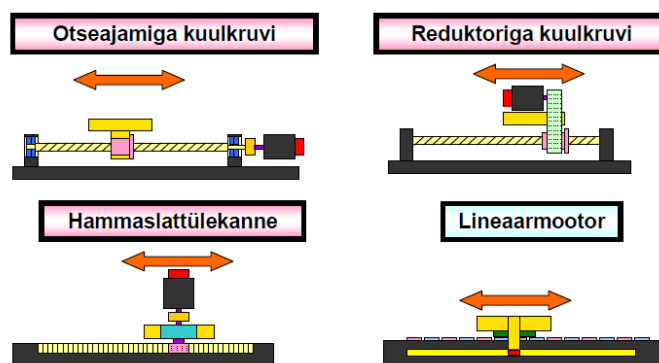
Joonis 3.82 Laserpingi lõikepea liikumise kolm telge (X, Y, Z)

Statsionaarse optikaga tasapinnalistel laserpinkidel on liikuv töölaud või liigutatakse ainult lõigatavat lehte. Laserpea seisab paigal. Optikakanali pikkus on täiesti konstantne, mis garanteerib laserkiire fokuseerimise võrdse tulemuse kogu tööpiirkonna ulatuses.

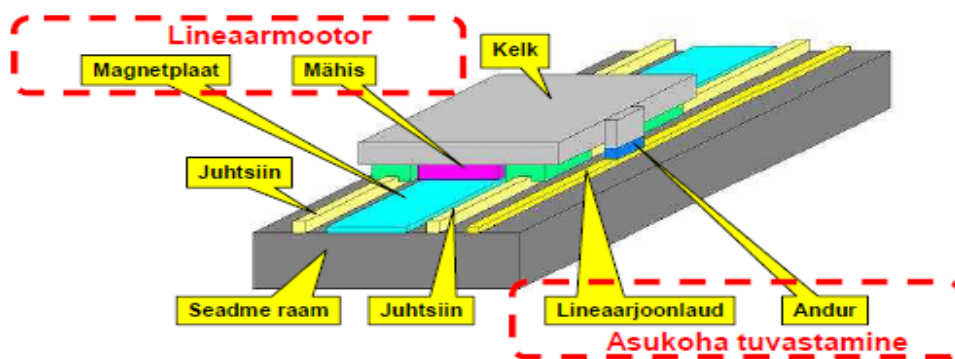
Hübriidliikumisega tasapinnalistes laserpinkides on kombineeritud lendoptika ja liikuv töölaud/leht. Lõigatav leht liigub X-telje suunas ja optika liigub Y ja Z suunas. Optikakanali pikkuse muutumine on limiteeritud Y-telje liikumisulatusesega. Hübriidseadmed ei talu suuri kiirendusi ega võimalda suurt töökiirust, kuid need on väga sobivad suurte lehtede lõikamiseks.

Tootmisseadmetes on tehnoloogiliselt täiuslikumad lineaarmootorid (Joonis 3.83) hakanud asendama servoajamiga kuulkrusid. Lineaarmootorites (Joonis 3.84) tekitatakse lineaarne liikumine püsिमagnetist plaadi ja vahelduvvooluga ergutatava mähise vahel tekkiva elektromagnetilise vastasmõju abil. Mähise südamik on kinnitatud laserpingi liikuva osa (näiteks Y-telje kelk või laserpea) külge. Suurim erinevus võrreldes kuulkruviga on otsese kontakthõõrdu-

mise puudumine, mis tekib pöörlevas kruvis. Linearmootorid võimaldavad väga suuri liikumiskiirusi (150 - 240 m/min), mis aitab vähendada tsükliägu ja suurendada tootlikkust.



Joonis 3.83 Laserlõikepea liigutamise erinevad süsteemid



Joonis 3.84 . Laserlõikepea liigutamine linearmootoriga

3.3.6 Vesijahutus

Vesijahuti on oluline väline seade, mis tagab tööprotsessi stabiilsuse. Selle põhifunktsiooniks on laseri resonaatori ja laserkiire edastussüsteemi komponentide normaalse töötemperatuuri säilitamine, et kindlustada nende efektiivne toimimine. Enamik laseri jahuteid hoiavad jahutusvee resonaatori ja jahuti vahel pidevas ringluses. Jahutusvesi peab olema destilleeritud ja sisaldama leeliseid (CaCO_3) alla 50 osa miljoni kohta.

Optika, resonaatori elektroodide ja kõrgepinge või kõrgsagedusergastusmoduli jahutamiseks kasutatakse üldjuhul deioniseeritud vett. Ettevaatusabinõuna omavad tööstuslikud laserid kahte eraldiseisvat jahutusvee vooluringi – üks neist on resonaatori optika, elektroodide ja energiarvustuse jaoks ning teine muudele laseri komponentidele nagu turbiinpuhur, soojusvaheti, katiku peegel ja vaakumpump. Üks jahutusvee vooluring sisaldab tavalist jahutusvett ja teine deioniseeritud vett resonaatori komponentide ja energiarvustuse jaoks.

3.3.7 Abigaas

Abigaasi peamine ülesanne on abistada materjalide lõikamisel ja samal ajal kaitsta düüsi ning läätse vedela materjali poolt tekitatavate kahjustuste eest. Kasutusel on kahte tüüpi abigaase: eksotermilised ja endotermilised.

Eksotermilise gaasi (hapnik) kasutamine annab lõikeprotsessile ligikaudu 50% lisavõimsust oksüdeerimisreaktsiooni abil, mis võimaldab tekitada oluliselt kõrgemat temperatuuri, võrreldes ainuüksi laserkiire poolt genereeritava kuumusega. See on kasutusel eelkõige pehmete materjalide, nt alumiiniumi ja madalsüsinikterase lõikamisel, samuti paksude materjalide lõikamisel. On kasutatav ka roostevaba terase lõikamisel, kuid lõikepinnale jääb oksiidikiht.

Endotermilise gaasi (lämmastik ja suruõhk) kasutamisel takistatakse oksüdeerumisprotsessi toimumist ja gaas toimib sundkonvektsiooni tõttu hoopis jahutina. Sisuliselt kasutatakse gaasi lõikamise ajal materjali mahajahutamiseks. Lämmastikku kasutatakse roostevaba terase oksiidivabal lõikamisel. Suruõhku kasutatakse eelkõige alumiiniumi, roostevaba terase ja mittemetalsete materjalide lõikamisel. Üldjuhul kasutatakse suruõhuga lõikamisel survet 7 kuni 8 baari. Kuigi see tekitab lõikepinnale veidi rohkem oksiidi, on jooksevkulud märksa madalamad, võrreldes roostevaba terase lõikamisel lämmastiku abil (Clean cut).

3.3.8 Erinevate abigaaside eelised/puudused

Hapnik (O₂)

+ Võimaldab lõigata paksemaid materjale.

+ Madal gaasi rõhk: madalsüsinikterase puhul 0,5–1,5 baari, roostevaba terase ja alumiiniumi puhul 4–6 baari.

– Oksiidikihiga serva on vaja enne keevitamist või värvimist puhastada.

– Alumiiniumi ja roostevaba terase lõikamisel tekib kõva kraat.

Lämmastik (N₂)

+ Suurepärane lõikeserva kvaliteet roostevaba terase puhul.

+ Pehme kraat paksu alumiiniumi lõikamisel (kergesti eemaldatav).

+ Oksiidivaba lõikeserv.

– Piiratud materjali paksus: alla 50% materjali paksusest hapnikuga lõikamisel.

– Kulukas, kuna tuleb kasutada kõrget rõhku (6–15 baari).

Suruõhk

+ Suurepärane lõiketulemus alumiiniumi puhul.

- + Puuduvad kulutused abigaasile.
- + Kasutatav mittemetalsete materjalide lõikamiseks.
- Materjali paksus on väga limiteeritud (madalsüsinikteras ja roostevaba teras).
- Roostevaba terase vilets lõiketulemus.

3.3.9 Abigaasiga varustamine

Abigaase saab tarnida mitmel viisil lähtuvalt tarbimiskogustest, vajalikust vooluhulgast ja rõhust.

Madalate tarbimiskoguste puhul kasutatakse tehastes balloone, mida saab osta üksikult või 12-ballooniliste pakettidena. Balloonis on gaas kokku surutud. Balloonigaasi puhtus on lämmastiku N_2 ja hapniku O_2 puhul kuni 99,999%. Balloonid on üldjuhul tehtud terasest või alumiiniumist. Standardne tööstusliku lämmastiku N_2 gaasiballoon sisaldab 9,5 m³ gaasi, mis on surutud 200-baarise rõhu alla. Pakett 12 gaasiballooniga, mis sisaldab kokku 114 m³ abigaasi, suudab varustada laserpinki roostevaba terase lõikamisel 10-baarise surve ja 23,5 m³/h vooluhulgaga ligi 5 tundi.

Lämmastiku ja hapniku suuremate tarbimismahtude korral on sobilikum kasutada mahuteid. Mahutid paigaldatakse väljapoole tootmisruume. Vedelas olekus gaasi sisaldavad mahutid on varustatud aurutiga, mis on vajalik gaasirõhu tõstmiseks 15 baarini standardsete mahutite puhul või 40 baarini spetsiaalsete kõrgsurvemahutite korral (Joonis 3.85). Kuigi algne investeering vajalikku betoonvundamenti on suurem, on vedela mahutigaasi kuupmeetri hind odavam, võrreldes balloonides tarnitava gaasi hinnaga.

Osades tehastes on kasutusel õhuseparaatorid, mis eraldavad õhust lämmastikku (N_2), mille saavutatav puhtus on 95–99,9%. Lämmastiku kogumiseks juhitakse lämmastik läbi spetsiaalse membraani. Selline süsteem vajab kompressorit, mis tõstaks suruõhu rõhu üle 10 baari. Suruõhu tootmiseks on vaja kvaliteetset, kõrgsurvefiltri ja kuivatiga varustatud kompressorit.



Joonis 3.85 Gaasivarustuse peamised lahendused ettevõttes

Abigaasi kulu

Abigaasi kulu sõltub düüsi läbimõõdust, gaasi rõhust ja lõikamisel kasutatava abigaasi tüübist. Konkreetse materjali jaoks sobiliku düüsi läbimõõt, abigaasi rõhk ja selle tüüp on antud CNC mallu salvestatud lõikeparameetrite failis (Tabel 3.8). Abigaasi kulu tunni kohta on arvatav järgmise valemi abil:

$$c = d^2 \times (p+1) \times 0,53 \times \rho$$

c – abigaasi kulu (m³/h); d – düüsi läbimõõt (mm); p – abigaasi rõhk (baari); ρ – tihedus, mille väärtus sõltub abigaasi tüübist: lämmastik $\rho_{N_2} = 1,0095$ m³/kg, hapnik $\rho_{O_2} = 0,9510$ m³/kg, suruõhk $\rho_{AIR} = 0,9905$ m³/kg.

Tabel 3.8 Laserlõikamise informatsioon

Materjal	Paksus t [mm]	Abigaas	Düüsi diameeter d [mm]	Rõhk p [baari]	Abigaasi kulu c [m ³ /h]
Madalsüsinikteras	1...3	Hapnik	2	2	6,0
	4...6	Hapnik	2	0,8	3,6
	8...10	Hapnik	2,5	0,6	5,0
Roostevaba teras	1...2	Lämmastik	2	8	19,3
	3	Lämmastik	2	10	23,5
	4...5	Lämmastik	3	9	48,2
	6	Lämmastik	3	9,9	52,5
	8	Lämmastik	4	13	119,8
Alumiinium	1...2	Suruõhk	2	8	18,9
	3	Suruõhk	3	7	37,8
	4	Suruõhk	4	7	67,2
	1	Lämmastik	2	8	19,3
	2	Lämmastik	2	9	21,4
	3	Lämmastik	2	10	23,5
	4	Lämmastik	4	8	77,0

3.3.10 Lasergaasi tüübid

Tööstuslike CO₂ metallilaserite lasergaasisegu sisaldab umbes 3-9% CO₂, vähemalt 30% heeliumi ja tasakaalustamiseks lämmastikku. Osa CO₂ laserite tootjaid näeb ette hapniku (O₂) ja kuni 6% CO lisamise gaasisegusse, et minimeerida CO₂ gaasi hulga vähenemist. Mõnede laserimudelite puhul tarnitakse iga gaas eraldi ja enne resonaatori täitmist gaasiga segatakse gaasisegu seadme poolt õigetes proportsioonides kokku. Teist tüüpi laserid vajavad ühte eelsegatud lasergaasiballooni, mis sisaldab tootja poolt määratud vahekorra ja puhtusastmega gaasisegu.

3.3.11 Füüsilised muutujad

Kuigi laserlõikamisel ei ole otsest mehaanilist kontakti, võivad mitmed füüsilised omadused mõjutada materjalide lõiketulemust. Kui laserlõikeprotsess muutub ebastabiilseks ja/või kvaliteet langeb hoolimata sellest, et kasutatakse samu lõikeparameetreid nagu varem, näiteks eelmise nädala omi, tuleb enne parameetrite muutmist kontrollida järgmisi elemente:

1. Läätsse seisukord

Optimaalsete lõiketingimuste saavutamiseks peab lääts olema heas seisukorras. Läätsel ei tohi olla kriimustusi ega mustust. See on oluline, kuna pritsmete kleepumisel lääts pinnale võib lääts peegeldumisvastane kaitsekiht kahjustuda, samuti võib valgus murduda, mis põhjustab selle kandumise paljudesse erinevatesse suundadesse. Selle tagajärjeks on ebaühtlane fookuspunkt, mille tulemusel võib fookuspunkti läbimõõt suureneda ja põhjustada seeläbi võimsuse tiheduse vähenemist lõiketsoonis. Paari nädala jooksul peale uue seadme kasutuselevõttu on soovitatav kontrollida lääts iga päev ja vajadusel seda puhastada.

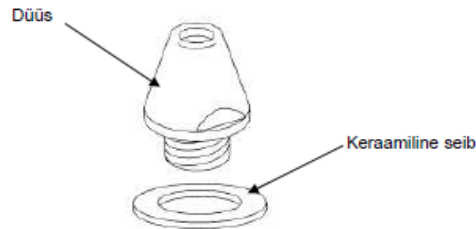
2. Düüs

Düüsi geomeetria mängib olulist rolli abigaasi dünaamikas, mis avaldab pöördelist mõju lõiketulemusele. Düüsil võib olla üks ava või rohkem avasid. Ühe avaga düüs on kasutatav enamiku materjalide puhul, va paksemad madalsüsinikterasest. Vali optimaalne düüsi läbimõõt vastavalt materjalile, selle paksusele ja gaasi rõhule.

Üldjuhul kasuta paksemate materjalide lõikamiseks suurema läbimõõduga düüsi. 12 mm või paksema madalsüsinikterasest lehe lõikamisel on soovitatav kasutada paksudele materjalidele ette nähtud düüsi. Eriti 14 mm või paksemate lehtede lõikamisel aitab lõikeprotsessi kvaliteeti parandada ja stabiilsust tõsta suurema avade arvuga düüsi kasutamine. Düüsi ots peab olema lame ja ava ümmargune. Kui düüs ei ole lame või on see mõnel muul viisil kahjustunud, siis ei tasu seda viilida/lihvida, kuna häiritud abigaasidünaamika tõttu võivad tekkida probleemid lõikekvaliteedi ja stabiilsusega. Seetõttu on soovitatav asendada see lihtsalt uuega.

3. Keraamilise seibi seisukord

Seib mõjutab laserpea funktsioneerimist, kuna see on isolaatoriks anduri koonuse ja düüsi vahel. Kui seib ei ole kasutusel või see on kahjustunud, tekib oht, et anduri koonus läheb lühisesse või väheneb distantsanduri tundlikkus. Seibi eemaldamisel ja hilisemal taaspaiigaldamisel tuleb jälgida, et see asetseks nii nagu varem (Joonis 3.86).

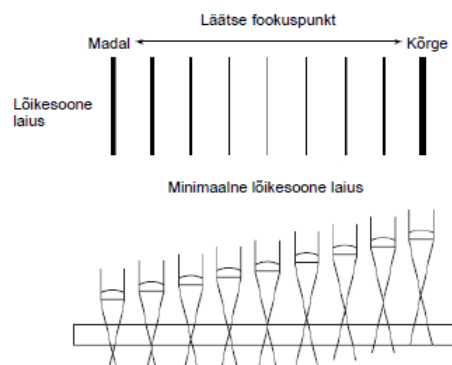


Joonis 3.86 Düüs ja keraamiline seib

4. Pea kalibreerimine

Kalibreerimine tuleb viia läbi peale seadme sisselülitamist ja/või juhul, kui düüs/pea on võetud laserpea hoidja küljest lahti. Protseduur tuleb viia läbi, kasutades 3 mm või paksemat madalsüsinikterasest lehte. Kui pea kalibreerimist ei tehta, võib tekkida tõrkeid mahtuvusanduri töös ja seetõttu võivad ilmned probleemid düüsi kõrguse hoidmisel, mille tagajärjeks on ebakorrekne fookuspunkti asukoht.

Fookuspunkti baaspositsiooni test tuleb viia läbi alati, kui lääts on asendatud uuega. Testi läbiviimise eesmärk on määrata läätsse asukoht, kus lõikamisel saadav lõikesoon (laserkiire laius) on kõige kitsam. Sellisel juhul on kiire intensiivsus kõige suurem ja see on erinevate materjalide lõikamisel baasiks fookuspunkti asukoha muutmisel (Joonis 3.87).



Joonis 3.87 Läätse fookuspunkti seadistamine

5. Materjali kvaliteet ja paksus

Laserlõikeprotsess on äärmiselt tundlik materjali paksuse ja keemiliste omaduste suhtes. Mida suurem on materjali ränisisaldus, seda problemaatilisem on selle lõikamine. Isegi kui materjal võetakse alati samalt tarnijalt, võivad tekkida mõningad probleemid, kuna kvaliteet võib varieeruda. Keemilise koostise erinevusel on määrav mõju kvaliteedile ning sellest lähtuvalt võib tekkida vajadus vähendada lõikekiirust või tõsta keskmist võimsust. Uus laserpink sisaldab materjalide andmebaasi, kus on erinevat tüüpi materjale erinevate paksustega (nende tähiseid on selgitatud alljärgnevalt):

SPC – külmaltsitud madalsüsinikteras $\leq 3,2$ mm (lõigatakse hapnikuga)

SPH – kuumaltsitud madalsüsinikteras $> 3,2 \dots 6$ mm (lõigatakse hapnikuga)

SS400 – madalsüsinikteras paksusega 6 mm või rohkem (lõigatakse hapnikuga)

A-SUS – roostevaba teras (lõigatakse õhuga – Air Cut)

C-SUS – roostevaba teras (lõigatakse lämmastikuga – Clean Cut)

SUS – roostevaba teras (lõigatakse hapnikuga)

SECC – tsingitud teras (lõigatakse hapnikuga)

A1050 – alumiinium puhtusega kuni 99,5% (lõigatakse lämmastiku või õhuga)

A5052 – alumiinium puhtusega kuni 80% (lõigatakse lämmastiku või õhuga)

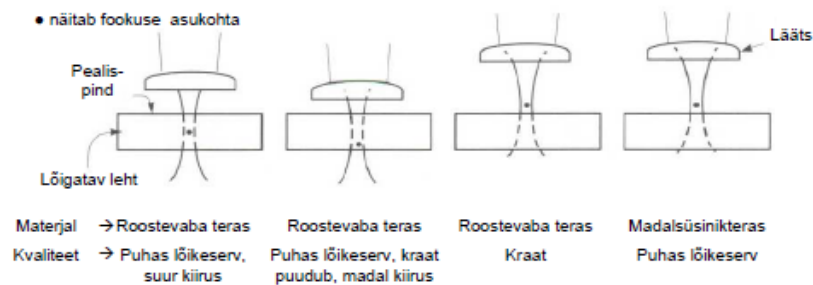
Peale uue seadme paigaldamist on otstarbekas kontrollida materjalide andmebaasi, kuna lõigatava materjali sort võib erineda andmebaasis olevatest materjalidest ja seetõttu on vaja parameetreid kergelt kohandada. Materjalifailid, mis algavad E-tähega (näiteks E-SPC1.5), on mõeldud kasutamiseks ainult koos Easy Cut süsteemiga.

6. Fookuse asukoht

Fookuse asukoht (näidatud või kuum punkt) on koht, kuhu lääts koondab laserkiire. Fookuse asukoht on seatav läätse ja lõigatava lehe vahelise kauguse muutmise kaudu. Fookuse asukoht seatakse keskmise paksusega materjalide puhul nii, et see asuks lehe pealispinnast allpool.

Paksu madalsüsinikterase lõikamisel seatakse fookuse asukoht lehe pealispinnast ülespoole, et saavutada lõikeserva hea kvaliteet. Seadistades roostevaba terase puhul fookuse asukoha materjali pealispinnast allapoole, umbes materjali keskele (nagu näidatud), välditakse kraadi tekkimist, seda eriti suuremate paksuste korral. Üldiselt aitab fookuse positsioneerimine lehe alumise pinna lähedale vähendada kraadi tekkimist nii roostevaba terase kui ka alumiiniumi puhul. Siiski, paksemate lehtede lõikamisel, kui fookuspunkt asub lehe alumise pinna lähedal, on

lehe pealispinnal laserkiirel madal võimsuse tihedus. Selle tagajärjeks on madal lõikekiirus (Joonis 3.88).

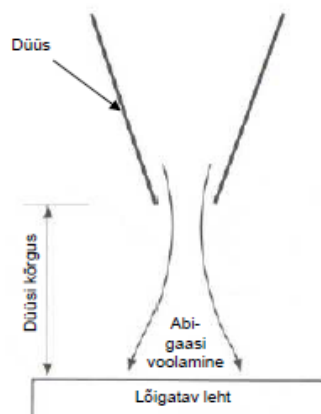


Joonis 3.88 Fookuse positioneerimine

7. Düüsi kõrgus lehest

Lõikesoone ja düüsi otsa vahekaugus (Joonis 3.3889) omab lõppkokkuvõttes otsustavat rolli lõikeserva kvaliteedis. Soovitatav vahekaugus on kuni 90% düüsi läbimõõdust. Kui düüs asub liiga lähedal lõikesoonele, võib düüsi tabada rohkem pritsmeid ja kiirgust, mida tekitavad sulametal ja tagasipeegeldunud laserkiired. Düüsi ja laserpea temperatuuri märkimisväärsel tõusmisel muutuvad soojuspaisumise tõttu laserpea mõõtmed ja laserkiire suund võib muutuda.

Nominaalne düüsi kõrgus ja selle tolerants sõltub materjali tüübist, paksusest, nõuetest serva kvaliteedile, laseri tüübist, düüsi geomeetriast ja abigaasi omadustest. Oksiidivabal lõikamisel või õhuga lõikamisel on vajalik abigaasi kõrge rõhk ja seetõttu peab düüsi kõrgus lehepinnast olema väike (0,5–0,7 mm), et vältida abigaasi rõhu langemist. Tavalise hapnikuga lõikamisel tuleb düüsi kõrguseks lehepinnast määrata 1 mm või rohkem.



Joonis 3.89 Düüsi kõrgus töödeldavast materjalist

8. Lõikekiirus (Feed rate)

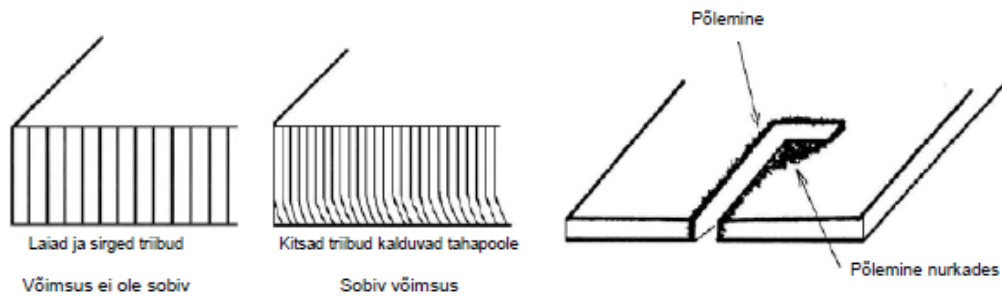
Lõikekiirus on laserpea liikumiskiirus lõikeprotsessi ajal ja selle mõõtühik on mm/min. Lõikekiirus sõltub palju materjali tüübist ja lõigatava lehe pinna seisukorrast, meetoditest, töötajate koolitustasemest ja seadme disainist, eriti laseri resonaatori ja laserkiire edastuskanali disainist. Mis kõige olulisem – lõikekiirus sõltub palju lõikeservale määratud kvaliteedinõuetest. Näiteks sirgeid lõikeid saab lõigata suurema kiirusega. Väikeste avada või detailsete elementide lõikamisel on kiirus madal. Et tagada lõigatava ava ümarus, tuleb järgida põhireeglit – ümarava lõikamisel on maksimaalseks lõikekiiruseks 150-kordne ava läbimõõt. Ava ümarust ei ole võimalik säilitada, kui kasutada suuremat lõikekiirust.

9. Võimsus (Power)

Selle parameetri abil kontrollitakse, kui palju energiat antakse lõikeprotsessi. Kui see on liiga madal, ei tungita materjalist korralikult läbi ja seetõttu ei saa sulanud materjal lõikepiirkonnast korralikult ära voolata ning tekitab keevitamisele sarnase efekti. Kui võimsus on liiga suur, läbib enamik edastatavast energiast lihtsalt materjali, ilma seda olulisel määral mõjutamata. Võimsust on vaja suurendada järgmistel tingimustel:

- kiiruse suurendamisel
- materjali paksuse suurenemisel
- tugevalt peegeldavate materjalide lõikamisel (puhas alumiinium, puhas vask jne)
- suurema fookuspikkusega läätse kasutamisel
- lõigates positiivse/negatiivse fookuspunktiga.

Sobivat võimsust saab hinnata lõikepinna või sädemete abil. Kui võimsus on liiga suur, tekib lõikesoone või nurkade lõikamisel põlemine kergemini. Samuti on lõikeserva triibud karedamad ja ülalt alla sirged. Teisalt, kui võimsus on liiga väike, jääb lõikeserva alumine pool karedaks ja tekivad uurded. See suurendab kraadi tekkimist ja teeb selle eemaldamise raskeks. Liiga madala võimsuse korral suunduvad sädemed lõikamise ajal selgelt lõikesuunale vastupidises suunas. Üldiselt on sobilikul võimsusel mingi vahemik ja optimaalne väärtus kipub olema pigem madalama võimsuse poolel. Soovituslik on säilitada võimsuse esialgne väärtus (Joonis 3.90).



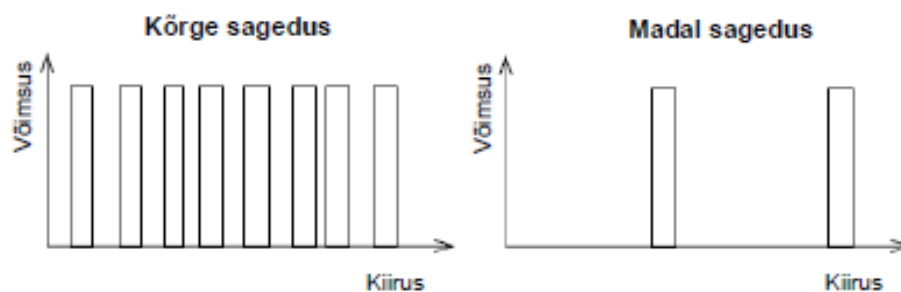
Joonis 3.90 Laserkiire võimsuses olenev lõikepind

10. Sagedus (Frequency)

See parameeter määrab, mitu korda laser pulseerib 1 sekundi jooksul. Sageduse ühik on herts (Hz). Pulseeriva lõikamise kasutamine võimaldab peenekoeliste triipude kujunemist ja seetõttu on saavutatav lõikeserva kvaliteet parem. Samuti tekib lõikepiirkonnas vähem kuumust, mille tõttu on võimalik lõigata detailsemaid kujundeid.

Kasuta pulseerivat lõikamist koos madalama sagedusega juhtudel, kui põlemise tekkimine on tõenäoline ja madalam soojushulk on vajalik, näiteks paksu materjali, väikese ava või nurga lõikamisel. Kõrgem sagedus annab laserkiirele rohkem impulsse ja seetõttu edastatakse lõigatavale materjalile rohkem energiat. Üldiselt kasutatakse kõrget sagedust suure kiirusega lõikamisel ja madalamat sagedust väikese kiiruse korral.

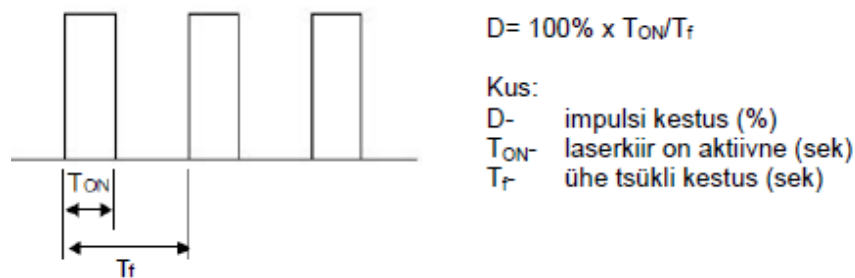
Oluline on märkida, et püsivat võimsust kasutades (impulsi kestus on 100%) ei oma sageduse parameetri väärtus tähtsust. Sellest hoolimata peab sageduse väärtus parameetrite failis olema suurem kui 0 (Joonis 3.91).



Joonis 3.91 Kiire sageduse pulseerimine

11. Impulsi kestus (Duty)

See parameeter kontrollib laserkiire SEES/VÄLJAS suhet **ühe tsükli** jooksul, st kui parameeter on 60%, siis laserkiir on aktiivne 60% tsüklist (alates selle algusest) ja 40% tsüklist on laserkiir välja lülitatud. Seeläbi tekitatakse pulseeriv lõiketingimus, st sees/väljas/sees/väljas/see/väljas jne. Kui impulsi kestuseks on määratud 100%, siis on tegemist püsiva võimsusega lõikamisega ja see tähendab, et laserkiir on aktiivne kogu aeg. Mida väiksem on impulsi kestus, seda lühem on ajaliselt laserkiirguse mõju ning materjalile edastatav soojushulk on väiksem (Joonis 3.92).

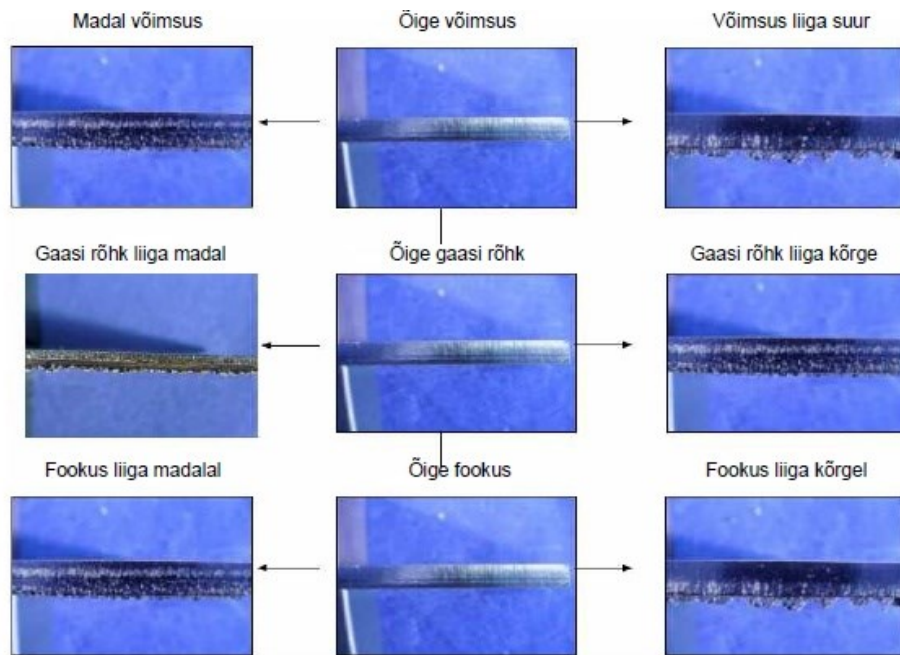


Joonis 3.92 Laserkiire impulsi kestus

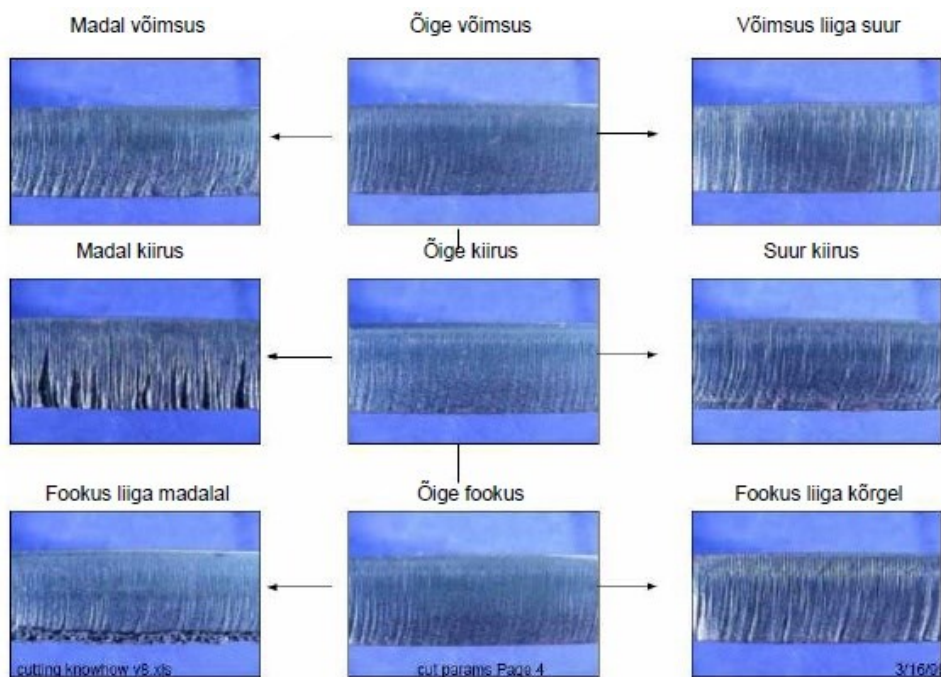
12. Gaasi rõhk

Sageli on vaja kontrollida nii reductori kui ka laserpea manomeetri näitu. Kui üks gaasi rõhkudest on liiga madal või kõrge, võib see olulisel määral mõjutada lõikekvaliteeti. Ekso-termilise abigaasi (hapnik) puhul võib liiga kõrge rõhk tekitada põlemist eelkõige keerukate detailide puhul, samuti nurkades.

Kui aga rõhk on liiga madal, ei saa sulametalli korralikult lõiketsoonist eemaldada ja selle tulemuseks on ebapiisav lõige ja juhuslik põlemine. Kui endotermilise gaasi (lämmastik ja suruõhk) rõhk on liiga madal, siis see ei ole piisav, et jahutada materjali (konvektsiooni teel) ja eemaldada sulanud materjal. Liiga kõrge rõhu korral jäävad servad karedamad, kuna lõiketsoonis tekivad gaasidünaamikas turbulentsid (Joonis 3.93 ja Joonis 3.94).



Joonis 3.93 . Parameetrite mõju õhukeste materjalide lõikamisel



Joonis 3.94 Parameetrite mõju paksude materjalide lõikamise

3.3.12 Ettevaatusabinõud lõikamisel

- Lähtuvalt peeglite või läätse seisukorrast peab lõike- ja läbistustingimused täpselt paika seadistama. Läbiva lõike saavutamiseks vähenda lõikekiirust või pikenda impulsi kestust.

Kui ava ei tungi läbistamisel läbi töölehe, siis pikenda läbistusaega või suurenda impulsi kestust.

- Ümarava maksimaalne löikekiirus on kuni 150 korda suurem lõigatava ava läbimõõdust. Ava lõikamisel suuremate löikekiirustega halveneb saavutatav ümarus.
- Kui kasutate eelregistreeritud töötlusparameetrite faili ava lõikamisel, kasuta ava läbimõõdu suurenemisel väiksema numbriga lõiketingimust.
- Lõigatava ava minimaalne läbimõõt on võrdne töödeldava lehe paksusega.
- Sõltuvalt materjalist või selle pinna seisukorrast (rooste, õli või tahm töölehe pinnal) võib lõiketulemus olla ebarahuldav.
- Vinüülkattega kaitstud (eriti polüvinüülkloriidiga kaetud) lehtede lõikamisel eralduvad gaasid korrodeerivad masinat. Kaitse masinat korrosioonitõrjega.
- Juhul kui lõigatava lehe pealispind on kaetud vinüülkattega, võib see abigaasi mõjul materjali küljest lahti tulla ja takistada lehe lõikamist.
- Juhul kui lõigata alumiiniumlehte, saab vähendada lõikesoone alumisse serva tekkivat jäätmete hulka, kui vinüülkattega lehepind asetseb allpool.
- Enne roostevaba terase hapnikuga lõikamist kanna lehe pinnale jäätmete külgejäämist vähendavat inhibiitorit, et hõlbustada hilisemat jäätmete eemaldamist lõikesoone alumisest servast.
- Võimalik on nägemise kaotus, kui silma satub materjali lõikav või sellelt peegeldunud, nähtamatu CO₂ laserkiir. Masina opereerimisel kanna CO₂ laserkiire eest kaitsvaid kaitseprille.
- Laserpinki opereerides kanna riideid, mis ei ole tehtud keemilisest kiust, vaid mittesüttivast materjalist ja katavad maksimaalselt keha.
- Põlevate materjalide nagu akrüül ja vineer lõikamisel tühjenda jäätmekasti sagedamini. Jäätmekasti kogunenud kergestisüttiv materjal võib põhjustada põlengu või plahvatada.
- Paigalda väljalasketorustik või rakenda muid vajalikke meetmeid, et tagada vajalik ventilatsioon lõikeprotsessi käigus. Osa materjale (nt polüvinüülkloriid) tekitavad nende lõikamisel kahjulikke aurusid ja võivad põhjustada mürgitusi.
- Ära aseta masina sisse ega ümbrusse süttivaid materjale (nt õli, määrdeained, atsetoon, plastik, kalts, puit või paber).
- Kui alumiiniumitolm seguneb terasetolmuga, võib tekkida piisavalt kõrge temperatuur, et põhjustada plahvatust. Enne ja peale alumiiniumi lõikamist eemalda laserpingi ja tolmukoguja jäätmekastidesse kogunenud tolm.

- Kogunenud tolmu võib põhjustada põlengu või plahvatuse. Tühjenda iga päev laserpingi ja tolmu koguja jäätmekastid kogunenud tolmust.
- Lääts ja laserresonaatori peeglid sisaldavad tsinkseleniidi (ZnSe) ühendeid. Ära puuduta toksilistest komponentidest valmistatud laserlääts ja resonatori peeglite pinda ega hingata sisse toksiliste materjalide põlemisel tekkivaid auruksid.
- Laserseadmetega töötavatel operaatritel tuleb perioodiliselt kontrollida silma sarvkesta, läätsi, silmapõhja ja nägemist.

3.3.13 Seadme opereerimine

- Laserpink peab opereerima üks kogunenud operaat. Kui sa paigaldad või eemaldad töölehte ühe või mitme lisaoperaatori abil, siis kooskõlastage oma tegevused ja jälgige samal ajal üksteist.
- Keela kõrvalistel isikutel laseri piirkonda sisenemine, piirkonna sisse- ja väljapääsu juurde paigalda automaatsed lukud või muud abivahendid.
- Kui sa avad resonatori katepaneeli ja puudutad sisselülitatud elektritoitega seadmeid või kõrgepinge all olevaid osasid kohe peale nende toite väljalülitamist, võid saada surmava elektrilöögi. Isegi kui elektritoide on välja lülitatud, võivad mõned osad, näiteks kondensaatorid, säilitada elektrilaengu.
- Anna lülitite võtmed laseri turvalisuse eest vastutava isiku järelevalve alla.

3.3.14 Töötamine ohupiirkonnas

- Veendu, et masin on seiskunud.
- Seadme töötamise ajal ära sisene laserpingi tööpiirkonda ja töölehe liikumistsooni.
- Enne sisenemist laserpingi tööpiirkonda näiteks töölehe, detailide või jäätmete eemaldamiseks, vajuta STOP nuppu ja pööra võtmega SHUTTER lüliti OFF asendisse.
- Eemalda võtmed lülititest ja hoiu neid enda käes, et vältida seadme ekslikku käivitamist.
- Kunagi ära pane oma käsi laserpea alla, kuna on äärmiselt ohtlik, kui ootamatult väljub CO₂ laserkiir.

3.3.15 Operaatori ohutus

- Automaatne elektriote väljalülitamine – CNC ja laseri resonator lülitatakse ülevoolu korral automaatselt välja.
- Blokeerimisfunktsioonid – masinat ei saa käivitada, ilma et töölaua kuulid oleks viidud alumisse asendisse, jäätmekast ja turvauksed on suletud.
- Juhul kui EMERGENCY STOP või STOP nupp on sisse lülitatud, ei saa käivitada masina automaatset tööprotsessi. EMERGENCY STOP või STOP nupu vajutamisel masina automaatse tööprotsessi ajal seiskub masin kohe.

3.3.16 Masina ohutus

- Laserpea kaitse – laserpea põrkumisel lõigatava töölehe või mõne muu objektiga annavad laserpea kinnitused järele ja masin peatatakse.
- Hoidekäpa kaitse – laserpea ja hoidekäpa kokkupõrkumise ohu tekkimise korral masin peatatakse.
- Servosüsteemi kaitse – masin peatatakse servosüsteemi ülekoormuse või muu kõrvalkalde korral.
- Üleliikumise avastamine – masin peatub, kui laserpea liigub ettenähtud piirkonnast välja.
- Madala õhusurve avastamine – masin peatub, kui suruõhu tööõhk langeb alla nõutud taseme (tavaliselt 6 baari).
- Madala lasergaasirõhu avastamine – masin peatub, kui lasergaasi rõhk langeb alla nõutud taseme.
- Madala abigaasi rõhu avastamine – masin peatub, kui abigaasi rõhk langeb alla nõutud taseme.
- Jahutusvee vähenenud vooluhulga avastamine – masin peatub, kui jahutusvee vooluhulk langeb alla nõutud taseme.
- Programmi eelkontroll – programmi koostamise vigu ja üleliikumisi saab kontrollida ilma masinat käivitamata enne reaalse lõikeprotsessi alustamist. (See funktsioon on sisse- või väljalülitatav PROGRAM CHECK lüliti abil CNC juhtpaneelilt.)

Kontrollküsimused:

1. Miks on laserlõikeprotsessis vaja kasutada abigaasi?

2. Kirjelda lühidalt laseri resonaatori tööpõhimõtet.
3. Nimeta laseri kolm võimsusrežiimi. Kirjelda iga režiimi rakendusala.
4. Nimeta valguse polarisatsiooni kaks tüüpi. Kuidas peab olema polariseeritud laserkiir? Miks?
5. Miks kasutatakse laserpinkidel tolmu kogujat? Millised probleemid võivad tekkida ebapiisava ventilatsiooni korral?
6. Milliste materjalide lõikamisel kasutatakse abigaasina hapnikku, lämmastikku, suruõhku?
7. Arvuta lämmastikukulu tunnis (m^3/h) 2 mm paksuse roostevaba terase lõikamisel, kui abigaasi rõhk on 8 baari ja kasutatava düüsi läbimõõt on 2 mm.
8. Arvuta hapnikukulu tunnis (m^3/h) 2 mm paksuse madalsüsinikterase lõikamisel, kui abigaasi rõhk on 2 baari ja kasutatava düüsi läbimõõt on 2 mm.
9. Millele tuleb pöörata tähelepanu läätse seisukorra hindamisel?
10. Millele tuleb pöörata tähelepanu düüsi seisukorra hindamisel?
11. Miks on vajalik düüsi tsentreerimine? Millised on tagajärjed, kui düüs ei ole korralikult tsentreeritud?

3.4 Painutamine painutuspressidel

1. Kui sa ei oska veel painutada metall-lehe riba, siis õpi see ära, sul läheb seda elus vaja.
2. Kas sa ei arva, et painutamisel õigete tulemuste saamine on teadmiste ja loominguilise mõtlemise koostöö?
3. Kui sul painutamisel materjal praguneb, siis mille suhtes sa eksisid?

3.4.1 Painutamise alused

Lehtmetalli painutamisel surutakse materjal templi abil matriitsi, et saavutada soovitud painutusnurk. Painutusnurga määrab templi matriitsi tungimise sügavus. Standardsete painutusoperatsioonide puhul kasutatakse üldjuhul V-kujulise soonega matriitse. Nende ebatäpsus võib teha hea tulemuse saamise väga aeganõudvaks (kaasneb suur praagi hulk) või koguni võimatuks.

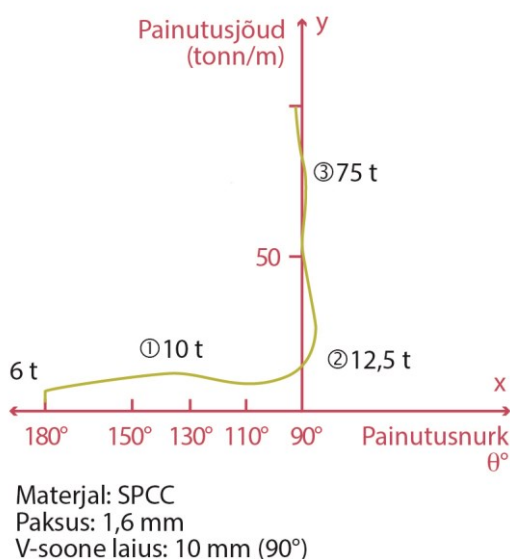
Painutamise teoreetiliste aluste tundmine on väga oluline, et arvestada nii tehnoloogilisi võimalusi kui ka piiranguid juba toote kavandamisel. Spetsiaalsete rakenduste jaoks on kasutusel raadiusmatriitsid, U-matriitsid, serva voltimismatriitsid (hemming) jne. Esmapilgul võib painutamine tunduda lihtsa protsessina, kuid tegelikult mõjutavad mitmed faktorid täpse tulemuse saavutamist. Rolli mängivad tööriistade mõõtmete valik, kasutatava painutuspingi tüüp, painutamise liik, materjali tüüp ja kvaliteet.

Painutuspingi ehituse ja kasutatavate tööriistade ning tehnoloogiate tundmine vähendab toodete tootmisse juurutamise aega ning võimaldab kasutada tootmises olemasolevaid tehnilisi vahendeid efektiivselt. Kuna operaatorid koostavad painutuspingil tihti programme ise või vähemalt viivad läbi korrektsioone lähtuvalt esimese detaili mõõtetulemustest, siis on heade baasteadmiste omandamine hädavajalik.

3.4.2 Seos painutusnurga ja vajaliku painutusjõu vahel

Kui siledat lehte muljuda painutuspinkil paigaldatud matriitsi ja templi abil, siis see hakkab painduma sõltuvalt rakendatava jõu suurusest. Painutusprotsessi jõu ja sellele vastavate paindenurkade põhjal saab koostada graafiku.

Tekkiva kõvera kuju, mida nimetatakse ka S-kõveraks tema sarnasuse tõttu S-tähega, varieerub erinevat tüüpi materjalide puhul olulisel määral. Joonisel 3.95 on näidatud külmavaltsitud madalsüsinikterase (SPCC) painutuskõver. Y-teljele on kantud 1 m pikkuse detaili painutamiseks vajalik jõud ja X-teljele on kantud jõule vastav painutusnurk θ . **Painutusnurk θ** tähistab nurka, mis saavutatakse peale jõu eemaldamist.



Joonis 3.95 Painutusprotsessis S-kõver

Matriitsi ja templi vahele paigutatud leht ei hakka kohe peale jõu rakendumist painduma, painutusjõud peab saavutama enne mingi kindla taseme. Joonisel 3.95 on näha painutusjõu järsk tõus (kõvera vertikaalne osa). Leht hakkab kergelt painduma umbes 6-tonnise koormuse juures, kuid jõu eemaldamisel paine kaob. Seda põhjustab materjali elastsus.

Elastsus on materjali omadus taastada peale jõu lakkamist endised mõõtmed. Painutusprotsessi alguses jõud veidi kasvab ja saavutab maksimaalse väärtuse (10 tonni), kui on saavutatud 130-kraadine painutusnurk. Kui jätkata painutamist, siis hakkab painutusjõud veidi vähenema.

Nagu graafikult näha, põhjustavad painutusjõu väikesed muutused selles piirkonnas järske muudatusi painutusnurgas (piirkond on tähistatud graafikul numbriga 1). Vajalik painutusjõud hakkab uuesti kasvama, kui painutusnurk väheneb alla 10 kraadi. 90-kraadise painutuse saavutamiseks vajalik jõud on umbes 12,5 tonni, mis on 25% suurem kui 130-kraadise painutuse puhul.

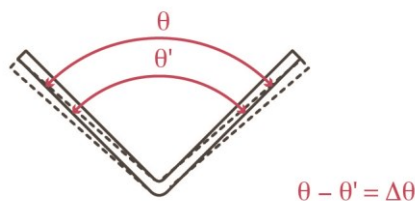
Jõudu, mis painutab lehe 90-kraadise nurga alla, nimetatakse materjali vajalikuks tonnažiks. Kui jätkata materjali painutamist, siis väheneb nurk 3...4 kraadi võrra alla 90 kraadi ehk saavutatakse teravnurk. See on näidatud graafikul piirkonnana 2.

Painutusjõu edasisel suurenemisel muutub teravnurk uuesti 90-kraadiseks nurgaks. Selle saavutamiseks vajalik jõud on orienteeruvalt 75 tonni, mis on ligi 6 korda suurem vajalikust tonnažist. Joonisel 3.95 nähtav kõvera järsk kerkimine piki Y-telge 90-kraadise nurga ümbruses iseloomustab painutusjõu kiiret kasvu.

Piirkonda, kus painutusnurga muutus on hoolimata jõu kasvust väike, tähistatakse graafikul numbriga 3. Piirkondades 1, 2 ja 3 toimuvaid sündmusi nimetatakse vastavalt osaliseks painutuseks, põhjapainutuseks ja verimiseks. Need painutusprotsessid ongi kolm painutamise liiki. Osalist painutust ja põhjapainutust kutsutakse koondavalt õhkpainutuseks.

3.4.3 Painutusnurga tagasivetrumine

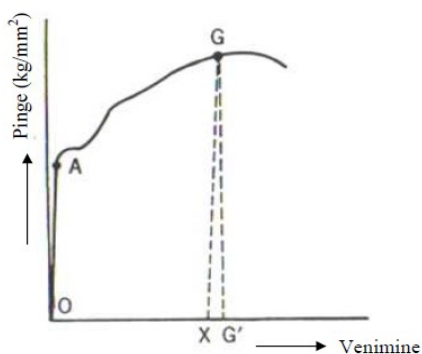
Järgnevalt käsitleme tagasivetrumist. Joonis 3.96 on iseloomustatud V-painutusel toimuvat tagasivetrumist, mille võrra nürinurk, täisnurk või teravnurk muutub peale jõu eemaldamist. Joonisel näitab pidevjoon nurka (θ'), mis saavutatakse painutusprotsessi käigus, ja kriipsjoon näitab nurka (θ), mille toode omandab peale jõu eemaldamist.



Joonis 3.96 Painutuse tagasivetrumine

Järgnevalt on käsitletud tagasivetrumise olemust kahest vaatepunktist. Ühel juhul selgitatakse tagasivetrumist pinge venimise diagrammi alusel ja teisel juhul käsitletakse molekulide ümberpaiknemist detaili sees.

Joonis 3.97 esitatud pingediagrammil on näidatud, kuidas punktis G välimise jõu vähendamisel väikese väärtuse võrra väheneb deformatsioon järsult. Vähenemine toimub paralleelselt joonega OA (see on elastsuspiirkond – venimine on proportsionaalne pingega). Kui detaililt jõud eemaldada, siis detaili deformatsiooni näitab punkt X. See osutab, et ka plastses piirkonnas omab materjal elastsust. Graafikul näitab lõik G'X väärtust, mille võrra detaili mõõtmed muutuvad peale jõu eemaldamist, lõik OX näitab jäävdeformatsiooni.



Joonis 3.97 Pingediagramm

Ülaltoodud arutelu järelendus on see, et materjali elastsus ei ole kõrvaldatud isegi siis, kui pinged materjalis ületavad voolavuspiiri. See asjaolu on tagasivetrumise põhjuseks.

Joonis 3.98 on suurendatud illustratsioon molekulide ümberpaiknemisest siledas lehes, kui see on painutatud nürinurga või 90 kraadi alla.

Kui lehtmaterjal on väändunud siis sisepind on kokku surutud ja muud pinnad on välja venitatud.



Joonis 3.98 Materjali struktuuri kokkusurumine ja venimine paindekohas

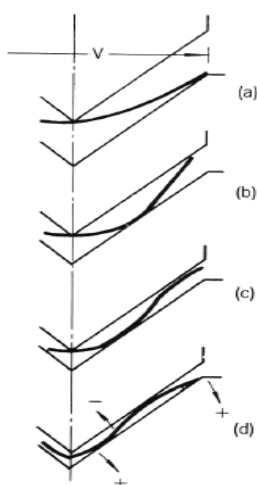
Detaili sisemine külg surutakse kokku ja väliskülge venitatakse. Sise- ja väliskülje keskel asub tasapind, mida ei suruta kokku ega venitata pikemaks. Seda kutsutakse neutraaltasapinnaks või neutraaljooneks. Detaili painutamisel tekivad vastassuunalised koormused, mis asuvad teine teisel pool neutraaljoont.

Üldjuhul on materjali survetugevus oluliselt suurem kui tõmbetugevus. Painutusjõud tekitab jäävdeformatsiooni detaili välisküljes, aga sisekülje jaoks ei tekita sama jõud voolamispiiri ületavaid pingeid. Seetõttu üritab sisemine külg taastada oma endist kuju. See põhjustabki tagasivetrumist.

3.4.4 Positiivne ja negatiivne tagasivetrumine

Toote joonisel ettenähtud nurga väärtust nimetatakse tavaliselt painutusnurgaks. See ei ole täiesti korrektne, õigem oleks seda nimetada painutatud nurgaks, kuna painutamise käigus saavutatakse üks nurk ja jõu eemaldamisel tekkiv nurk on sellest erinev. Kui θ tähistab peale painutusoperatsiooni läbiviimist saavutatud nurka ja θ' tähistab nurka painutusprotsessi ajal, siis $\theta - \theta' = \Delta\theta$. Delta θ tähistab tagasivetrumise väikest nurgamuutust.

Joonisel 3.99 on näidatud, et painutatud nurk on painutuspiirkonnas 3...4 kraadi väiksem kui 90 kraadi. Selle fenomeni nimetus on negatiivne tagasivetrumine ehk valemist $\theta - \theta' = \Delta\theta$ leitud $\Delta\theta$ väärtus on negatiivne. Vaatame tingimusi, mis tekitab negatiivse tagasivetrumise V- painutuse korral (Joonis 3.99). V-painutamise ajal läbib matriitsi ja templi vahele surutav leht painutusjõu mõjul seisundid (a) kuni (b) ja seejärel (c).



Joonis 3.99 Kontaktpunktide tekkimine painutamisel

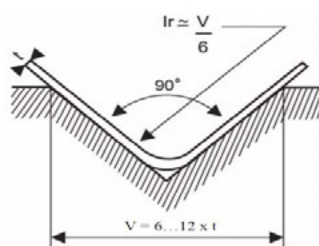
Protsessi ajal tekib nii negatiivseid kui ka positiivseid tagasivetrumisi. Tagasivetrumine sõltub rakendatavast jõust ja teatud hetkel tekib olukord, kus painutusnurk on väiksem kui 90° (kuigi nii tempel kui ka matriits on 90 kraadi).

3.4.5 Õhkpainutus ja vermimine

Sõltuvalt painutamise olemusest jaotatakse see kahte kategooriasse: õhkpainutus ja vermimine. Õhkpainutuse korral jääb detaili ja matriitsi soone vahele õhuvahe. Nagu eelnevalt märgitud, kuuluvad osaline painutus ja põhjapainutus sellesse kategooriasse. Neid kahte meetodit kirjeldatakse hiljem detailsemalt.

3.4.6 Põhjapainutus

Põhjapainutus (Joonis 3.100), mis on üks õhkpainutuse tüüpidest, on enimkasutatav, sest see võimaldab suhteliselt madala tonnaažiga teha täpseid painutusi.



Joonis 3.100 Põhjapainutus: t – materjali paksus, V – soone laius, r – painutuse siseraadius

Sobiv matriitsi V-soone laius sõltub painutatava materjali paksusest. Tabel 3.8 näitab V-soone laiuse ja materjali paksuse vahelist suhet põhjapainutuse korral. Tabelist 3.9 on näha, et materjali paksuse kasvamisel on vaja kasutada suurema V-soone laiusega matriitse. Peab teadma, et sobiva matriitsi valimisel tuleb arvestada ka painutatava serva laiust ja painutuse siseraadiust. Matriitsi valiku aluseid on kirjeldatud hilisemates peatükkides.

Tabel 3.9 V-soone laiuse ja materjali paksuse vaheline seos

Materjali paksus	0.5-2.6 mm	3.0 - 8 mm	9-10 mm	12 mm või enam
V-soone laius	6t	8t	10t	12t

Eksperimentaalselt on välja selgitatud, et põhjapainutusel kujuneb painde sisemine raadius umbes $1/6$ V-soone laiusest, st $ir = V/6$. Näiteks kui kasutatava V-soone laius on kuuekordne materjali paksus, siis on painde siseraadiuseks materjali paksus ($ir = t$). Kui $V = 12t$, siis $ir = 2t$.

Nendest näidetest võib järeldada, et painde siseraadius varieerub vahemikus $1t$ kuni $2t$. Painde siseraadiust, mis on võrdne materjali paksusega, kutsutakse **standardseks siseraadiuseks**. Enamik paindeid tehakse **standardse siseraadiusega ir** . Põhjapainutuse nurgatäpsust mõjutab **tagasivetrumine**. Enimlevinud vastumeede antud probleemi vältimiseks on ülepainde tegemine, mille väärtus on võrdne tagasivetrumise suurusega.

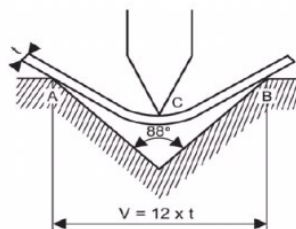
See on põhjuseks, miks 90-kraadiste painutuste tegemiseks ettenähtud matriitsid on saadaval 90° , 88° , 85° ja 80° V-soone nurkadega. 90-kraadise nurgaga matriitsidel ei ole varu tagasivetrumise jaoks. 90° nurgad on saavutatavad, kui rakendatakse painutusjõudu, mille puhul negatiivsete ja positiivsete tagasivetrumiste suhe annab soovitud tulemuse.

Põhjapainutusel kasutatava templi tipunurk ja V-soone nurk peavad olema sama väärtusega. See on peamine eeltingimus, et jõuda soovitud täpsusega painutustulemuseni.

3.4.7 Osaline painutus

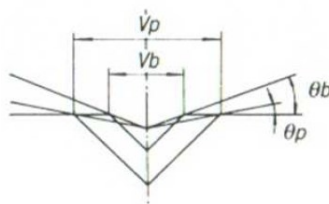
Nimetus osaline painutus tuleneb sellest, et detail puudutab tööriistasid osaliselt. Kontaktpunkte on kolm (punktid A, B ja C, mis on näidatud joonisel 3.101). Osaline painutamine on tüüpiline õhkpainutus, mida iseloomustab saavutatavate painutusnurkade suur vahemik. Näiteks kasutades templit ja matriitsi nurgaga 30 kraadi, on võimalik saavutada nurkasid vahemikus 30–180 kraadi.

Osalist painutamist on mugav kasutada ja seetõttu on see põhjapainutuse kõrval laialdaselt kasutusel. Osalise painutamise põhjal peab matriitsi V-soone laiuseks olema 12–15 kordne materjali paksus, et saavutada vajalik täpsus.



Joonis 3.101 Osaline painutus

Joonis 3.101 on näidatud lehtmaterjali osalise painutamise olemus. Painutustäpsuse all mõeldakse variatsioone painutusnurgas, mis on teoreetiliselt seotud templi matriitsi tungimise sügavusega.



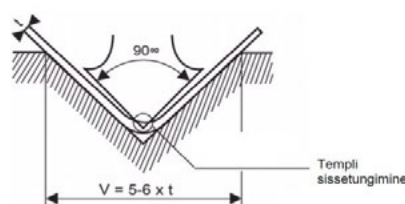
Joonis 3.102 V-soonte laiused põhi- ja osalisel painutusel

Joonisel 3.102 tähistab põhjapainutusel kasutatava V-soone laiust V_b ja osalisel painutamisel kasutatava V-soone laiust V_p ; V_p on ligi kaks korda suurem kui V_b . Kui templi matriitsi tungimise sügavus on mõlemal juhul sama, siis painutusnurk θ_p on väike, võrreldes nurgaga θ_b . See tähendab, et painutusnurga variatsioon on V_p puhul väiksem võrreldes V_b -ga.

Kasutades osalise painutamise puhul põhjapainutusel kasutatavast matriitsist laiema V-soonega matriitsi, on võimalik saavutada piisavalt hea täpsus. Siiski jääb ka laiema matriitsi kasutamisel osalise painutamise täpsus alla põhjapainutusel saavutatavale. Seetõttu on soovitatav kasutada põhjapainutust, kui suur täpsus on oluline.

3.4.8 Vermimine

Võib tunduda imelik, et painutusmeetodit kutsutakse vermimiseks. Vermimise mõiste tuleneb müntide valmistamisest. Hoolimata suurte seeriade tootmisest, ei tohi müntide mõõtmetes olla erinevusi. Seetõttu rakendatakse antud nimetust ka selle painutusmeetodi puhul, kuna ta võimaldab saavutada täpseid paindeid (Joonis 3.103). Vermimisel on kaks suurt eelist: (1) väga kõrge painutustäpsus ja (2) võimalus vähendada sisemise raadiuse suurus nii väikeseks, kui materjali omadused võimaldavad. Joonis 3.103 näitab detaili ja tööriistade asendit vermimise viimases faasis, kus on näha, et templi tipp on tunginud materjali sisse.



Joonis 3.103 Vermimine

Templi tungimine materjali ning templi ja matriitsi V-soone poolt avaldatav suur surve elimineerib tagasivetrumise. See on põhjus, miks vermimine vajab 5 kuni 8 korda suuremat painutusjõudu. V-soone laius on vermimise kasutamisel väiksem kui põhjapainutuse korral, eelistatavalt 5-kordne materjali paksus.

Üheks eesmärgiks on vähendada painutuse sisemist raadiust, mis omakorda vähendab templi materjali tungimise sügavust. Väiksema matriitsi V-soone kontaktpind on väiksem ja seetõttu on painutamisel tekkivad kontaktkoormused suuremad, kuna painutusjõud jaotub väiksemale pindalale. Suurem pinnaühikule mõjuv surve aitab efektiivsemalt elimineerida tagasivetrumist. Oluline on jätta meelde, et suur V-soone laius avaldab vermimisprotsessile takistavat mõju.

Vermimisel peab templi ja matriitsi nurk olema võrdne soovitava painutusnurgaga. Näiteks 90-kraadise painde tegemiseks tuleb kasutada 90-kraadist templit ja matriitsi. Tagasivetrumist ei ole vaja arvestada. Nagu varem mainitud, on vermimise puhul vaja suurt painutusjõudu. Vermitava materjali maksimaalne paksus sõltub painutuspressi tonnaazist ja seda limiteerib ka maksimaalne lubatav jõud, mida ülatala suudab taluda.

Vermides 1,6 mm paksust külmaltsitud madalsüsinikterast, on vajalik jõud meetri kohta 75 tonni ja 2 mm külmaltsitud madalsüsinikterase puhul orienteeruvalt 115 tonni meetri kohta. Seega on painutatava materjali maksimaalne paksus kuni 2 mm, kuna enamikel painutajatel on ülatalale lubatav koormus 100 tonni meetri kohta.

3.4.9 Erinevate painutusmeetodite valiku alused

Painutusmeetodid ja neid iseloomustavad parameetrid on esitatud tabelis 3.10.

Tabel 3.10 Painutusmeetodite kasutamisetstarbekus

Painutamise meetod	V-soone laius	ir	Painutatud nurga täpsus	Pinna täpsus	Kommentaariid
Osaline painutamine	12t-15t	2t-2,5t	$\pm 45^\circ$	Tekib suur painutusraadius	Painutusnurkade vahemik on vabalt valitav.
Põhjapainutus	6t-12t	1t-2t	$\pm 30^\circ$	Hea	Hea täpsus on saavutatav suhteliselt väikese tonnaaziga.
Vermimine	5t	0,5t-0,8t	$\pm 15^\circ$	Hea	Väga suur täpsus. Vajalik tonnaaz on võrreldes põhjapainutusega 5 kuni 8 korda suurem.

Painutusmeetodi valikul tuleb arvestada toote rakendusala ja sellele esitatavate funktsionaalsete nõudmistega. NC painutuspresside kasutamisel võimaldavad teravnurksed tööriistad teha osalise painutamise abil nii nürinurkseid kui ka teravnurkseid paindeid. Kui toode ei nõua suurt täpsust, siis on tegu universaalse ja odava meetodiga. Nõuded täpsusele on teatud toodete puhul järjest kasvanud. Seetõttu on kohati vaja täpsust, mida võimaldab ainult vermine. Vermimise kasutamine saavutab tulevikus ilmselt oluliselt suurema kandepinna.

Nagu varem märgitud, on põhjapainutus enimkasutatud meetod, kuna sellega on saavutatavad suhteliselt suured täpsused. Samuti on põhjapainutus säästlik tootmisviis ja omab seetõttu olulist rolli ilmselt ka tulevikus. Põhjapainutuse oluline probleem on tagasivetrumine. Samas on tagasivetrumise kohta palju infot, mida on edukalt kasutatud tööriistade konstrueerimisel. Tagasivetrumise vastu kasutatavad abinõud on tänapäeval piisavalt efektiivsed, et põhjapainutust kasutada lihtsalt ja probleemideta.

3.4.10 Painutustabeli kasutamine

Painutustabeli andmete kasutamine on oluline painutusoperatsioonide tegemisel. Tabel on leitav painutuspingi nimeplaadilt, tootja kataloogist või kasutusjuhendist. See peatükk selgitab painutustabeli kasutamist enamike juhtude puhul. Operaator peab tabelit täielikult mõistma, et töötada efektiivselt ja kasutada maksimaalselt seadme tehnilisi võimalusi.

Vaata tabelis 3.11 näidatud õhkpainutuse tegemiseks vajalikke andmeid. Kõige vasakpoolsemas veerus on näidatud materjali paksus (t). Kolm rida tabeli ülaosas sisaldavad V-soone laiust (V), minimaalset painutatava serva laiust (b) ja painutuse siseraadiust (ir). Tabeli keskosas asuvad numbrid näitavat meetri kohta vajaminevat painutusjõudu.

Kokkuvõtlikult. Tabelist 3.10 on leitavad järgmised andmed: 1. painutamisel kasutatava matriitsi V-soone laius; 2. painutatava serva minimaalne laius; 3. vajalik painutusjõud meetripikkuse detaili painutamiseks; 4. painutamisel tekkiva siseraadiuse väärtus.

Joonis 3.104 Painutustabeli tähistused: t – materjali paksus, F – rakendatav jõud, v – nurkmatriitsi laius, b – painutushaara pikkus, r – painderaadius

Järgnevalt on toodud arvutusnäide: Kui suurt painutusjõudu on vaja 1,5 mm paksuse ja 4 m pikkuse roostevabast terasest (tõmbetugevus 600 N/mm²) detaili painutamiseks?

Lahendus: Sobiv V-soone laius on $V = 6 \times 1.5 \rightarrow 10$ ($6 \times 1.5 = 9$, kuid järgmise suurusega standardtööriist on $V = 10$ mm). Materjali paksuse ja V-soone laiuse põhjal saab leida madalsüsinikterase painutamiseks vajaliku jõu, milleks on 15 tonni. Kuna roostevaba teras on tugevam, siis on seda arvestatud järgmises arvutisvalemis: $F = 15 \times 60/45 \times 4 = 80$ tonni.

3.4.11 Painutatava serva minimaalne laius

V-soone laius on leitav materjali paksuse põhjal. Lähtuvalt valitud V-soone laiusest saab leida painutatava serva minimaalse laiuse. Järgnevalt vaatame, miks serva laiusel on minimaalne väärtus. Kogu painutusoperatsiooni vältel peab materjal olema kindlalt toetatud V-matriitsi servade poolt. Kui toestamine ei ole tagatud, siis võib detail libiseda matriitsi servalt maha ja täpne painustulemus ei ole garanteeritud, samuti muutub painutusprotsess ohtlikuks. Minimaalse serva nõuet tuleb järgida, et tagada piisav täpsus ja ohutus. Serva minimaalne laius on arvutatav valemiga:

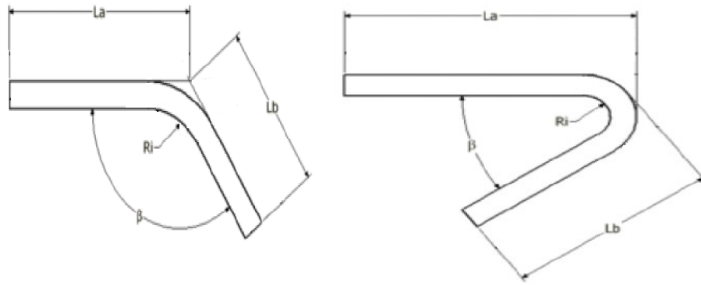
$$b = \sqrt{2} \times V/2$$

b – serva minimaalne laius

V – matriitsi V-soone laius

3.4.12 Pinnalaotuse arvutamine lõpptoote joonise põhjal

Allolevatel joonistel on antud painutatava detaili serva mõõtmed lähtuvalt nurga suurusest (nürinurk, täisnurk või teravnurk) kas nurga puutujalt või nurgapikenduste ristumispunktist (Joonis 3.105 Painutatava detaili pinnalaotus).



Joonis 3.105 Painutatava detaili pinnalaotus

Painutamiseks võetava tooriku pikkus leitakse valemiga $L = La + Lb - \Delta L$. Suurust ΔL nimetatakse painutuse mahaarvamiseks (bend deduction). Mahaarvamise väärtus on leitav vastavatest tabelitest või painutuskalkulaatoriga (Joonis 3.106 Painutuskalkulaator), kui meil on teada materjali paksus ja kasutatava V-soone laius. Tabelis on toodud 15 mm paksuse madalsüsinikterase L väärtused. Tabelis näidatud 00 paine tähistab serva tagasivoltimist (hemming). Kui tootes on mitu painet, siis tuleb mahaarvamine teha iga painde kohta.

Oluline on märkida, et tabelites antud väärtused ei ole absoluutselt täpsed, kuna erinevad materjalid käituvad paratamatult veidi erinevalt. Sellest hoolimata on need heaks baasiks arvutuste tegemisel. Kui tootmises on mingi materjal väga laialdaselt kasutusel, siis saab mahaarvamiste tabeli koostada proovipainutuste abil ka ise.

AMADA

T 6 mm

BENDING ALLOWANCES
 $T = 6 \text{ mm}$
 $V = 50 \text{ mm}$

Add straight portions plus corresponding ΔL bending allowances (plus or minus).

$D = 60 - 4.8 + 120 - 12 + 180 - 1.8 + 150 + 3.8 + 60 = 551,5$

ΔL	165°	150°	135°	120°	105°	90°	75°	60°	45°	30°	15°	0°
165°	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1
150°	-2,2	-2,2	-2,2	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1
135°	-3,3	-3,3	-3,3	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2
120°	-4,4	-4,4	-4,4	-4,3	-4,3	-4,3	-4,3	-4,3	-4,3	-4,3	-4,3	-4,3
105°	-5,5	-5,5	-5,5	-5,4	-5,4	-5,4	-5,4	-5,4	-5,4	-5,4	-5,4	-5,4
90°	-6,6	-6,6	-6,6	-6,5	-6,5	-6,5	-6,5	-6,5	-6,5	-6,5	-6,5	-6,5
75°	-7,7	-7,7	-7,7	-7,6	-7,6	-7,6	-7,6	-7,6	-7,6	-7,6	-7,6	-7,6
60°	-8,8	-8,8	-8,8	-8,7	-8,7	-8,7	-8,7	-8,7	-8,7	-8,7	-8,7	-8,7
45°	-9,9	-9,9	-9,9	-9,8	-9,8	-9,8	-9,8	-9,8	-9,8	-9,8	-9,8	-9,8
30°	-11,0	-11,0	-11,0	-10,9	-10,9	-10,9	-10,9	-10,9	-10,9	-10,9	-10,9	-10,9
15°	-12,1	-12,1	-12,1	-12,0	-12,0	-12,0	-12,0	-12,0	-12,0	-12,0	-12,0	-12,0
0°	-13,2	-13,2	-13,2	-13,1	-13,1	-13,1	-13,1	-13,1	-13,1	-13,1	-13,1	-13,1

MARKING OFF

GAUGE SETTING

$A = 60 - \frac{60}{2} = 56,6$
 $B = 60 - 4.8 + 120 - \frac{12}{2} = 167,2$
 $C = \dots \dots \dots$

Read ΔL allowances in the selected V column for each angle line.

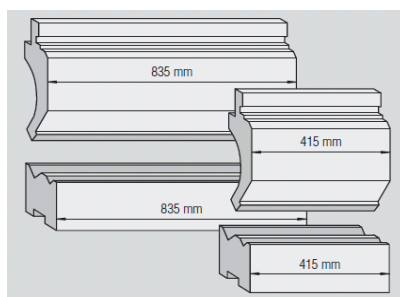
Joonis 3.106 Painutuskalkulaator

3.4.13 Üldine informatsioon tööriistade kohta

Tööriistad võivad olla pikad (üks tööriist terve painutuspikkuse ulatuses) või mitmest tükist komplekteeritavad, et saavutada soovitud painutuspikkus. Tööriistade pikkus mõjutab olulisel määral painutusprotsessi efektiivsust. Tööriistavahetuste arv päevas võib olla 5 kuni 20. Pikkade

tööriistade paigaldamiseks läheb tavaliselt vaja mitme operaatori sekkumist ja transportimiseks on vaja kahveltõstukeid.

Lühikeste tööriistade transportimise ja paigaldamisega tuleb operaator üksi toime. Suurte tööriistavahetuste arvu puhul on lühikeste tööriistade kasutamise efekt märgatav. Hea painutustäpsuse saavutamise seisukohalt on oluline tööriista paralleelsus (võimalikult väike variatsioon tööriista kõrguses). Lühikesed tööriistad on võimalik valmistada märksa täpsemate geomeetriliste tolerantsidega. Ülaltoodud kaalutlustest lähtuvalt on soovitatav kasutada lühikesi tööriistu. Standardis valmistatakse kahes pikkuses tööriistasid: 835 mm ja 415 mm (joonis 3.107). Sellised tööriistad võimaldavad komplekteerida painutuspinki piisava paindlikkusega.



Joonis 3.107 Tööriistade eri pikkused

Lisaks on kasutusel ka seksioneeritud tööriistad. Seksioneeritud tööriistade puhul on 835 mm pikkune tööriist jaotatud lühemateks seksioonideks, et saavutada veel suurem paindlikkus sobiva painutuspikkuse koostamisel. Seksioneeritud tööriistasid kasutatakse näiteks karpide ja kõrvade painutamisel. Joonis 3.108 Seksioneeritud tööriistade kasutamine on toodud seksioneeritud tööriistade kasutuse näide. Karbil on mitme pikkusega lühikesi paindeid. Karbi otsasid sulgevaid paindeid ei ole võimalik teostada ilma seksioneeritud tööriistasid kasutamata.

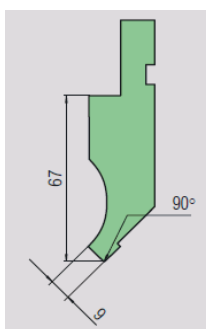


Joonis 3.108 Seksioneeritud tööriistade kasutamine

3.4.14 Tööriista ristlõige

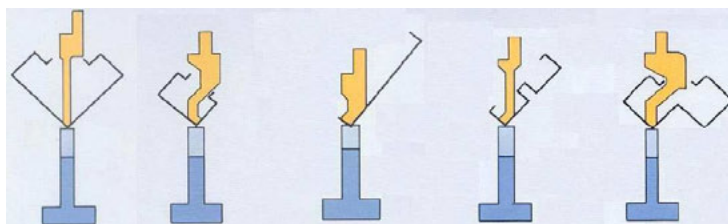
Tööriistu iseloomustab samasugune ristlõige kogu tööriista pikkuse ulatuses. Nende parameetrites orienteerumine aitab leida kiiresti õiged tööriistad ja väldib vale tööriista kasutamist. Järgnevalt on esitatud mõned olulised parameetrid, mida meelde jätta.

Joonis 3.109 Templi ristlõige on näha templi ristlõige. Ristlõike puhul on kolm olulist näitajat, mille alusel templeid klassifitseeritakse: (1) tipunurk, (2) kuju ja (3) kõrgus (oluline on kõrgus templi tipust tugipinnani). Templeid valmistatakse tipunurkadega 30° , 45° , 60° , 88° või 90° . Templeid nurgaga 30° ja 45° kasutatakse teravnurksete painete tegemiseks ja 60° , 88° või 90° templeid 90° painutuste puhul.



Joonis 3.109 Templi ristlõige

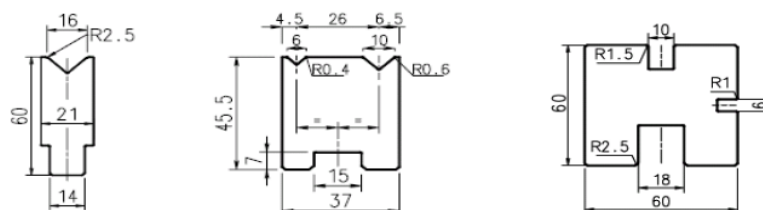
Templi ristlõike kuju määrab ära, millist tüüpi painutusi on võimalik teostada (Joonis 3.110). Õigete tööriistade valik on väga oluline.



Joonis 3.110 Templite erikujud

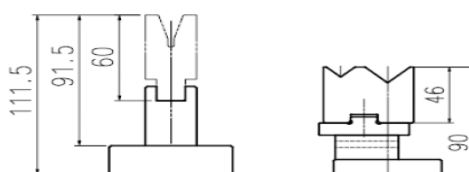
3.4.15 Matriits

Matriitsid klassifitseeritakse V-soone kuhu ja soonte arvu alusel. Ühe soonega matriitse kutsutakse 1V matriitsideks, kahe soonega matriitse 2V matriitsideks jne. Matriitse, millel on 3 ristkülikukujulist soont, kutsutakse 3U matriitsideks (Joonis 3.111 Matriitside erinevad ristlõiked).



Joonis 3.111 Matriitside erinevad ristlõiked

Matriitsid kinnitatakse painutuspingi töölauale üldjuhul matriitsihoidja abil. Matriitsihoidja tsentreeritakse ülatera suhtes paika. Kui järgmise toote jaoks on vajalik eelmisest erinev V-soone laius, siis saab matriitse kiiresti matriitsihoidjast eemaldada ja paigaldada sobiv matriits asemele. Tsentreerimist ei ole vaja uuesti teha. Joonis 3.112 Matriitsihoidjad on esitatud skeemid matriitsihoidjatest, mis on mõeldud kiirvahetatavate 1V ja 2V matriitside jaoks.

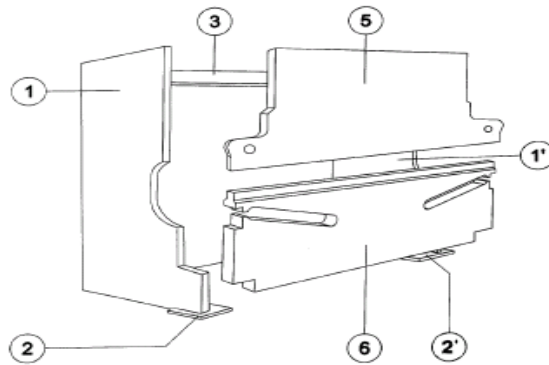


Joonis 3.112 Matriitsihoidjad

3.4.16 Painutuspressi ehitus

Painutuspress (Joonis 3.113) koosneb jäigast raamist, mis kannab kõiki seadme komponente. Raami suur jäikus on oluline, et konstruktsioonis ei tekiks deformatsioone, mis võivad painutus-täpsust mõjutada. Eespoolt vaadates on näha seadme ülatala ja alatala. Üks taladest on vertikaal-suuna liikuv, et avaldada matriitsi ja templi vahele paigutatud detailile vajalikku painutusjõudu.

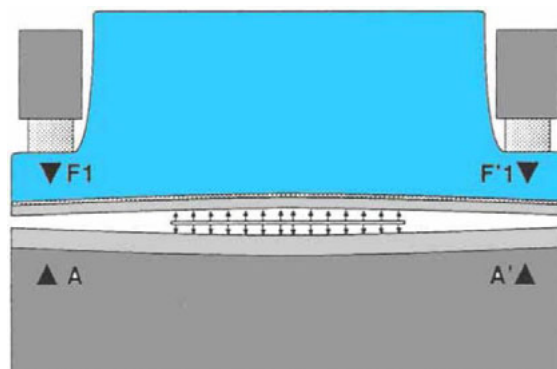
Kui liikuv on alatala, siis on tegemist nn alatoimelise painutuspressiga ja liikuva ülatala puhul ülatoimelise painutuspressiga. Enamik kaasaegseid painutuspinke on ülatoimelised ehk painutusoperatsiooni ajal liigub ülatala alla.



Joonis 3.113 Painutuspressi põhiosad

Raam koosneb paksust materjalist valmistatud ülatalast (5), alatalast (6), külgplaatidest (1 ja 1'), ülemisest ühendustalast (3) ja tugiplaatidest (2), millele painutuspink toetub. Külgplaatidesse on tehtud C-kujulised väljalõiked, mis võimaldavad suurendada painutatavate detailide pikkust (külgplaatide vahekaugus on reeglina üla- ja alatala pikkusest väiksem).

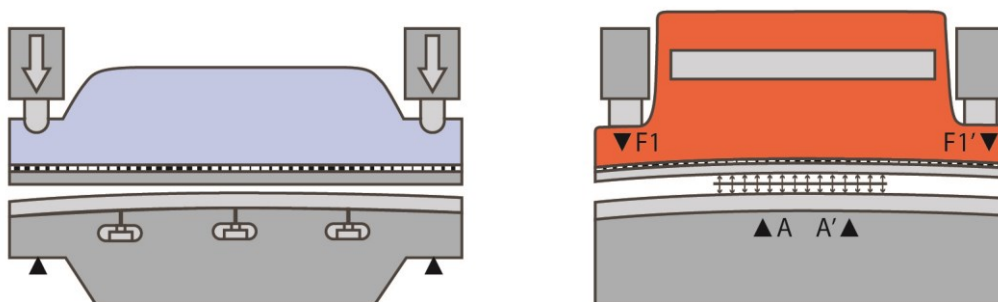
Kuna ülatala on kinnitatud ainult otstest, siis painutamise ajal painduvad üla- ja alatala vastassuunas (Joonis 3.114). Selle tulemusena tungib tempel töösooni keskosas vähem matriitsi ja seal ei suudeta saavutada nõutud painutusnurka.



Joonis 3.114 Ala- ja ülatala läbipaine

Antud probleemi kõrvaldamiseks paigaldatakse alatala keskosasse hüdrocilindrid, mis annavad vastusurve. Vajalik vastusurve (Joonis 3.114) CNC painutuspinkidel arvutakse automaatselt. Teine lahendus antud probleemi kõrvaldamiseks on toetada alatala keskosast Joonis 3.115, punktid A ja A') ja jätta alatala otsad kinnitamata (nn elastne alatala). Sellisel juhul järgib alatala ülatala kuju. Toode jääb sirge, kuna

painumine on nii väike, et materjali elastsuspiirist üle ei minda – peale jõu eemaldamist taastab toode oma sirgsuse.



Joonis 3.115 Läbipainuv tala

3.4.17 Ohutustehnika nõuded painutuspingiga töötamisel

Painutuspinkidel pääseb operaator vahetult ligi tööriistadele ja töödeldavale detailile. Seetõttu on painutuspinkidel ohutusreeglite täpne järgimine väga vajalik. Järgnevalt on loetletud rida nõudmisi, mida meeles pidada ja mille täitmisel on töö ohutu:

1. Ära pane käsi masina töötamise, seadistamise ega reguleerimise ajal instrumentide vahelt läbi.
2. Ära sisene instrumentide piirkonda enne, kui tagatõkise liikumine on lõppenud.
3. Ära pane mitte kunagi töödeldavat osa vastu/üle tagatõkise sõrme, enne kui tagatõkis on positioneeritud programmeeritud asendisse.

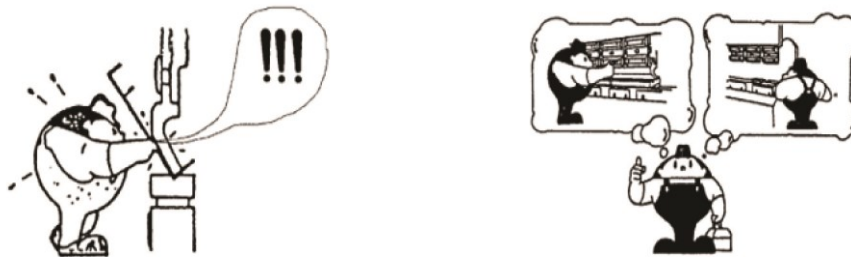


4. Ära asenda templeid, matriitse ega teeninda masinat, kui see töötab.
5. Masinat ei tohi mitte kunagi kasutada, kui mõni selle ohutusseadmetest on eemaldatud või ei tööta.
6. Ära sisene ohutusseadmetega kaetud alasse ega ohtlikku tsooni.
7. Vaata masin iga päev enne töö alustamist üle ja veenduge, et

- kõik kaitsevahendid on omal kohal
- instrumentide vahel olev vaba ruum ei ole blokeeritud
- juurdepääsuala erinevatele seadmetele on puhas
- põrandal masina ümber ei ole määrideid, õli ega vett.

8. Ära kanna lipsu, salli või lahtiseid rõivaid, kui reguleerid painutuspressi või töötad selle juures.

9. Kui töötad suurte detailidega, siis võib operaatorit abistada operaatori assistent, kelle ainsaks ülesandeks on aidata käsitseda toorikuid.



Assistendil peab olema samasugune juhtpult (elektriline jalglüliti), et lubada operaatoril tsükli käivitada.

10. Enne masina ülevaatus või hooldust lülita pealülitist võrgutoide välja, välja arvatud juhtudel, kus protseduuri läbiviimiseks on elektritoide vajalik. Sellistel juhtudel võivad vastavat protseduuri läbi viia ainult selleks väljaõppinud inimesed.

11. Kus võimalik, kanna kaitsekindaid.

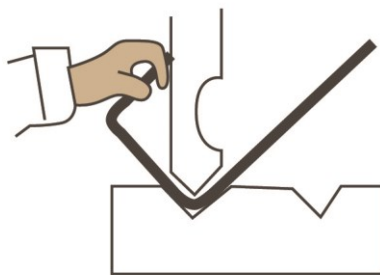
12. Harvadel juhtudel, kui kasutaja painutab detaile, mille kogumõõtmed ületavad masina põik-tala, tuleb täiendada kaitsemeetmeid, et vältida teiste inimeste vigastamist. Kui sedalaadi töid esineb sageli, tuleb sinna, kus vaja, paigaldada sellised kaitsevahendid püsivalt koos masina juh-timisahelaga.

13. Painutuspressid on tuleohutuse ja ohtlike jäätmete seisukohalt madala riskiga. Sellele vaata-mata soovitatakse, et hoiaksid tulekustutid elektriseadmete ja õliga seadmete läheduses.

14. Veendu alati, et kasutatavate instrumentide tugevus ja pikkus on kooskõlas painutusjõuga. Vastasel juhul võib tööriist puruneda ning operaatorit vigastada. Iga tööriista küljele on märgitud sellele tüübile lubatud koormus, samuti on see näidatud spetsiaalses tööriistakataloogis.

15. Vabasta töödeldav detail niipea, kui see on tööriistade vahele surutud.

16. Ära hoi lehtmetalli mitte kunagi selle volditud servast (Joonis 3.116
 Detaili vale hoidmine painutamisel, hoi seda külgedest.



Joonis 3.116 Detaili vale hoidmine painutamisel

Kordamisküsimused

1. Mida nimetatakse painutamiseks?
2. Milline on mehaanilise painutusseadme ehitus ja tööpõhimõte?
3. Milline on seos painutusnurga ja vajaliku painutusjõu vahel?
4. Mida tähendab painutusnurga tagasivetrumine?
5. Mida tähendab õhkpainutus ja vermimine?
6. Millised on erinevate painutusmeetodite valiku alused?
7. Kuidas arvutada pinnalaotust lõpptoote joonise põhjal?
8. Millist ülesannet täidavad tempel ja matriits painutusprotsessis?
9. Milliseid töökaitseõudeid ja -vahendeid peab kasutama painutuspingil töötades?

3.5 Vesilõikus

Vesilõikustehnoloogia areng sai alguse 1970. aastatel koos kõrgsurvepumba tekkimisega, abrasivlõikus arendati välja kümme aastat hiljem. Vesilõikus jõudis tööstusliku kasutuseni USAs aastal 1968, kus patenteeriti esimene kõrgsurveveejoal põhinev lõikemasin.

Esimesed tootmisse jõudnud vesilõikusmasinad müüdi sealsamas 1971. aastal. Abrasiivne vesilõikus arendati välja samuti USAs ja patenteeriti aastal 1984 firma Flow Systems poolt. Vesilõikus arenes 80-ndatel aastatel mitmekülgseks ja tõhusaks töötlemismeetodiks, seda eriti paljude mehaaniliselt raskelt lõigatavate materjalide töötlemisel. Alljärgnev seade on firmas FinEst Steel kasutusel olev vesilõikuspink (Joonis 3.117 Vesilõikuspink ByJet Classic L 6030).



Joonis 3.117 Vesilõikuspink ByJet Classic L 6030

Suurimad vesilõikuse kasutajad on lennuki-, auto- ja paberitööstus. Abrasiivse vesilõikuse arendes on seda meetodit hakatud üha rohkem kasutama ka metalli-, klaasi-, ehitusmaterjalitööstuses ja kivitöötusel. Vesilõikus sobib hästi olukordades, kus lõigatav detail ei talu kuumenemisest tekkivaid pingeid ja struktuurimuutusi, või juhtudel, kus tuleb lõigata keerulisi vorme, aga ka siis, kui nõutakse head lõikepinda.

Meetodi eelisteks on väike energiakulu, vähene tolmueringus ja vähene keskkonnasaasteohtlikkus, väikesed kasutuskulud ja lihtne automatiseeritavus. Mitmed ainulaadsed rakendusvõimalused teevad vesi- ja abrasiivlõikuse peamiseks nende valituks osutumise põhjuseks.

Vesi/abrasiivlõikusega on võimalik lõigata igas suunas. Süsteem sisaldab endas paindlikke mitmesuunalisi lõikamisvõimalusi ja automatiseeritud lõikeprogrammide kordamist. Abrasiivse vesilõikuse kasutust piirab mõnedel juhtudel suhteliselt väike lõikekiirus, düüsi kulumine, küllalt suured investeeringud ja teatud töökaitsepõhimõtted.

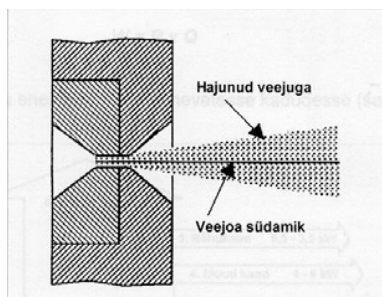
3.5.1 Protsess ja meetodid

Vesilõikus (Joonis 3.118) põhineb kõrgsurvevee ainet purustaval omadusel, kui veejoa rõhk ületab lõigatava materjali survetugevuse. Kõrge rõhu all olev vesi (70–400 MPa) juhitakse läbi safiirdüüsi, mille diameeter on 0,1–0,4 mm. Tekkiva peenikese veejoaga, mille kiirus on 2–3 korda suurem helikiirusest, saab lõigata pehmeid materjale nagu näiteks paber, papp, kumm, klaasvill, plastmassid, süsinik, klaaskiud, toiduained jpm.

Meetodil võib eristada kahte etappi: materjali eraldamine ja väljakandmine. Materjali eraldamine on võimalik siis, kui veejoa rõhk ületab materjali survetugevuse. Lõplik eraldumine toimub erosiooni, lõhenemise või kohalike pingete kiirete muutuste tulemusena, sõltuvalt lõigatava materjali omadustest.

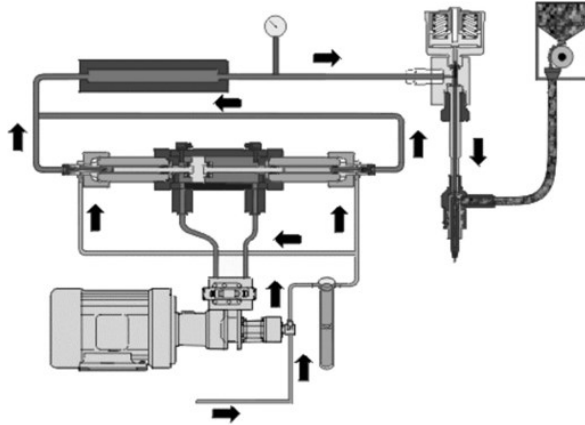
Veejuga tekitab materjalis mikropragusid, millest vesi eemaldab väikeseid aineosakesi. Kui veejoale lisada lõikavaid tükikesi (abasiivi), võib lõigata ka kõvasid materjale, nt metalle ja keraamikat. Abrasiivlõikus põhineb abasiiviosakeste lihvil mõjul. Lõikamise valdavaks mehhanismiks on sel juhul osakeste löökidest põhjustatud erosioon.

Erinevate materjalide puhul kasutatakse väga erinevaid lõikerežiime. Tähtsaimateks lõiketulemust mõjutavateks teguriteks on vee rõhk, vee kvaliteet, vooluhulk, düüsi mõõt ja kvaliteet, abasiivi omadused (hulk, tera suurus, kõvadus, kuju), abasiivi doseerimise viis, lõikekiirus, düüsi kaugus detailist, veejoa ning detaili vaheline nurk.



Joonis 3.15018 Veejuga lihtsustatuna. Eristada saab veejoa südamikku ja seda ümbritsevat veepilve

Kõrgrõhu-vesilõikusseadme põhisõlmed on: veefiltrid, kõrgsurvepump, ventiilide ja liigenditega torustik, lõikepea, düüsid ning abasiivi etteande- ja korjamisseade (Joonis 3.119). Temperatuuri ja rõhu jälgimiseks võib seadmestikku kuuluda veel erinevaid andureid, mõõtureid ja vee eel-surveüsteem (booster). Tavaliselt kuulub süsteemi ka polümeeride söteseade. Polümeeride abil parandatakse veejoa laminaarsust ja vähendatakse düüsi kulumist.



Joonis 3.11519 . Abrasiivse vesilõikusseadme põhisõlmed ja tööpõhimõte

Materjali lõikamiseks vajaliku surve saavutamiseks juhitakse vesi filtritest ja eelsurveseadmest koosnevasse süsteemi. Lõikamiseks kasutatava vee võib võtta tavalisest veevõrgust. Filtreerimine on väga tähtis, kuna kõrgsurveseadmesse suubuv vesi peab olema puhas. Sellega kaitstakse seadme osi ja saavutatakse konstantne lõikejuga. Olenevalt ettevõtte asukohast ja kasutatava vee üldisest olukorrast puhastatakse vett ka kahjulike mineraalide eemaldamiseks.

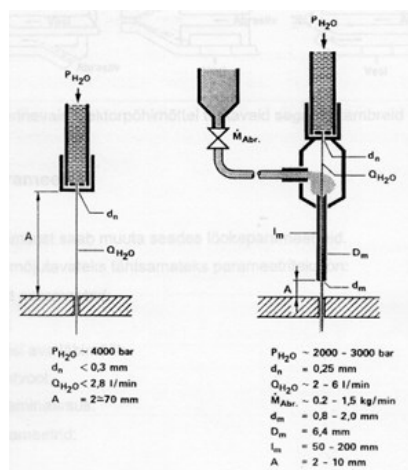
Elektrimootoriga käitatava hüdropumba jõul töötav hüdrauliline veepump tekitab veerõhu tõusu. Veesüsteemi paigutatud rõhuaku kompenseerib vee kokkusurumist ja veepumba edasi-tagasi liikumisest tekitatud rõhulööke. Survestatud vesi juhitakse torustiku kaudu lõikepeasse, kus sõltuvalt vajadusest toimub abrasiivi lisamine.

Abrasiivi lisatakse joasse kõvemate materjalide lõikamisel. Enamkasutatavad neist on oliviin, kranaat ja korund, mille osakese läbimõõdud on vahemikus 0,2 kuni 0,5 mm. Abrasiivi kasutamisel kuuluvad lõikeseadme koostisse veel abrasiivi lehter, abrasiivi toitesüsteem, pneumaa-tiliselt juhitud etteandeventiil ja spetsiaalne abrasiividüüs koos segamiskambriga. Etteandeventiili ülesanneteks on abrasiivivoolu sisse-välja lülitamine ja doseerimine. Kui lõikepea on aktiveeritud, avaneb ka etteandeventiil, võimaldades abrasiivil veega liituda.

Abrasiivi doseerimine toimub läbi täpse avaga plaadi, mille põhimõte sarnaneb liivakella omaga, et kindlustada täpne ja konstantne voog. Abrasiivaine söötmine vette toimub tavaliselt lõikepeas, kus ta segatakse veega (enamikel juhtudel segamiskambris). On ka vähemlevinud meetod, kus abrasiiv on erilises anumast rõhu all koos veega. Edasi juhitakse osakesed vette, kus kiirelt liikuv juga imeb nad kaasa.

3.5.2 Abrasiivne vesilõikikus

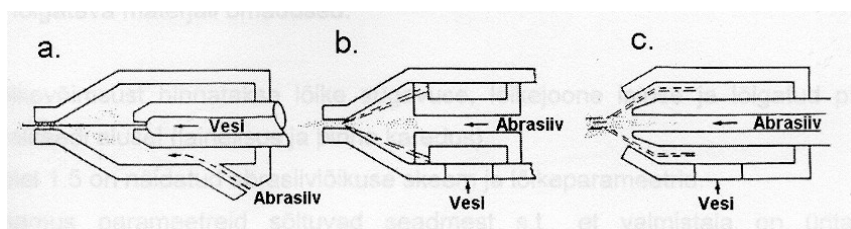
Abrasiivse vesilõikuse põhimõtte võrrelduna hariliku vesilõikusega on kujutatud joonisel 3.120. Abrasiivainet saab veega segada erinevatel viisidel: kas düüsiga ühenduses olevas segamiskambris või erilises nõus, kus ta on rõhu all koos veega.



Joonis 3.120. Abrasiivse vesilõikuse põhimõtte (paremal) võrrelduna hariliku vesilõikusega

Segamine vahetult enne düüsi on levinuim viis ja selleks kasutatavaid meetodeid esitatakse joonisel 3.121. Kiirelt liikuv veejuga kas imeb abrasiivi kõrvalt ejektorpõhimõttel nagu joonisel 3.121a, või juhitakse abrasiivi keskelt (Joonis 3.121b), kus kaks või enam veejuga tulevad kõrvalt ja samas kaitsevad segadüüsi kulumast.

Safiirdüüsist (diameeter d_n) väljuvale veejoale lisatakse abrasiiv, segu kiirendatakse kõvasulamdüüsist (diameeter d_m).



Joonis 3.121. Valik erinevaid ejektorpõhimõttel töötavaid segamiskambreid

Joonisel 3.121c söödetakse abrasiiv keskelt ja veejuga tuleb torukujuliselt selle ümber, kaitstes samuti düüsi kulumast. Ejektortüüpi abrasiivi söötmisel on selle kiirus teoreetiliselt umbes 50% vee kiirusest. Suurematel rõhkudel (suur vee kiirus) abrasiivi suhteline kiirus siiski väheneb.

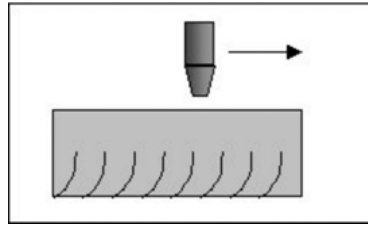
Lisaks võivad kavitatsioonimullid rikkuda abrasiivi osakesi juba segamisstaadiumis. Eelnimetatud nähtused kahandavad lõikamisvõimsust.

Juuksekarvajämedune veejuga tekitab minimaalse lõikesoone, mis vähendab materjali kadu ja võimaldab suure täpsusega lõigata väikseid avasid, kitsaid pilusid ja kinnise lõikejoonega mustreid. Kui näiteks saag jätab detailile lõikepiirkonda kareda pinna, mida on tarvis hiljem töödelda, ei vaja vesi/abrasiivlõikuriga lõigatud detail järeltöötlust. Lõikeoperatsiooni madala temperatuuri tõttu ei teki räbu, nagu laser- ja plasmalõikusel, seega ei ole vaja lõplike mõõtmete saamiseks ka kallist lihvimist, kuumtöötlust või kuumusest mõjutatud pindade töötlemist.

Lõikeprotsessi käigus mõjuvad detailile minimaalsed kül- ja vertikaaljõud, mis muudab eba- vajalikuks kallite detailikinnitusrakiste olemasolu. Isegi õhukese või ebastabiilse detaili lõikamisel hoiab töölaud toorikut paigal. Samuti on töölaud varustatud mahutiga, mis kogub vett, abrasiivi ja materjali lõikejääke. Vesi/abrasiivlõikus on tihti kiirem kui traditsioonilised meetodid, mis olenevad materjali paksusest ja nõutavast kvaliteedist.

Järskude pöörete ja nurkkade lõikamisel tuleb lõikekiirust suurel määral muuta. Vesilõikuse puhul kehtib reegel, et mida suurem on lõikekiirus ja paksem lõigatav materjal, seda enam juga kaardub. Seega, mida teravam on nurk, millele protsessi käigus lähenetakse, seda enam peab kiirust aeglustama, et püsida tolerantsi piires. Vastasel korral ei suudaks juga teravikest kogu materjali eemaldada. Kõik teravad nurgad detailil aeglustavad lõikeprotsessi. Märgatavalt suuremat mõju avaldab see paksude materjalide korral. Raskusi tekitab sisemiste teravate nurkade tolerantsi piires hoidmine. Eriti just mass- või seeriatootmise puhul on detaili valmistamise kiiruse ja tootmiskulude minimiseerimise seisukohalt otstarbekas vältida teravaid nurki ja võimaluse korral maksimeerida kõiki ümardusraadiusi.

Suurim ülesanne, millega abrasiivse vesilõikuse pingi juhtseade peab toime tulema, on abrasiivi etteande ja kiiruste muutmine mittelineaarse lõiketrajektoori korral. Mida paremini see saavutatakse, seda suurem on saadavate detailide täpsus ja parem pinnakvaliteet. Lõikepea lineaarse liikumissuuna korral tekib joa viivitus ehk kaardumine, nagu illustreerib joonis 3.122. Sellest tulenevalt jäävad pinnale liikumise suunast tahapoole kaldus vaod, tekib laineline pind.



Joonis 3.52122 Liiga suurest etteandekiirusest põhjustatud joa viivitus

3.5.3 Lõikekvaliteet sõltuvalt ettenihkest



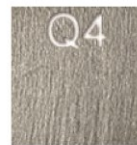
Eraldav lõige



Läbiv lõige



Puhaslõige



Hea viimistluslõige



Väga hea viimistluslõige

Joonis 3.123 Lõikamisel saavutatav pinnakvaliteet: Q1 – eraldav lõige, Q2 – läbiv lõige, Q3 – puhas lõige, Q4 – hea viimistluslõige, Q5 – väga hea viimistluslõige

Tabeli 3.12 andmed vastavad lõikekvaliteedile Q2.

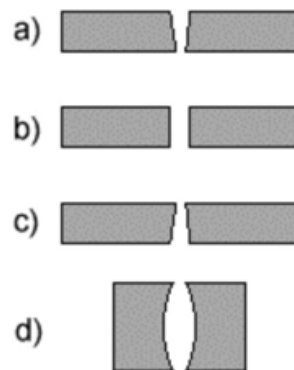
Tabel 3.72 Lõikekiirused sõltuvalt materjalidest

Lõikekiirused (mm/min) sõltuvalt materjalist										
Materjal/paksus (mm)	1	2	5	10	15	20	25	30	50	100
Alumiinium	4000	1800	635	286	180	130	100	80	45	20
Titaan	2000	890	300	140	88	63	49	39	22	9
Vask	1900	850	290	135	85	60	45	37	21	9
Teras	1400	650	220	100	64	46	35	28	16	7
Roostevaba teras	1350	600	210	95	60	43	33	27	15	6
Tööriistateras	1300	590	200	90	58	40	30	25	14	6
Klaas	13000	5900	2000	930	580	420	320	260	140	66

Marmor	11000	5200	1800	820	510	370	280	230	130	58
---------------	-------	------	------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	----

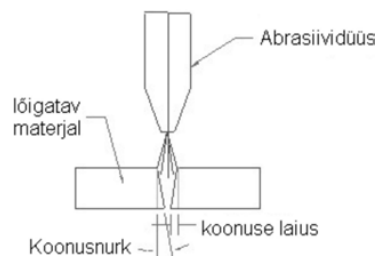
Selle põhjuseks on joa pinnalt pinnale hüppamine. Etteandekiiruse aeglustamine võimaldab joale taas vertikaalse suuna anda. Mida kiiremini püütakse materjali lõigata, seda suurem on joa kaardumine. Ka siin mängib olulist rolli materjali paksus. Maksimumilähedase kiiruse juures muutub raskemaks sisenurkade töötlemine, mille tulemusena jääb lõigatava detaili sisenurkadesse raadius, mis suureneb materjali paksuse kasvades. Samasuguse pinnakvaliteedi ja defektid võivad anda ka äkilised muudatused kiiruses või järsud kiirendused normi piires oleva lõikekiiruse juures.

Liigsest kiirusest tingitud erinevad lõikesoone kuju muutused on illustreeritud joonisel 3.124.



Joonis 3.124 Erinevate lõikekiiruste korral tekkivad kuju muutused

a) Liiga suurest lõikekiirusest põhjustatud V-kujuline koonuselisisus (Joonised 3.124 ja 3.125). Sellises olukorras lõikab juga detaili küll läbi, kuid ei jõua kogu materjali eemaldada. V-kujuliste servade minimeerimiseks või eemaldamiseks on vaja kas vähendada lõikekiirust või suurendada lõikevõimsust.



Joonis 3.12553 V-koonuselisisus

b) Koonuselisisus puudub. Lõikekiirus on õige, mistõttu ei teki kujumuutusi.

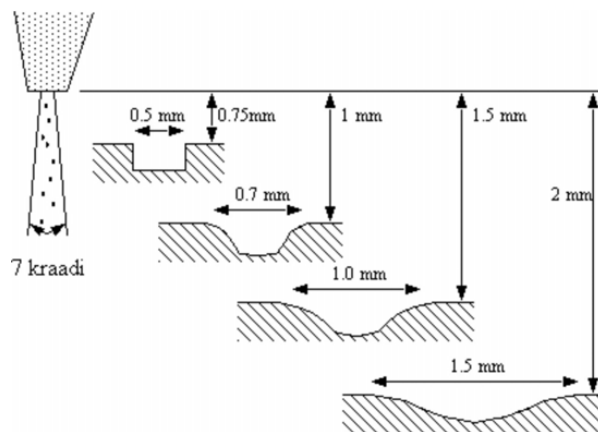
c) Liiga aeglasest lõikekiirusest põhjustatud koonuselisisus, mis on tingitud veejoa hajumisest. Seda juhtub suhteliselt harva.

d) Tünja kujuga lõikesoon, esineb paksemate materjalide lõikamisel. Selle tingib asjaolu, et lõikejoa intensiivsus kahaneb düüsi otsa kaugenemisega lõikepunktist, materjali läbistamiseks on vajalik lõikejõud veel vaid kaare tsentris.

Peamisteks lõikesoonete kuju muutvateks teguriteks on:

- düüsi otsa kaugus materjali pinnast (mida lähemal düüs materjalile asub, seda väiksem kuju-muutus tekib)
- materjali kõvadus
- lõikekiirus
- düüsist väljuva lõikejoa kvaliteet ja fokuseeritus
- abrasiivi kvaliteet
- materjali paksus.

Erinevalt enamikest teistest lõikemeetoditest, muutub lõigatud pinna kvaliteet lõikaja kaugenedes detaili pinnast (Joonis 3.126). Üldjuhul on lõikepind ülasos tasane, kuid tungides sügavamale, kaotab veejuga energiat ja hajub ning pinna kvaliteet halveneb. Joa hajumise mõjusid saab vähendada, hoides pihustit võimalikult lõigatava detaili pinna lähedal. Veejoa hajumist saab vähendada, lisades veele glütseriini või pikaahelalisi polümeere või siis vähendades lõikekiirust. Abrasiivlõikusel on joa hajumine tunduvalt suurem.



Joonis 3.126 Lõikepea kauguse mõju materjalist

Vahetult pihustist väljuva veejoa kiirust saab arvutada, kasutades Bernoulli valemit mittekokkurusutava vedeliku kohta:

$$v = \sqrt{2 * \frac{P}{\pi}}$$

v – vee kiirus (m/s); P – vee rõhk (Mpa); π – vee tihedus (kg/ m³).

Düüsi kaudu väljuva vooluhulga ja kiiruse vahel on seos:

$$Q = \frac{C_d * A * v}{4\pi * D^2 * \sqrt{2 * \frac{P}{\pi}}}$$

Q – vooluhulk (m³/s); C_d – väljumise kasutegur; A – joa ristlõikepindala (m²); D – joa läbimõõt (m).

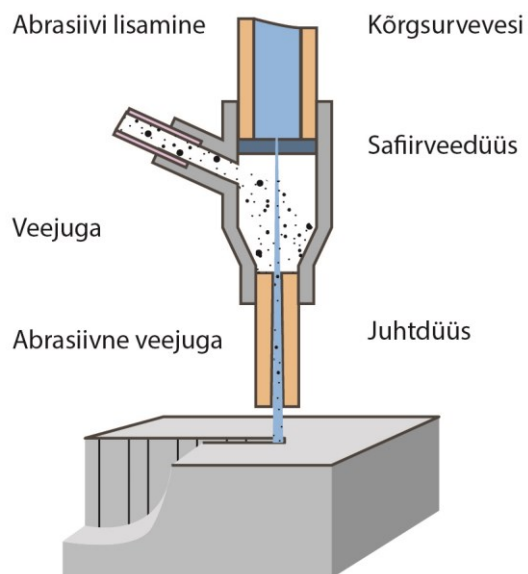
Väljumise kasutegur on otseses sõltuv düüsi geometriast ja selle väärtus on suurusjärgus 0,7. Võrreldes teiste traditsiooniliste lõikemeetoditega, on abrasiivlõikuri lõikeoperatsiooni hind suhteliselt kõrge. Kulutust nõuavad abrasiivi kogused ning düüside ventiilide ja pumba tihendite vahetamine. Isegi kui lõikeprotsessi läbiviimine on teiste meetoditega võrreldes kallim, tuleb kokkuvõttes lõpliku detaili saamine abrasiivlõikuril ikkagi odavam, kuna jääb ära täiendav töötlus detailile täpsuse ja viimistletud pinna andmiseks.

3.5.4 Lõikeparameetrid

Veejoa lõikevõimsust saab muuta, seades lõikeparameetreid. Abrasiivlõikust mõjutavateks tähtsamateks parameetriteks on:

- hüdraulilised parameetrid: veerõhk, düüsi ava läbimõõt, vee mahtvool, veejoa laminaarsus
- abrasiivi parameetrid: hulk, kvaliteet, tera suurus, kuju, olek (kuiv/segud)
- abrasiivi söötmissüsteem: ejektortüüpi, survega söötmine
- segamiskambri omadused: kambri kuju, abrasiividüüsi pikkus, abrasiividüüsi ava diameeter
- lõikamise parameetrid: lõikekiirus, düüsi kaugus detailist, joa ja detaili vaheline nurk, lõigatava materjali omadused.

Lõikevõimsust hinnatakse lõike sügavuse, lõikejoone laiuse ja lõigatud pinna kvaliteedi alusel (lainelisus ja pinna karedus). Joonisel 3.127 on näidatud abrasiivlõikuse skeem ja lõikeparameetrid.



Terased, karastatud materjalid, alumiinium, plastid, klaas, kummid jt kuni 60 mm

Lõigatud detailide täpsus:

- veejoaga lõigates kuni $\pm 0,05$ mm
- abrasiiviga lõigates kuni $\pm 0,1$ mm

Lõigatava pilu laius:

- veejoaga lõigates alates 0,2 mm
- abrasiiviga lõigates alates 0,5 mm

Lõigatav detail maks 1000 x 2000 mm

Veejoa rõhk kuni 4000 bar

Joonis 3.12754 Abrasiivvesilõikuse skeem ja lõikeparameetrid

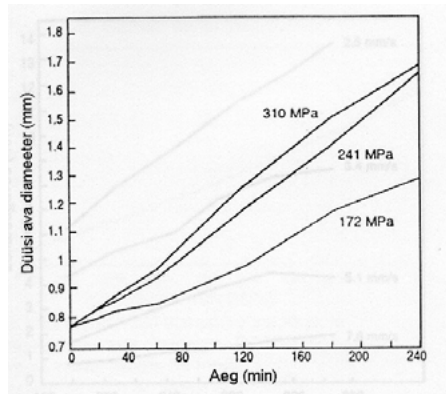
Enamik parameetreid sõltuvad seadmest, st valmistaja on üritanud optimeerida näiteks segamiskambri mõõtmeid ja söötmissviisi. Tabelis 3.13 on toodud ühe masinatootja soovitused düüside ja abrasiivide teralisuse valimiseks lõigatava materjali paksuse järgi, kui abrasiivi söötmine toimub näidatud skeemi järgi.

Tabel 3.13. Otsiku ja abrasiivi tera suuruse valik lõigatava materjali tugevuse järgi

Materjali paksus (mm)	Safiirdüüsi diameeter (mm)	Abrasiividüüsi diameeter (mm)	Abrasiivi tera suurus (mm)
3...5	0,25	0,8	0,06 - 0,15
6...10	0,33	1,2	0,10 - 0,25
11...60	0,45	1,6	0,20 - 0,55

Peamine lõikevõimsuse mõjutaja on veerõhk. Rõhu lisamine kasvatab läbi safiirdüüsi voolava vee kiirust ja koos sellega saab ka abrasiiv teatud määral suurema kiiruse enne kokkupuudet lõigatava materjaliga. Kiiruse lisandudes võib vesi kaasa kanda rohkem abrasiivi ning veejoa energia ja lõikamisvõimsus kasvab. Sellest lähtuvalt tuleks kasutada suurimat võimalikku veerõhku ja abrasiivikogust. Arvesse tuleb võtta ka teisi mõjusid, mille rõhu kasvamine endaga kaasa toob:

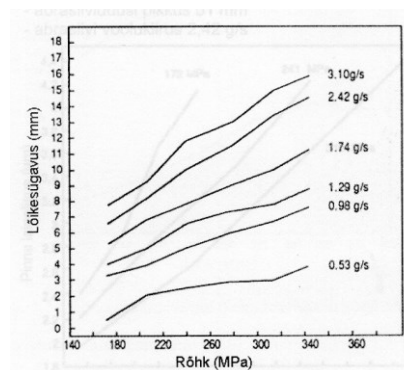
- abrasiividüüsi kulumine kiireneb (Joonis 3.128)



Joonis 3.128 Vee rõhu mõju abrasiividüüsi kulumisele

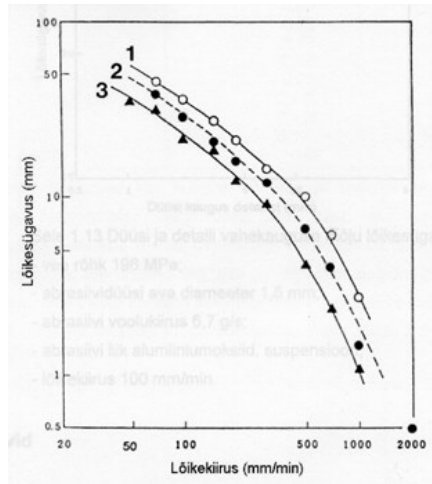
- joa laminaarsus halveneb
- vee kokkupressimisest tekkivad energiakaod kahanevad
- väljumise kasutegur C_d kahaneb
- saavutatav lõikesügavus kasvab
- pinna kvaliteet ja lõikepind paranevad
- kulutused lõikamisele suurenevad
- energiavajadus kasvab
- veelt abrasiivile ülekantava energia kasutegur paraneb kuni teatud optimumini
- rõhuallika (pumba) hooldekulud kasvavad
- painduvate voolikute kasutamine piiratud (maksimaalne rõhk 250 MPa).

Veedüüsi ava diameeter 0,229 mm; abrasiividüüsi pikkus 51 mm, volframkarbiid, abrasiivi voolukiirus 3,78 g/s, abrasiivi liik Garnet, Mesh 100.



Joonis 3.129 Vee rõhu mõju lõikesügavusele hallmalmi lõikamisel erinevate voolukiiruste juures

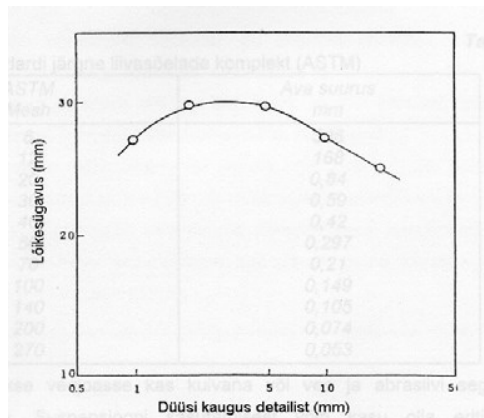
Veedüüsi ava diameeter 0,254 mm, abrasiividüüsi ava diameeter 0,813 mm, abrasiividüüsi pikkus 51 mm, abrasiivi liik Garnet, Mesh 80, lõikekiirus 2,5 mm/s.



Joonis 3.130. Lõikekiiruse mõju alumiiniumi lõikesügavusele

Abrasiivina kasutatakse granaati ja alumiiniumoksiidi (kuiva ja suspensiooni). Tera suurus Mesh 280. Vee rõhk 196 Mpa, abrasiividüüsi ava diameeter 1,5 mm, abrasiivi voolukiirus 6,7 g/s, düüsi kaugus detailist 2 mm. Abrasiivid: 1. alumiiniumoksiid, kuiv 2. alumiiniumoksiid, suspensioon 3. granaat, suspensioon.

Düüsi ja detaili vahekauguse mõju lõikesügavusele on toodud joonisel 3.131.



Joonis 3.131 Düüsi ja detaili vahekauguse mõju lõikesügavusele

Vee rõhk 196 Mpa, abrasiividüüsi ava diameeter 1,5 mm, abrasiivi voolukiirus 6,7 g/s, abrasiivi liik alumiiniumoksiid, suspensioon, lõikekiirus 100 mm/min.

3.5.5 Tolerantsid ja pinnakvaliteet

Vesilõikusega saavutatavad tolerantsid sõltuvad lõigatavast materjalist, selle paksusest, düüsi ja seadme jäikusest ja abrasiivist. Tavaliselt kõigub detaili mõõtude täpsus $\pm 0,06 \dots 0,25$ mm vahel.

Saavutatavad pinnakaredused vahelduvad väga laiades piirides. Tavalised Ra väärtused metallide abrasiivlõikusel on vahemikus 1,6...6,3 µm.

Detaili või düüsi liigutamiseks kasutatava seadme täpsusaste mõjutab lõigatud pinna kvaliteeti ja tolerantsiastet:

- ALIKO positioneerimistäpsus $\pm 0,1$ mm/m²
- Laserle tolerants 0,2–0,5 mm
- Savira OY/Prolaser OY lubavad vesilõikusele 0,1–0,2 ja abrasiivsele $\pm 0,5$ mm.

Kaheteljelised NC-seadmed on suhteliselt lihtsalt programmeeritavad, kuid hea lõiketulemuse saavutamiseks tuleb arvestada veel paljude parameetritega. Näiteks täpsuse ja pinna kvaliteedi säilitamiseks järskudes pööretes tuleb etteande kiirust parajal määral aeglustada.

3.5.6 Düüsid

Düüside omadused

Safiirdüüs on vesilõikussüsteemis tähtsal kohal, kuna tema ülesanne on tekitada laminaarne veejuga. Mõõtmetelt on ta väike: läbimõõduga umbes 2 mm ja kõrgusega 1 mm. Safiiris on ava diameetriga 0,075 kuni 0,50 mm, mida on nii täies pikkuses silindrilisi kui ka koonilise otsaga. Safiirdüüsi eluiga ulatub kuni 200 tunnini ja seda saab pikendada vee töödeldes.

Abrasiivdüüsi ülesanne on vee- ja abrasiivisegust moodustunud joa suunamine. Seda valmistatakse kõvasulamitest, tavaliselt volframkarbiidist. Düüside siseava diameeter on vahemikus 0,8 kuni 1,6 mm. Düüsi sisediameeter määrab kindlaks selle, kui kiiresti ta kulub ning kui täpselt ja millise kiirusega saab lõigata.

Väikese diameetriga düüsi omadused: veidi parem lõiketulemus: pikem eluiga, parem täpsus, kitsam lõikesoon. Suure diameetriga düüsi omadused: lõiketulemus on langenud, lühem eluiga, väiksem täpsus, laiem lõikesoon.

Vesilõikusseadmel on võimalik rakendada korraga mitut lõikepead. See on lihtne ja odav viis tootlikkuse tõstmiseks. Nad monteeritakse üksteise kõrvale ja samale kõrgusele. On vaja vaid suure võimsusega pumpa või siis mitut pumpa, mis suudaksid düüsid ära toita. Kuid sellega kaasneb ka teatud risk: kui kasvõi üks düüs ummistub või rikneb ootamatult, saavad ka teiste düüsidega lõigatavad detailid rikutud.

Düüsi pikkus mõjutab otseselt selle võimet püsida fookuses. Tavaliselt on pikemad düüsid täpsemini fokuseeritud ja nendest väljuv juga väikesema hajuvusega. Selle tulemusena on võimalik saada veidi suurem täpsus, mis on tingitud ka löikejoa kaardumise vähenemisest.

Hinnavõrdlus. Vesilõikuse düüsi komplekt maksab 500 - 1000 EUR, samal ajal on abrasiivdüüsi komplekti hind 80 - 200 EUR piires. Abrasiivdüüs vajab veel abrasiivi toitesüsteemile täiendavat riistvara, mille hinnad on 500 - 20.000 EUR. Seega on abrasiivlõikuse kasutamine düüsi kulumise tõttu tunduvalt kulukam, sest hinnale lisandub ka veel abrasiivi kulu.

Düüside puudused

Safiirdüüsi puudused: palja veega lõikamisel võib vesilõikuse ainukeseks probleemiks pidada safiirdüüsi kulumist. Lisaks sellele võib ette tulla ka düüsi purunemist, ummistumist ja sadestumist. Purunemise ja ummistumise põhjuseks on ebapuhas vesi, mida on võimalik parandada läbisurutava vee filtreerimise teel. Sade koguneb düüsile järk-järgult vees sisalduvate mineraalainete tagajärjel, teiste sõnadega on selle põhjuseks kare vesi. Sellegi puuduse kõrvaldamiseks on soovitatav vett eelnevalt erinevate meetoditega töödelda (ioonieraldus, vee pehmen-damine ja pööratud osmoosi reaktsioon).

Safiirdüüsi vahetamine võtab aega umbes 2–10 minutit ja nende hind on suhteliselt madal (40 - 50 EUR). Safiirdüüsi eluiga on abrasiivdüüsist keskmiselt 3 kuni 5 korda pikem. Kuid on ka müügil rubiin- ja teemantdüüse, mille hind küündib 1000 EUR-ni ning kõrgemalegi. Safiir- ja rubiindüüs on virtuaalselt identsed, kui välja arvata nende värv. Põhjus, miks rubiin on punakat värvi, tuleneb tema kroomisisaldusest. Safiir on seevastu kõrge rauasisaldusega. Eluea poolest ületab teemant nii rubiini kui safiiri. Paratamatult et ole teemantdüüs hinnalt kõrge mitte tema headuse poolest, vaid sellepärast, et väikeste mõõtmete tõttu on teda keerukas tööstuslikult valmistada.

Abrasiivdüüsi puudused. Abrasiivdüüse on nii disainilt kui materjalilt väga erinevaid. Sellegi-poolest on neil kõigil ühelaadsed puudused.

- **Düüsi eluiga on lühike.** Abrasiivlõikus on võimeline lõikama pea kõiki materjale, kaasa arvatud düüsi enda materjal. Võimalik on düüsi ummistumine, tavaliselt põhjustavad seda abrasiivis olevad suuremad terakesed. Kunagi oli see suureks probleemiks, kuid

tänapäeval tuleb seda tänu abrasiivi kvaliteedi paranemisele ja düüsi materjali kvaliteedi paranemisele ette harvem.

- **Abrasiivdüüsi kasutusiga** sõltub kasutatavast abrasiivist ja selle omadustest (tera suurus, kõvadus). Kõvasulamitest valmistatud düüside eluiga on kuni 10 tundi. Uute keraamiliste materjalide kasutuselevõtuga on suudetud düüsi eluiga tõsta kuni 50 tunnini. Üheselt on raske paika panna, millal abrasiivdüüs on lõplikult kulunud, aga mida rohkem ta kulub, seda ebaefektiivsemaks muutub lõikamine. Lisaks hakkab ka kulumine kiirenema. Kulunud düüsi võib väga edukalt kasutada näiteks väikest täpsust nõudvate detailide lõikamisel. Seetõttu ei ole alati otstarbekas kasutada uut kulumata düüsi.

3.5.7 Abrasiivid

Põhilised abrasiivid, mida tänapäeval kasutatakse, on granaat (garnet), kvarts või oliviin. Abrasiivina võib kasutada ka alumiiniumoksiidi, pliiikarbiidi, terasliiva, vasesulatusräbu või klaaskuule.

Populaarseim abrasiiv on tänapäeval granaat. Tema hind võrreldes teiste levinud abrasiividega on mõnevõrra kõrgem, kuid vastukaaluks on ta parema lõikekarakteristikaga. Granaadi abrasiiviteral on teravad nurgad ja ta on suhteliselt tugev, mis annab võimaluse lõigata 20–50% kvartsist kiiremini. Oma kõva ja tugeva tera tõttu on granaati võimalik kasutada mitu korda, kuid selleks on vaja spetsiaalset seadet, mis abrasiivi muust lõikejäägist eraldab.

Üheks selliseks on WARD 24 (Waterjet Abrasive Recycling Dispenser), mis peseb, puhastab ja kuivatab abrasiivi, et seda uuesti kasutada. See seade aitab vähendada abrasiivi kogumismahuti tühjendamise seotud kulusid ja vähendab radikaalselt uue abrasiivi ostu kulusid. Granaat on inertne abrasiiv, mis tähendab, et ta ei reageeri teiste mineraalide, ühendite ega kemikaalidega. Granaadiga lõikamisel tekib vähem tolmu. Abrasiivitera suurus on tavaliselt 0,2 kuni 0,6 mm ja kõvadus 5,5 kuni 8 Mohsi skaala järgi. Tera suurust tähistatakse keskmise terana. See on suurus, mis oleks abrasiiviteral, kui nad kõik oleksid kerakujulised, ühesuurused ja nende kogupindala oleks sama suur kui tõelistel teradel.

Abrasiivid juhitakse veejoasse kas kuivana või vee ja abrasiivi seguna ehk suspensioonina. Suspensiooni kasutamisest võib kasu olla eriti kõvade materjalide, nt keraamiliste ja komposiitmaterjalide lõikamisel. Suspensioonis kasutatakse abrasiivina alumiiniumoksiidi, mis on väga

peeneteraline (0,04 mm). Suspensiooni kasutades võib abrasiivi kasutada uuesti vahekorras 50% uut ja 50% kasutatut. Peenema abrasiiviga saavutatakse parem pinnakvaliteet, mis võib mõnel juhul olla omaette eesmärgiks. Maksimaalse lõikekiiruse korral tuleb valida võimalikult jämeda-teraline abrasiiv, näiteks 60 mesih või 80 meshi. Kui aga soovitakse siledat pinda, tuleb valida peeneteraline abrasiiv (100, 120 või 150 meshi). Loomulikult tuleb arvestada ka düüsi omadusi. 80 meshi on abrasiivide seas populaarseim ja tema järele on suur nõudlus. Et teha kindlaks abrasiivide sobivus, lõigatakse erinevate abrasiividega samadel lõikekiirustel ning võrreldakse saavutatud lõikesügavusi.

Materjali lõikamisel on lõikepind ülaosast tasane ja parima kvaliteediga. Üldjuhul kaotab veejuga sügavuse kasvades energiat ja hajub, mistõttu pinna kvaliteet halveneb, kusjuures abrasiivijoa hajumine on veejoaga võrreldes tunduvalt suurem. Joa hajumise vähendamiseks on võimalik vette lisada glütseriini, pikaahelalisi polümeere või siis vähendada lõikekiirust ning viia joga võimalikult lähedale lõigatava detaili pinnale. Polümeere enamjaolt abrasiivlõikuse puhul ei kasutata.

Üldiselt on granaat selline abrasiiv, mis sobib paljude materjalide lõikamiseks. Kõige populaarsem on ta just oma mitmekülgsuse poolest. Suurem hulk teisi abrasiive on kasutatavad mõne spetsiifilise materjali lõikamisel. Näiteks alumiiniumi lõikamisel on otstarbekam kasutada pehmemat abrasiivi. Selline strateegia võimaldab lõigata veidi aeglasemalt, samas saab sellega vähendada düüsi kulumist. Seetõttu ei ole vaja kasutada kallist abrasiivi. Abrasiivi ostmisel ei tohiks siiski lähtuda vaid hinnast. Eri kaubamärkidega tooted on väga erinevate hindadega. Abrasiivi kvaliteetsuse määravad paljud faktorid. Kallimate abrasiivide puhul on võimalik saada parem pinnakvaliteet, lõikekiirus on suurem ning esineb vähem düüsi kulumist ja ummistumist.

Inimeste tervise seisukohalt ei ole soovitatav kasutada kvartsil baseeruvaid abrasiive. Lõikamisel tekkiva tolmu tõttu loovad need soodsad eeltingimused kopsuvähi tekkeks. Ohtu on võimalik mõningal määral vältida separaatorite kasutamisega. Sellise abrasiivi hulka kuulub näiteks ka harilik rannali.

Abrasiive iseloomustab rida tegureid, mida tuleks nende hankimisel silmas pidada:

- **Topeltsõelutud abrasiiv:** see tähendab, et abrasiivist on eemaldatud nii liiga suured kui ka väikesed osakesed. Tulemuseks on kindla terasuurusega abrasiiv, düüsi pikem eluiga ja paremad lõiketulemused.
- **Teravus:** mida teravam on abrasiivosake, seda paremini ta materjali lõikab.

- **Puhtus:** eelistada tuleks puhast abrasiivi. Tihti pakutakse granaati, millesse on segatud ka teisi abrasiive. Kindlasti kannatab selle all lõiketulemus.
- **Kõvadus:** abrasiivi kõvaduse kasvades kasvab ka lõikekiirus. Loomulikult tuleb pehmemate materjalide lõikamisel kasutada siiski pehmemaid abrasiive.
- **Hind:** kallimad abrasiivid on puhtamad ja seega vähendavad tunde kestvaid lõikeprotsesse. Abrasiivi pealt võib küll kokku hoida, kuid siis tuleb arvestada ka teatava tootlikkuse langusega.

3.5.8 Vesilõikuse eelised ja puudused

Võrreldes teiste mehhaaniliste ja termiliste lõikamismeetoditega, on abrasiivsel vesilõikusel suurel hulgal eeliseid, mis teevad ta paljudel juhtudel konkurentsivõimeliseks, kuna ta on meetodina suhteliselt lihtne. Puudusteks on mitmed piirangud.

Eelised:

- **Suur lõigatavate materjalide valik.** Abrasiivse vesilõikusega suudetakse lõigata pea kõiki materjale, ka kiudarmeeritud materjale. Erandiks on karastatud klaas, mis puruneb lõikamisel tekkivate sisepingete tagajärjel. Samuti ei sobi veega lõikamiseks mõningad kõvad keraamilised materjalid, sest nende materjalide kõvadus peab olema väiksem kasutatava abrasiivi omast.
- **Lõikeprotsess ei mõjuta materjale termiliselt.** See on vesilõikuse suurim eelis võrreldes teiste töötlemismeetoditega. Vesilõikuse kasutamine on eriti sobiv temperatuuritundlike metallide nagu titaan ja kõrgleegeritud terased lõikamiseks. Lõiketsoonis ei teki mingeid soojuslikke deformatsioone, struktuurimuutust (karastumist) ega eraldu mürgiseid aure. Detaili temperatuur ei tõuse tavaliselt üle 70 °C, mis mõjub ka detaili täpsusele. Põhiliseks temperatuuri tõusmise põhjuseks on abrasiivosakeste põrkumine vastu lõigatavat materjali.
- **Kiire seadistatavus ja programmeeritavus.** Vesilõikuspead on lihtne liita erinevate automaatseadmetega nagu näiteks koordinaatlaud ja robot. Kuna on vaid üks lõikeriist, siis ei ole vaja programmeerida lõikeriista vahetust. Mõnes süsteemis koosneb programm vaid detaili joonisest, mille aluseks saab võtta hariliku AutoCADis valmistatud joonise.
- **Detaili piiranguteta lõikejooned.** Tänu veejoa väikesele diameetrile saab tekitada teravaid nurki. Detaili lõikamist saab alustada ja lõpetada suvalises punktis.

- **Suur lõikekiirus.** Seda võib väita juhul, kui on tegu pehmete materjalidega ja keeruliste lõikejoontega. Teiste meetodite puhul võtaks selline lõikamine tunduvalt rohkem aega või osutuks hoopis teostamatuks.
- **Hea pinnakvaliteet.** Õigete lõikerežiimide kasutamise tulemusena saadakse enamike lõigatavate materjalide puhul selline pinnakvaliteet (kohati peegelsile), mis ei vaja järeltöötlust ja on piisav lõplikuks tulemuseks. Kuid mida paksemat ja kõvemat materjali lõigata, seda halvemaks kvaliteet muutub – ennekõike seetõttu, et veejuga aeglustub, hajub ja kaardub.
- **Väikesed lõikejõud.** Kuna veejuga on peenike, ei mõju lõigatavale materjalile suur lõikejõud ega külgiõud. Seega saab detaili kahe koordinaadiga pingi töölauale kinnitada suuremate kinnitamiseta.
- **Väikene materjalikulu.** Kuna veejuga on väga peenike (paljal veel 0,1–0,4 mm ja abrasiivjoal 0,5–1,5 mm), on ka materjalikulu väike. Lõikepea ühest punktist teise viimiseks pole vaja teha liigseid lõikeid.
- **Lihtne hooldada.** Seda seadme lihtsuse tõttu.
- **Keskkonnasõbralik.** Vesilõikus ei kujuta endast ümbritsevale keskkonnale mingisugust ohtu. Lõikejääkideks on abrasiiv, lõigatav materjal ja vesi. Enamasti võib tekkinud vee ja abrasiivijäägi vabalt loodusse paisata. Kui on tegu suure hulga toksilise ainega nagu näiteks seatina, tuleb vesi filtreerida ja lõikejäägid vastavalt olukorrale töödelda.

Puudused:

- **Piiratud materjali paksus.** Abrasiivse veejoa läbitungimisvõime on piiratud, kuna lõikekiirus ja -sügavus kahanevad eksponentsaalselt materjali paksuse kasvades.
- **Düüsi kulumine.** Kõrgsulamist valmistatavate düüside eluiga ulatub vaid mõne kasutus-tunnini. Uute keraamiliste düüsidega on suudetud seda arvu tõsta kümneid kordi, ulatudes 50–100 tunnini. Selline düüs maksab 150 – 250 EUR. Düüsi kulumine moodustab suure osa kõikidest kulutustest.
- **Materjal märgub.** See võib olla probleemiks poorsete materjalide lõikamisel. Õigete lõikerežiimide korral on märgumist võimalik vähendada.
- **Suur müratase.** Suurimateks müraallikateks on tekitatav veejuga, surveseade ja veejoa sumbumine töölaual. Vesilõikuse puhul ulatub see 85 kuni 95 dB-ni, abrasiivse vesilõikuse korral isegi 120 dB-ni. Suurimat müra tekitab lahtine veejuga. Mürataset on võimalik vähendada düüsi isoleerimisega, düüsi ja detaili vahe vähendamisega ning veejoa summutamisega peale detaili läbimist.

- **Abrasiivtolm.** Abrasiivliiva käsitlemine ja liiva jäämine lõigatud detailide pinnale ning tööruumidesse tekitab riski tööohutuse seisukohalt. Kvartslivas sisalduv pliioksiid võib tekitada rasket kopsuhaigust (silikoos). Kvartsliva kasutamine tehnilisel otstarbel on paljudes riikides keelatud.
- **Ohutus.** Vesilõikuse teeb ohtlikuks eelkõike tema näilik ohutus. Paljas veejuga muutub inimesele ohtlikuks umbes 0,5 meetri kaugusel düüsist, kuid abrasiivjuga ei kaota oma jõudu isegi 6 meetri kaugusel allikast. Sellised ohud varitsevad enamasti 3D vesilõikuse puhul, kuna kahe koordinaadiga pingi puhul on tavaliselt juga suunatud alla ja ei kujuta endast sellist ohtu.
- **Hind.** Vesilõikust kasutusele võttes tuleb teha suur investeering seadmetesse. Seadmete hinnad on suurusjärgus 60.000–190.000 eurot.

3.5.9 Abrasiivse vesilõikuse rakendused

Vesilõikust on õnnestunult rakendatud sadades tehastes kümnetes eri maades. Tüüpilisemad tööstusalad, kus vesilõikust rakendatakse:

- autotööstus
- lennuki- ja kaitsetööstus
- ehitusmaterjalitööstus
- elektroonikatööstus
- klaasi- ja keraamikatööstus
- pakenditööstus
- toiduainetetööstus
- laevatööstus
- kummi- ja tihenditööstus.

Sirge lõikuse puhul ei ole abrasiivne vesilõikus tavaliselt konkurentsivõimeline meetod, võrreldes mehaaniliste või termiliste lõikemeetoditega. Õhukeste plaatide lõikamisel saavutatakse näiteks laser- ja plasmalõikusega suurem lõikekiirus kui vesilõikust kasutades. Eriti kõvasid ja kuumakartlikke aineid töödeldes või keerulisi kujundeid lõigates võib aga vesilõikus osutada majanduslikult tasuvaks lahenduseks. Veejoaga lõigatud toodete näited on toodud joonisel 3.132 ja abrasiivse veejoaga lõigatud toodete näited on toodud joonisel 3.133.



Joonis 3.132 Veejoaga lõigatud erinevast materjalist detailid



Joonis 3.13355 Abrasiivse veejoaga lõigatud erinevast materjalist detailid

Kordamisküsimused:

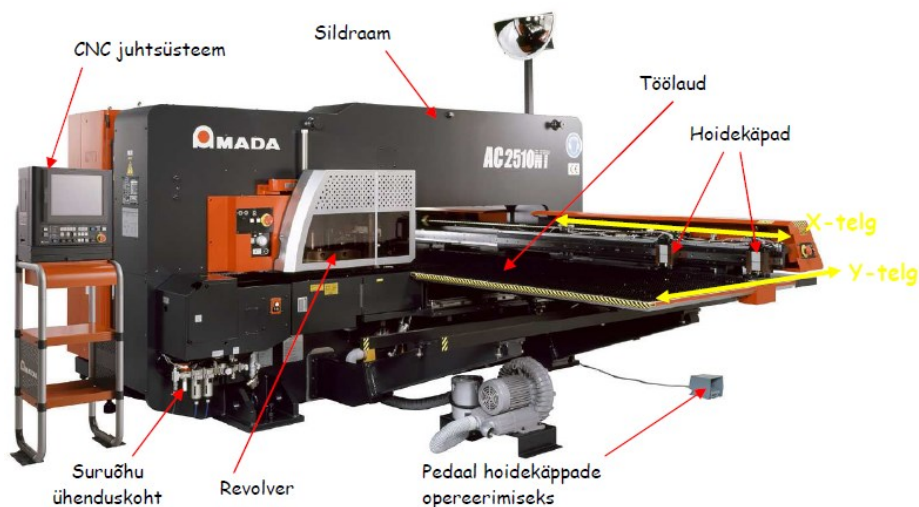
1. Mida nimetatakse vesilõikuseks?
2. Kirjelda vesilõikuspinki, tema põhilisi koostisosasid.
3. Millised on vesilõikuspingi kasutamise eelised võrreldes laserlõikepinkidega?
4. Kirjelda materjalide töötlemistehnoloogiat vesilõikuspingil.
5. Millist abrasiivmaterjali kasutatakse vesilõikusel?
6. Milline on maksimaalne saavutatav lõiketäpsus vesilõikamisel?
7. Millised on vesilõikuse eelised ja puudused?

3.6 Lehtstantsimine (Punching)

3.6.1 Revolverstantsi ehitus

Revolverstantse ehk lehekeskusi (Joonis 3.134) kasutatakse laialdaselt õhemast lehtmetailist toodete valmistamiseks. Materjali paksused jäävad tavaliselt 6 mm piiridesse ja maksimaalne stantsimisjõud on üldjuhul 30 tonni. Erinevate mõõtmetega stantsimistöriistad on paigutatud revolverisse. Revolvrit pöörates viiakse programmis määratud tööriist löögihaamri alla. Töödeldavat lehte liigutatakse seadme töölaual X- ja Y-telje suunas, tagades seeläbi lehe tasapinnalise liikumise. Kui leht on jõudnud programmis ettenähtud positsioonile ja seal peatunud, viiakse läbi stantsimisoperatsioon – tööriist surutakse löögihaamri poolt läbi materjali.

Revolverstantsid võimaldavad teha ka mitmesuguseid vormimis-, markeerimis- ja painutusoperatsioone. Sellisel juhul ei suruta templit täielikult läbi materjali, vaid läbi löögihaamri töökäigu täpse juhtimise tagatakse õige vormimissügavus, markeerimisjälje sügavus või painutusnurk. CAM programmi töötlemist ja erinevate üksuste koostööd kontrollib CNC juhtsüsteem. Revolverstantside erinevaid mehhanisme on käsitletud veidi lähemalt järgmistes peatükkides.

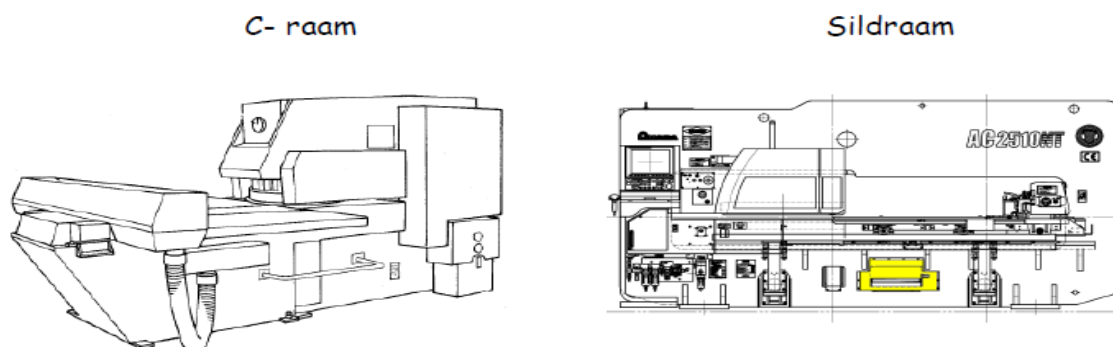


Joonis 3.134 Firma AMADA lehetöötlemiskeskus

3.6.2 Seadme raam

Seadme raamile kinnituvad revolverstantsi erinevad mehhanismid. Raami konstruktsioon peab olema piisavalt jäik, et tagada töödeldava lehe positsioneerimistäpsus kuni $\pm 0,01$ mm ja tööriista matriitsi ning templi samateljelisus. Kasutatakse kahte tüüpi raamikonstruktsioone: nn sildraamid ja C-raamid (Joonis 3.135). Sildraamiga konstruktsioon tagab, et stantsimisjõudude mõjul

raamis tekkivad deformatsioonid ei mõjutaks templi ja matriitsi samateljelisust. See on märkimisväärne eelis C-raamiga konstruktsiooni ees.

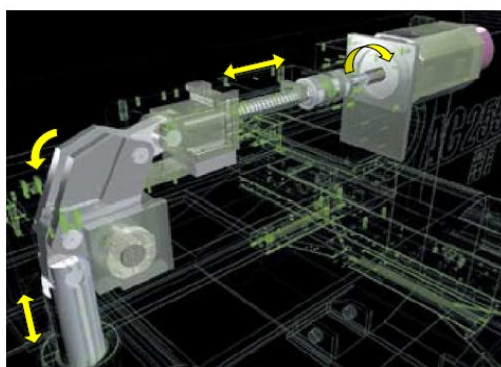


Joonis 3.135 Lehetöötlemiskeskuste erinevad raamitüübid

Keevitatud sildkonstruktsioon elimineerib ekstsentriliste koormuste puhul tekkivad painded, mis on iseloomulikud ebasümmeetriliste kujundite vormimisele, nakerdamisele (nibbling) ja ribastamisele (slotting). Matriitsi ja templi samateljelisus on oluline parameeter kõrge täpsuse ja tööriistade pikaajalise kestvuse tagamisel.

3.6.3 Löögihaamri ajam

Kaasaegsetel revolverstantsidel kasutatakse peamiselt kahte tüüpi löögihaamriajameid: hüdraulilisi ja servo-elektrilisi (joonis 3.136). Hüdroajam koosneb õli ringlema panevast ja õlisurvet tekitavast hüdropumbast (mida ajab ringi elektrimootor), voolikutest, klappidest, rõhuakust (kompenseerib rõhumuutusi kiirekäigulises hüdro süsteemis) ja hüdro silindrist, mis liigutab löögihaamrit. Hüdro süsteem vajab ka jahutusseadet, et tagada ringleva õli stabiilne temperatuur.

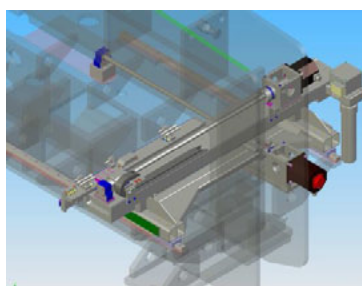


Joonis 3.136. Revolverstantsi löögihaamri servo-elektriline ajam

Tänapäeval on hakanud servo-elektrilised ajamid edukalt konkureerima hüdrauliliste ajamitega. Elektriline ajam koosneb servomootorist ja ülekandemehhanismist, mis muundab servomootori pöördliikumise lineaarliikumiseks. Servo-elektriliste ajamite eeliseks on oluliselt väiksem elektritarve, täpne löögihäämri kiiruse ja töökäigu juhtimine, suur stantsimiskiirus, seadme kompaktsus ja madal müratase. Võrreldes hüdroüsteemiga on elektrijamite hoolduskulud madalamad, kuna see sisaldab vähem tundlikke komponente ning puudub vajadus hüdroõli, filtrite ja jahutusseadme vee vahetamise järele. Joonisel 3.136 on näidatud servoelektriline ajam, kus servomootori pöördliikumise muundamine lineaarliikumiseks saavutatakse kuulkruvi poolt käitatava liigendatud hoova abil, mis pöörleb ümber oma telje. Selline lahendus võimaldab valida ülekande nii, et saavutatakse 20-tonnine haamrilöögijõud.

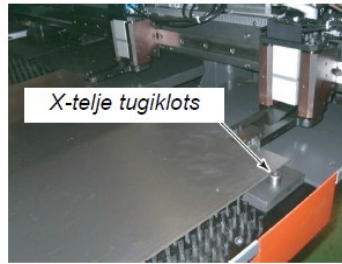
3.6.4 Lehe liigutamissüsteem

Lehe liigutamissüsteemil on oluline roll toodete täpsuse tagamisel. Stantsitavat lehte liigutatakse mõõda X- ja Y-telje servomootoritega käitatavate kuulkruvide abil. Hoidekäpaga varustatud kelgu (X-telg) ja lehte toetavate töölaudade (Y-telg) liikumise tagavad suure läbimõõduga kuulkravid ja lineaarjuhikud, mis peavad kindlustama kauakestva positsioneerimistäpsuse. Leht kinnitub seadme kelgu külge pneumaatiliste või hüdrauliliste hoidekäppade (Joonis 3.137) abil. Hoidekäpad peavad lehte kindlalt fikseerima, et vältida toote nihkumist kiirenduste ja pidurdamiste ajal. Toote nihkumine käppade suhtes kajastub otseselt stantsitava ava asukoha täpsuses.



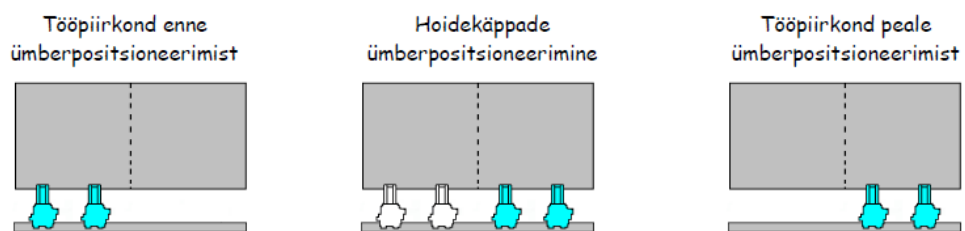
Joonis 3.137 Lehe hoidekäpa liigutamisskeem

Hoidekäpad moodustavad Y-telje baaspinna, et positsioneerida stantsitav metall-leht pikemat serva pidi. Pneumaatiliselt töölaust üles kerkiv tugiklots (Joonis 3.138) moodustab X-telje baaspinna ja võimaldab enne stantsimist leht hõlpsalt positsioneerida. Lehe paigaldamisel tuleb see hoolikalt asetada vastu hoidekäppasid ja X-telje tugiklotsi.



Joonis 3.138 X–telje tugiklots

Stantsitava lehe kaudu kanduvad vibratsioonid hoidekäppadele. Vormimisoperatsioonide ajal on oluline, et leht oleks horisontaalne. Vormimistöriistade matriitsid on ülejäänud tööriistadest kõrgemad ja võivad seetõttu lehe töölaualt üles kergitada. Viltu asetsev leht halvendab saavutatavat tulemust. Nn ujuvate hoidekäppade konstruktsioon väldib vibratsioonide edasikandumist kuulkrudevile (X-telg) ja hõlbustab vormimisoperatsioonide läbiviimist. Ujuvad hoidekäpad saavad vertikaalsuunas teatud ulatuses liikuda. Lehe liigutamissüsteemi telgede töökäigud on erinevad. Telgede töökäigud määravad ära seadme tööulatuse. Enimlevinud tööulatused (X x Y) on 1250 x 1000 mm, 1250 x 1250 mm, 2500 x 1250 mm ja 2500 x 1500 mm. Revolverstantsidel kasutatakse lehe ümberpositsioneerimist, et oleks võimalik töödelda X-telje töökäigust pikemat lehte. Lehe ümberpositsioneerimisel (joonis 3.139) surutakse esmalt tööleht kahe, kummalgi pool revolvril paikneva silindri abil kinni, seejärel vabastatakse automaatselt hoidekäpad ja viiakse need uude asukohta, kus hoidekäpad haaravad lehest uuesti kinni. Seejärel töödeldakse ülejäänud osa lehest.

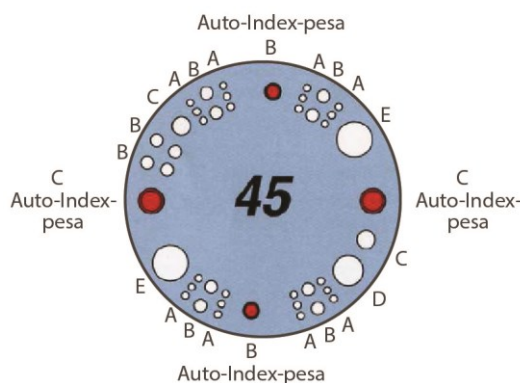


Joonis 3.139 Hoidekäppade ümberpositsioneerimise skeem

3.6.5 Revolver

Revolvrid valmistatakse materjalist, mis tagab kõrge löögisitkuse, kulumis-, kuumus- ja korrosioonikindluse. Revolvrid tehakse paksusega kuni 120 mm, et garanteerida templite täpne suunamine matriitsi suhtes. Tööriistade täpne tsentreering vähendab nende kulumist ja hooldusvajadust (teritusvälpa). Revolvrite mitmerajaline konstruktsioon võimaldab suurendada mahuta-

tavate tööriistade arvu. Distant alumise revolvri pealispinna ja ülemise revolvri alumise pinna vahel on samuti oluline parameeter, kuna see määrab ära maksimaalse painutus- ja vormimis-kõrguse. Revolverpea olemus on toodud joonisel 3.140.



Joonis 3.140 Revolverpea 45 tööriistapesaga

Revolvrise paigutatakse stantsimistöörüstid. Ülemises revolveris asuvad templid ja alumises revolveris matriitsid. Tööriistad on grupeeritud nende suuruse järgi viite rühma: A, B, C, D ja E. Vastavalt sellele nimetatakse tööriistu A-, B-, C-, D- või E-pesa tööriistadeks. Joonisel 3.140 ja tabelis 3.14 on toodud 45 tööriistapesaga revolveri skemaatiline kujutis ja olulisemad tehnilised andmed. Tööriistapesad on fikseeritud või pööratavad. Pööratavad tööriistapesad (näidatud punase värvusega) on motoriseeritud, mis võimaldab stantsida antud pesasse paigaldatud tööriistaga erinevate nurkade all. Motoriseeritud tööriistapesasid nimetatakse ka Auto-Index-pesadeks.

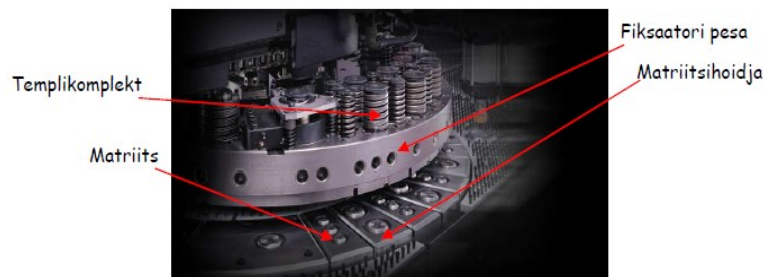
Tabel 3.14. 45 tööriistapesaga revolveri tehnilised andmed

Tööriistapesa	Ø	Templi läbimõõt (mm)
A	1/2"	1,6 ... 12,7 mm
B	1"1/4	12,8 ... 31,7 mm
C	2"	31,8 ... 50,8 mm
D	3"1/2	50,9 ... 88,9 mm
E	4"1/2	89 ... 114,3 mm

Ø – templi läbimõõt tollides

Alumise revolveri ülemine osa koosneb väljavõetavatest sektoritest. Eemaldatavaid sektoreid nimetatakse matriitsihoidjateks. Sõltuvalt matriitsi suurusest mahub ühte matriitsihoidjasse 1 kuni 3 matriitsi. Joonisel 3.141 on näidatud revolver, kus ülemise revolveri läbimõõt on väiksem

kui alumise oma. See võimaldab mugavat ligipääsu matriitsidele ja tagab nende kiire vahetamise, ilma et oleks vaja kasutada tööriistu.



Joonis 3.141 Erinevate läbimõõdudega revolverpead

Vajamineva tööriista valimiseks pööratakse revolver sobivasse positsiooni. Revolvri õigesse positsiooni lukustamiseks kasutatakse nn fiksaatorsõrmesid (Joonis 3.142). Enne revolvri pöörämist tõmmatakse fiksaatorsõrm pneumosilindri abil revolvrist välja. Peale revolvri pöörämist ja sobivas kohas peatamist lükatakse fiksaatorsõrm uuesti revolvri fiksaatori pesasse.

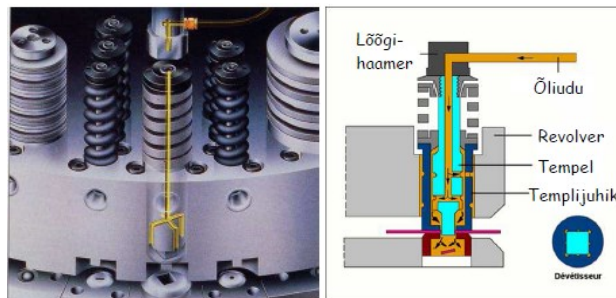


Joonis 3.142 Matriitsihoidja

3.6.6 Tööriistade õlitussüsteem

Tööriistade õlitamine (Joonis 3.143) on oluline nende pika tööea tagamise seisukohalt. Tööriistade õlitussüsteem pihustab löögihamrisse tehtud õlikanali kaudu templisse õliudu. Templis asetsevad õlikanalid kannavad määrdetempli välispinnale ja templijuhi sisepinnale. Templijuhis oleva ava kaudu viiakse õli templijuhi ja revolvri juhtpinna vahele. Templi otsa ümbritsevate väikeste avakeste kaudu jõuab õli ka lõikepinnale. Templi otsa ümbritsevate väikeste avakeste kaudu väljatungiv, surve all olev õli väldib stantsimisel tekkiva metallipuru sattumist

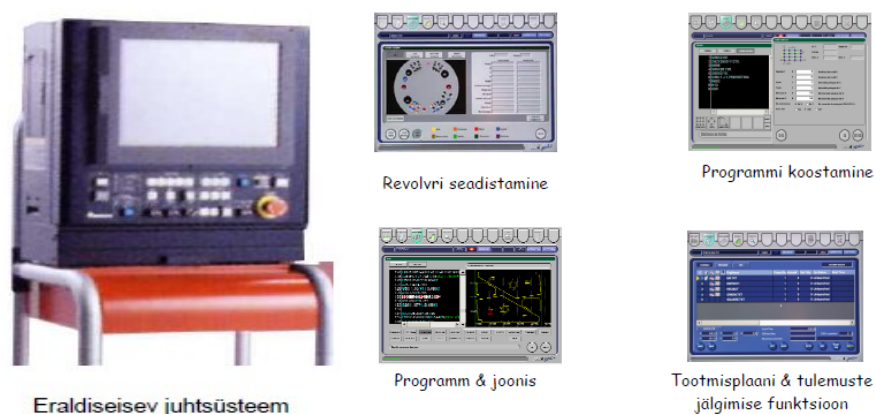
templikomplekti sisemusse templi ja selle juhiku vahele. Automaatne tööriistade õlitamine võimaldab suurendada teritusvälpa ja seeläbi tööriistade eluiga ligi 2,5 korda.



Joonis 3.143 Templite määrimise süsteem

3.6.7 CNC juhtpaneel

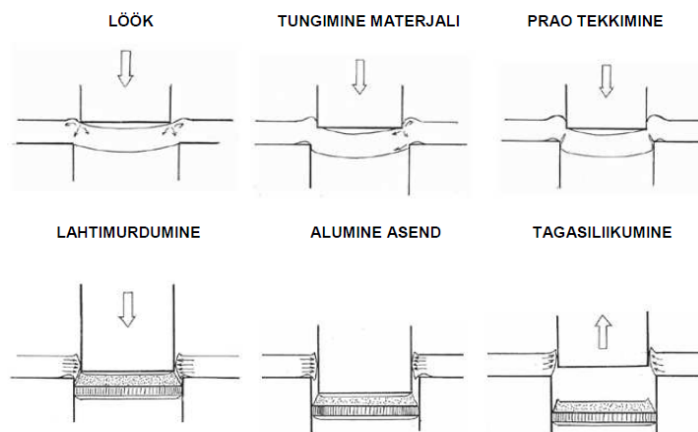
CNC juhtpaneelilt (Joonis 3.144) toimub töörežiimide valik, programmide sirvimine, tootmisplaani koostamine, tööriistade haldus, programmide võrgust allalaadimine (kaasaegsetel juhtsüsteemidel on valmidus võrku ühendamiseks), programmide käivitamine jne. Kaasaegsed juhtsüsteemid toimivad Windowsi keskkonnas ja omavad kasutajaliidest, kus on lihtne orienteeruda. Stantsimisprogramme on samuti võimalik otse juhtpaneelilt koostada, kuid reeglina kasutatakse programmeerimisel CAM tarkvara, mis võimaldab uute programmide koostamist otse kontoriarvutil. See tagab märksa tõhusama töö ja seeläbi uute toodete juurutamise paindlikkuse. CAM tarkvara võimaldab stantsimisprogrammide koostamist otse CAD faili põhjal, mis vähendab märkimisväärselt vigade tekkimise võimalust.



Joonis 3.144 Revolverstantsi juhtpaneel ja display kuvandid

3.6.8 Stantsimise põhitõed

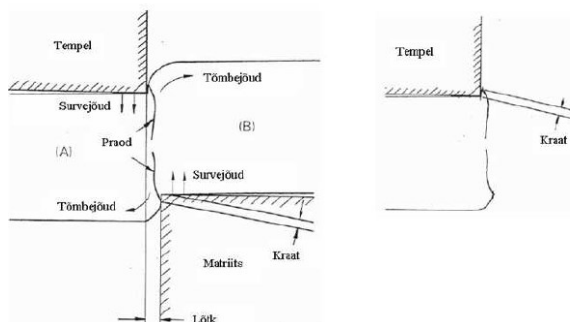
Stantsimisprotsessis surutakse materjal templi abil matriitsi (Joonis 3.145). Materjalis tekkivate nihkepingete tõttu hakkab materjalis arenema pragu, mille tulemusena jääde eraldub lõpuks materjalist.



Joonis 3.145. Lehtmaterjali käitumine ava stantsimisel

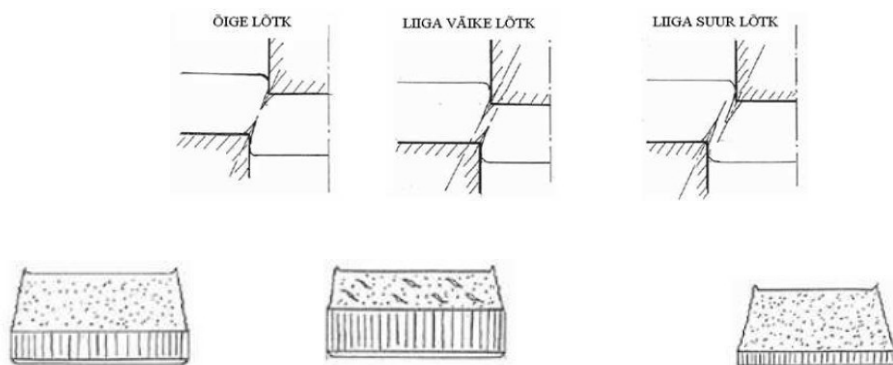
Materjalis toimub surve- ja tõmbe jõudude mõjul esmalt materjali elastne ja seejärel plastne venimine, kuni lõpuks hakkab tekkima pragu (Joonis 3.145). Praagu tekib samaaegselt nii matriitsi-poolses kui ka templipoolses küljes. Templi ja matriitsi vaheline lõtk peab olema valitud nii, et arenevad praod ühinevad materjali keskosas. Lõtku valimise aluseid käsitleme antud peatükis hiljem.

Materjali venimise tõttu tekib stantsimisprotsessile iseloomulik kraat. Kraadi suurus on sõltuv lõtkust ja tööriistade kulumisastmest. Stantsitava ava minimaalne lubatud läbimõõt on alumiiniumi ja madalsüsinikterase puhul ühekordne materjali paksus ja roostevaba terase puhul kahekordne materjali paksus. Kujundite (ristkülik, ruut jne) puhul peaks tööriista minimaalne laius olema vähemalt kahekordne materjali paksus.



Joonis 3.146. Materjali käitumine stantsimisel

Vale lõtku korral ei liitu stantsimisel tekkivad praod materjali keskosas, vaid need jooksevad teineteisest mööda (joonis 3.146). Liiga väikesest lõtkust annab tunnistust läikiva pinna suur osakaal lõikepinnast. Suure lõtku korral on, vastupidi, läikiv pinnaosa väike.



Joonis 3.147. Pragude tekkimine materjalisse matriitsi ja templi erinevate lõtkude korral

Lõtku defineeritakse kui matriitsi ja templi vahelist pilu. Näiteks kui templi läbimõõt on 10 mm ja matriitsi ava läbimõõt on 10,3 mm, siis lõtk on $10,3 - 10,0 = 0,3$ mm. Kasutatava lõtku väärtus sõltub eelkõige lehekeskuse ajami tüübist (mehaaniline, hüdrauliline või servoelektriline) ja stantsitava materjali tüübist ning paksusest. Vale lõtku kasutamine põhjustab suuremat kraati ja vähendab tööriista eluiga.

Soovitavad lõtku väärtused hüdrauliliste ja servoelektriliste ajamite puhul:

- madalsüsinikteras: 20–25% materjali paksusest
- alumiinium: 15–20% materjali paksusest
- roostevaba teras: 25–30% materjali paksusest.

Arvutusnäide:

Lõtku arvutamine 1,2 mm paksuse madalsüsinikterase jaoks:

$$1,2 \text{ mm} \times 0,2 = 0,24 \text{ mm} \text{ või } 1,2 \text{ mm} \times 0,25 = 0,3 \text{ mm}$$

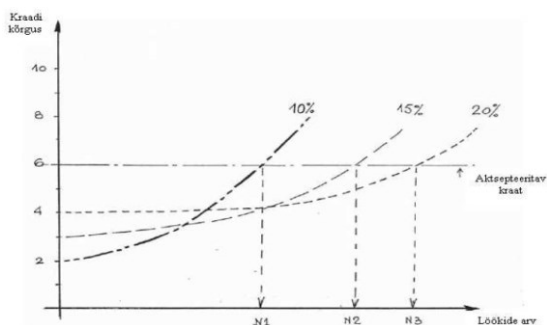
Seega on soovitatav lõtk 0,24–0,30 mm.

Soovitavad lõtku väärtused mehaaniliste ajamite puhul:

- madalsüsinikteras: 12–18% materjali paksusest
- alumiinium: 10–16% materjali paksusest

- roostevaba teras: 14–22% materjali paksusest.

Lõtku valikust sõltub tööriista kulumise kiirus. Nagu näidatud joonisel 3.148, tagab väiksem lõtk (10%) alguses väiksema kraadi, kuid tööriista kulumise kiirus on suurem ja samuti muutub tootel kraat kiiremini suuremaks. Kui lõtk on suurem, siis toimub kulumine aeglasemalt (kulumiskõver on laugem) – tööriist kestab kauem ja teritada on vaja harvemini, mis omakorda aitab säästa operaatore tööaega.



Joonis 3.148 Lõtku ja kraadi vaheline sõltuvus

Vajalik stantsimisjõud

Maksimaalne stantsitava ava kontuuri pikkus (Joonis 3.148) sõltub materjalist ja selle paksusest. Vajalik stantsimisjõud on arvutatav järgmise valemi abil:

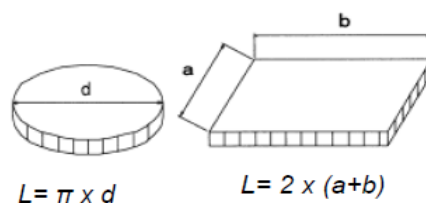
$$P = L \times t \times \tau / 1000$$

P – vajalik stantsimisjõud (kN)

L – lõikekontuuri pikkus (mm)

t – materjali paksus (mm)

τ – materjali tõmbetugevus (N/mm²)



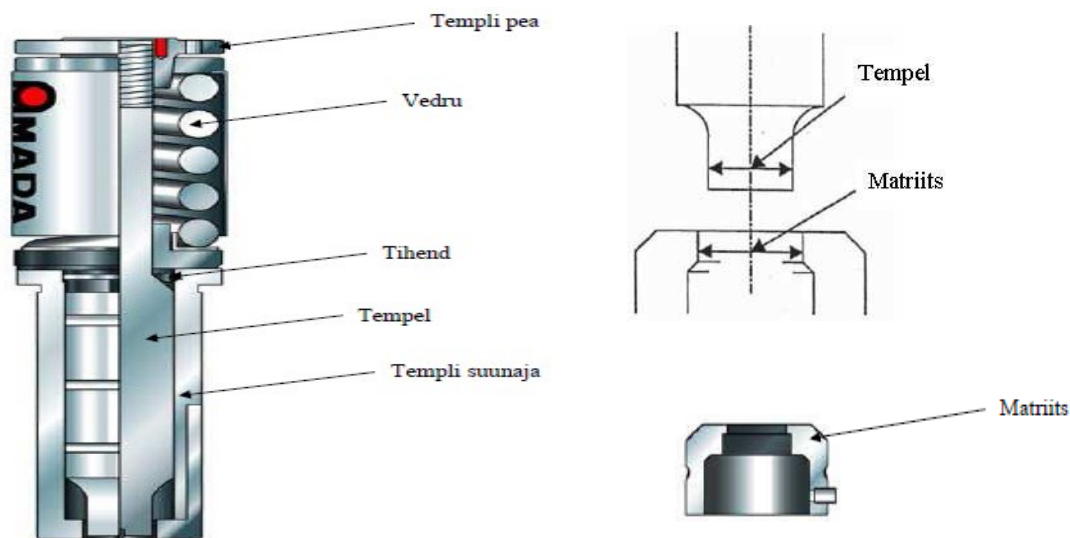
Joonis 3.149 Lõikekontuuri erinevad pikkused

Kui selle valemi abil leitud väärtus ei ületa lehekeskuse stantsimisjõudu, siis on antud operatsioon teostatav.

3.6.9 Tööriistad

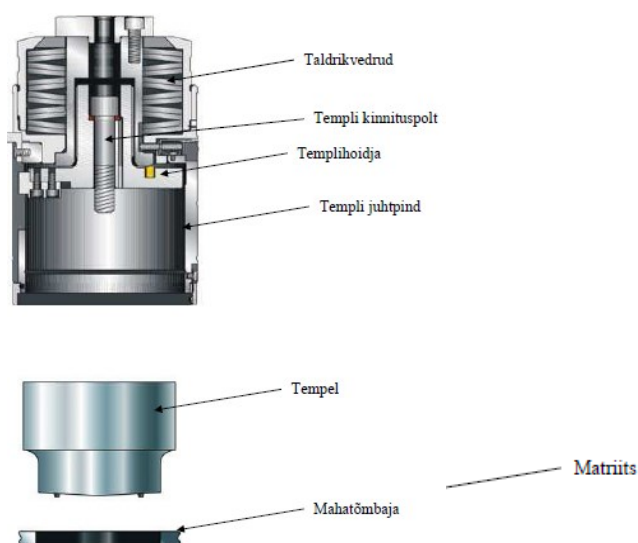
Tööriistakomplekti põhikomponendid on tempel, templi suunaja, vedru (tagab templi ülesliikumise peale stantsimise sooritamist) ja matriits (Joonis 3.150). Lähtuvalt templi maksimaalsest läbimõõdust (või diagonaali pikkusest kujundi puhul) rühmitatakse tööriistad A-, B-, C-, D- ja E-pesa tööriistadeks.

A- ja B-pesa tööriistade komponendid



Joonis 3.150. A- ja B-pesa tööriistad: tempel ja matriits

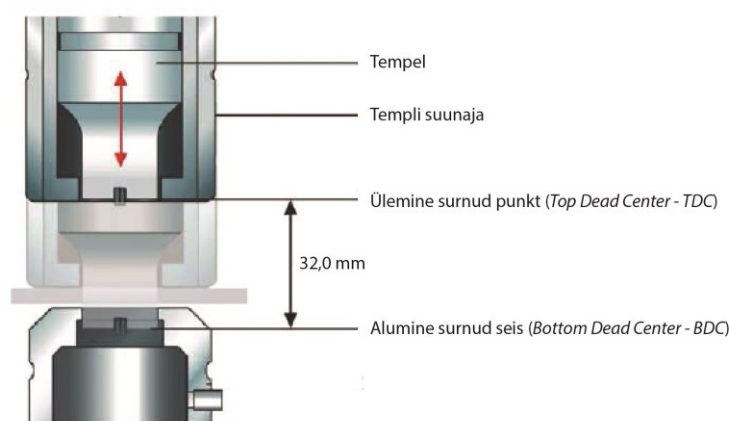
C-, D- ja E-pesa tööriistad koosnevad tööriistahoidjast ja templikomplektist (Joonis 3.151). Tempel kinnitatakse poldi abil templihoidja külge.



Joonis 3.151. C-, D- ja E-pesa tööriistad: tempel ja matriits

3.6.10 Mehaaniline ajam

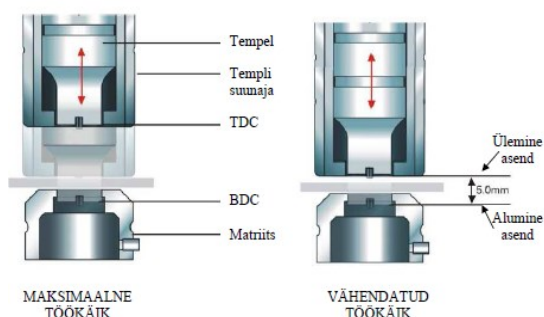
Mehaanilise lehekeskuse ajam sisaldab vāntmehhanismi ja hooratast. Tōōkāk on konstantne. Esmalt liigub kogu templikomplekt alla, templi suunaja ots surutakse materjali vastu, mis tagab selle paigalpūsimise. Seejārel surutakse tempel lābi materjali ja jāāde vāljub matriitsi kaudu. Kōige kōrgemat templi asendit nimetatakse ūlemiseks surnud punktiks ja kōige alumises asendis olles asub templi ots alumises surnud punktis (Joonis 3.152). Ūlemise ja alumise surnud punkti vahekaugust nimetatakse **tōōkākiguks**.



Joonis 3.152. Templi ūlemine ja alumine surnud punkt

3.6.11 Hūdraulilised ja servo-elektlised ajamid

Need ajamid vōimaldavad muuta templi matriitsi tungimise sūgavust ja kōrgust, kuhu tempel liigub peale stantsimisoperatsiooni sooritamist. See asjaolu vōimaldab lūhendada tōōkākigu ja tōsta seelābi stantsimiskiirust (Joonis 3.153). Operaator saab määrata templi kōige ūlemise ja kōige alumise asendi.



Joonis 3.153 Templi vāhendatud ja maksimaalne tōōkāk

TDC – (top dead center) templi lühendatud töökäigu algpositsioon

BDC – (bottom dead center) templi lõpppositsioon materjali läbistamisel

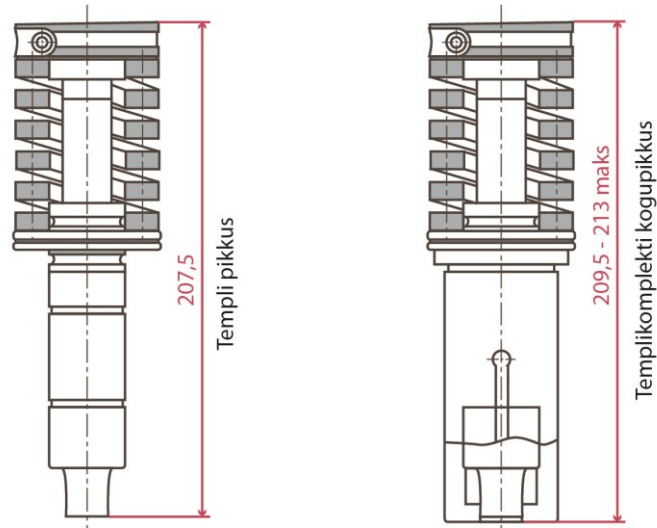
3.6.12 Tööriistade teritamine

Harilikult tuleb tööriistu piisava tihedusega teritada 0,1 mm või vähema võrra, et pikendada tööriistade tööiga. Kuigi tööriista kulumine sõltub stantsimistingimustest, on soovitatav jälgida iga 20.000 löögi järel paksu materjali stantsimisel ja iga 40.000 löögi järel õhukese materjali stantsimisel, kas templi ja matriitsi servad on endiselt teravad ning läikivad. Tööriistade ja stantsitava materjali vaheline hõõrdumine ei põhjusta mitte ainult lõikeserva nüristumist ja kraadi suurenemist, vaid ka stantsimistulemuse ebatäpsust. Tööriista kulumine sõltub löökide arvust ja stantsitava materjali tüübist ja on kõige paremini määratav. Õige lõtku valimine tagab kõige väiksema kraadi.

Põhimõte on, et tööriista tuleb teritada, kui kraadi kõrgus ületab konkreetse toote puhul maksimaalse lubatava väärtuse. Enamikel juhtudel ei ole teritusvälba valikul mõistlik lähtuda ainult teostatud löökide arvust. Ka sama paksusega materjalide stantsimisel sõltub kulumise iseloom materjali tüübist. Kui tööriistu ei hooldata korralikult, siis ei suurene mitte ainult vajalik terituspikkus, vaid väheneb ka tööriista eluiga. Tungivalt soovitatakse viia läbi minimaalne teritamine, kui kerge kulumine on märgatav. See võimaldab säilitada maksimaalset stantsimistäpsust.

3.6.13 Tööriista pikkus (A- ja B-pesa standardtööriistad)

Templi teritamisel selle pikkus lüheneb. See tähendab, et löögihaamri liikumisel alumisse surnud punkti ei tungi tempel enam endisele sügavusele matriitsi. Seetõttu tuleb templi pikkus reguleerida nii, et see oleks võrdne teritamisele eelnenud väärtusega. Templi pikkus on distants templi pea ülemise pinna ja templi otsa vahel. Templi pikkust reguleeritakse, pöörates templi pead päri- või vastupäeva. Templi pikkus tuleb reguleerida nii, et see oleks A- ja B-pesa tööriistadel 207,5 mm. Iga kord peale teritamist, kui kompenseeritakse templi pikkuse kahanemine, suureneb tempelkomplekti kogupikkus. Kogupikkus peab jääma vahemikku 209,5...213 mm (Joonis 3.154). Kui kogupikkus on suurem, siis tekib oht, et löögihaamer läheb vastu templi pead.



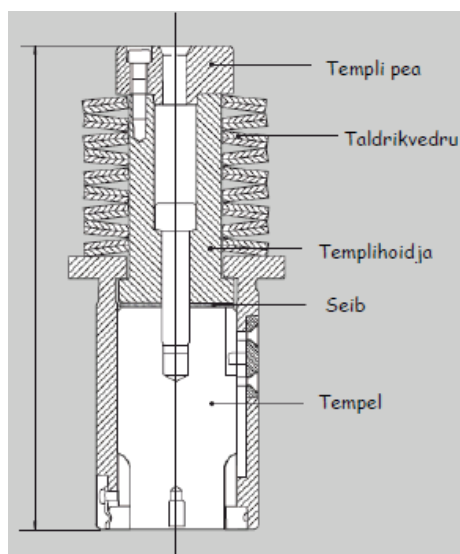
Joonis 3.154 Templikomplekti nõutavad pikkused peale teritamist

3.6.14 Tööriista pikkus (C-, D- ja E-pesa standardtööriistad)

Erinevalt A- ja B-pesa tööriistadest on C-, D- ja E-pesa standardtööriistade templikomplekti (Joonis 3.155) kogupikkus konstantne. Peale templi teritamist ei pöörata templi pead templi pikkuse kompenseerimiseks, vaid asetatakse seib templi ja templihoidja vahele. **Seibi paksus peab olema ligilähedane templi lühenemisele** teritamise käigus. Seib liigutab templi antud väärtuse võrra allapoole ja endine pikkus on taastatud.

Tööriistadele tuleb tagada järgmised templipikkused (seibi abil):

- C-pesa 208 mm
- D-pesa 209 mm
- E-pesa 210 mm



Joonis 3.155 C-, D-, E-templikomplekti ehitus

3.6.15 Matriitside teritamine

Matriitside kõrgus on 30 mm (nii A-, B-, C-, D- kui ka E-pesa matriitsid). Ühel terituskorral on soovitatav matriitsi teritada 0,1 mm võrra madalamaks. Peale teritamist tuleb kompenseerida kõrguse vähenemine seibi abil (Joonis 3.156), mis asetatakse matriitsi tugipinna alla. Jälgi, et matriitsil ei ole peale teritamist kraate ega teravaid servi. Soovitatav on ümardada matriitsi serva luisuga, et vältida kriimustuste tekkimist lehe pinnale.



Joonis 3.156 Matriitside kõrguse reguleerimiseid

Kordamisküsimused:

1. Mida nimetatakse stantsimiseks?
2. Nimeta stantsimispingi põhiosad ja kirjelda nende ülesannet.
3. Millised on stantsimisel kasutatavad tööriistad?
4. Milliseid omadusi nõutakse lehtmetailidelt nende stantsimisel?
5. Võrdle stantspinkide tootlikkusparameetreid.
6. Nimeta ohutusnõudeid stantsimisel.

3.7 Tootmise efektiivsus

1. Kas sa tead, mis on tootmise efektiivsus ja milleks on see vajalik?
2. Mis sa arvad, miks on detaili defektideta ja kiire tootmine oluline?
3. Kas sul on vastavad teadmised ja iseloomuomadused efektiivseks toimetamiseks toote valmistamisel?
4. Kas sa tead, kuidas toota ettevõttes kasumlikult?

Efektiivsuse mõiste eesti keeles võib taandada sõnadele „mõjus“ või „tõhus“. Mõjus tegevus tähendab teatava resultaadi saavutamist, tõhus tulemus aga soovitud eesmärgi saavutamist. Seega

võib efektiivsust iseloomustada kui tegevust parima tulemi saavutamiseks määratud ajavahemikul. Tootmise efektiivsus hõlmab nii inimtööjõu kui masinate ja seadmete tulemusnäitajaid etteantud ajaühikus.

Töö tootlikkus ehk lühima ajaga kvaliteetse toote valmistamine või teenuse osutamine on igasuguse inimtegevuse olulisemaid väljakutseid. Töö kõrge tootlikkuse saavutamine ettevõtluses on komplitseeritud ja keeruline ülesanne, mis ühelt poolt eeldab iga töötaja häid ja väga häid erialaseid oskusi, kohusetundlikkust, töömotivatsiooni, teiselt poolt aga mitmekesiseid sidus-teadmisi ettevõtlusest ning majandusest. Siia lisanduvad teadmised inimsuhetest kollektiivis, töö organiseerimisest, infotehnoloogiast, logistikast jpm.

Tootlikkus ettevõttes koosneb kahest osast: efektiivsest tootmisprotsessist, kus kõik lülid toimivad ergonoomiliselt koos, ning töötajatest, kes teevad oma tööoperatsioone efektiivselt. Teisisõnu – efektiivne tootmine eeldab kogu organisatsiooni kõigi osategevuste kooskõlastatud toimimist. Igasugune ebatäpne informatsioon tootmisprotsessi reguleerimises toob endaga sageli kaasa tootmise efektiivsuse languse ja ressursside raiskamise.

Tootmise efektiivsuse suhtelist madaluseisu Eestis iseloomustab fakt, et sinne keskmine tootlikkus on alla 60% Euroopa Liidu vastavast keskmisest näitajast. Töö tootlikkuse tõstmine on seega oluline ressurss ettevõtete majandusnäitajate parandamiseks.

Tootmise efektiivsuse tõstmine ei seisne ainult uute ja tootlikumate seadmete ostmises, vaid on timmitud tootmise (Lean Production) süsteemne ning kogu ettevõtet kattev arendamine. Täpne ja õigeaegne informatsioon ettevõtte tegevuse kõikides lülides on vaieldamatu eeltingimus majandustegevuse efektiivsemaks muutmisel. Info- ja kommunikatsioonitehnoloogia (IKT) ülesanne ongi siduda ettevõttes info liikumise horisontaalsed ja vertikaalsed tegevused ühtseks toimimisprotsessiks.

Tootmise efektiivsus on seda kõrgem, mida vähem kulutab inimtööjõud aega mittetootlikule tegevusele – ettevalmistus-, lõpetus- ja abiaegadele – ning mida kauem tootmiseseade ööpäevas töötab. Tootmise korraldamine ainult ühes vahetuses tõstab jooksvaid üldkulusid (soojus- ja elektrienergia jm) ning suurendab lõppkokkuvõttes toodete omahinda. Tootmiseseadme ostuhinna tasateenimise periood on seda pikem, mida vähem tooteid toodetakse.

Arvestades seadme füüsilist ja moraalset kulumist, on tööviljakuse näitaja juures oluline roll seadmepargi uuendamisel mõistliku ajavahemiku tagant või tootmise laiendamist silmas pidades.

Ajaühikus võimalikult rohkem kvaliteetseid tooteid toota on iga tootmisettevõtte töö organiseerimise üks olulisemaid ülesandeid. Seda muidugi tingimusel, et on olemas turg või tellija, kes on huvitatud nende toodete ostmisest.

Lõppkokkuvõttes taandub tootmise efektiivsus rahalistele näitajatele, millest ühe olulisemana võib nimetada rentaablust. Rentaabluse näitaja on suhtarv, mis väljendab kasumi teenimist mitmesuguste kulukohtade suhtes – käibe rentaablus, tööjõu rentaablus, tootmispinna rentaablus, tootmisseadmete rentaablus jpm. Teisisõnu väljendab rentaablusnäitaja ettevõtte kui terviku ja tema osategevuste tulusust.

Tootmisettevõtte peaesmärk on toota kasumit. Kasumi saamine ettevõttes taandub aga kulude maksimaalsele kokkuhoiule ja töö kõrgele tootlikkusele tema kõikides ilmingutes. Seega on igasuguste kulukohtade kontrolli all hoidmine ettevõttes väga oluline tegevus, mis omakorda saab baseeruda pideval analüüsil kulude tekkekohtade üle.

Kordamisküsimused:

1. Mida tähendab tootmise efektiivsus?
2. Mis on rentaablus ja kuidas seda arvutada?
3. Millist ülesannet täidab ettevõtte majandusnäitajate planeerimine?

3.8 Töötlemissaja arvutus

Tootmise efektiivsuse üheks määravaks osaks on detaili töötlemisele kuluv aeg. Mida vähem kulub aega kvaliteetse detaili valmistamiseks, seda kõrgem on tööprotsessi efektiivsus. Töötlemissaja vähendamine on olnud ajendiks automaatpinkide konstrueerimisel ja valmistamisel. Arvuti vahendusel töötlemispinkide juhtimine on võimaldanud kordades kiirendada nõutava kvaliteediga detailide valmistamist.

Automaatpinkide kasutamise eelis ilmneb eriti seeriatootmises, kus tootmisprotsessi ettevalmistamisel on vaja läbi töötada erinevad variandid detaili lühima töötlemisaja leidmiseks. Seejuures on vaja eristada masinaega ja mitmesuguseid abiaegu, ilma milleta ei ole võimalik detaili valmistada. Masinaeg on aeg, mille jooksul teeb tööpink erinevaid operatsioone detaili valmistamiseks. Laserlõikepinkide puhul sõltub see näiteks masina võimsusest, lõigatava materjali keemilisest koostisest, materjali paksusest, kasutatavast gaasist ja lõikekiirusest.

Abiaegadeks on näiteks aeg materjali ettevalmistamiseks, pingi seadistamiseks, proovidetaili valmistamiseks ja mõõtmiseks, vajadusel tööpingi ümberhäälestamiseks sõltuvalt proovidetaili kvaliteedinäitajatest jpm. On ilmne, et abiaegade osatähtsus detailide valmistamisprotsessis on seda väiksem, mida suurem on valmistatava partii suurus. Samas on isegi sekund töötlemisaja võitu suurserieiate puhul oluline.

Mida keerukam on valmistatav detail, seda olulisem on analüüsida tema valmistamiseks kuluva aja vähendamise võimalusi, eriti siis, kui detaili lõppvalmiduse saamiseks kasutatakse erinevaid tööpinke. Oma osa on ka pingioperaatori töövõtetel ergonomiliste lahenduste leidmiseks detailide töötlemisel. Tuleb välja selgitada, millised on õiged ja vähim aega nõudvad ja mitteväsitavad liigutused tööpinkide seadistamisel, materjalide ettevalmistamisel, detaili mõõtmete kontrollimisel, detailide üleandmisel lattu või järgmist operatsiooni tegeval pingil töötamisel. Lihtsustatud kujul võib detaili töötlemisaja määramiseks kasutada alljärgnevat seost:

$$T_a = \frac{M_a + A_a}{D_a}$$

T_a – töötlemisaeg

M_a – masinaeg

A_a – abiajad

D_a – detailide arv.

Detaili efektiivse töötlemisaja (T_{aef}) arvutamiseks kasutatakse alljärgnevat seost:

$$T_{aef} = \frac{M_a}{D_a}$$

Mõõtühikuteks on vastavalt detaili lõplikuks valmistamiseks kulutatud aeg sekundites, minutites või tundides. Samas on vaja võrrelda detaili valmistamiseks planeeritud ja tegelikult kulunud aega. See on oluline seetõttu, et likvideerida ebakõlad planeerimisel ning luua õiged detaili omahinna arvestamise alused, millest kujuneb detailide valmistamise kasumlikkus.

Kordamisküsimused:

1. Milleks on vaja arvutada toodete töötlemisaega?
2. Kuidas on võimalik lühendada toodete valmistamiseks kuluvat aega?

3. Mida tähendavad masinaeg ja abiaeg?

3.9 Omahinna kujunemine

Detaili **omahind** (ingl. k cost) saadakse detaili tootmiseks tehtud kulutuste summeerimise teel. Seeriatootmise puhul kujuneb detaili omahinnaks kõikide tootmiseks kasutatud kulutuste (ressursside) hulga jagamine detailide arvuga. Seeriatootmise korral on seega tegemist keskmise näitajaga, mis sõltub kahest tegurist: kasutatud ressursside (ehk kulude) summast ja toodetud tooteühikute (detailide, koostude jne) hulgast. Seejuures tuleb arvestada ettevõtte kõikide kuludega, nii otseste kui kaudsetega. Otseste kulude hulga kuuluvad kõik detailide valmistamisega seotud vahetud kulud, kaudsete kulude hulga aga näiteks juhtimiskulud, energiaressursside hankimiskulud, sidekulud jms.

Detaili omahinna puhul on tegemist esmalt arvestuslike (ehk planeeritud) kuludega, mille täpsusest sõltub ettevõtte töö tulukus, detailide valmistamise järel aga tegeliku omahinnaga, mille arvestuse aluseks on raamatupidamiskanded. Mida täpsem on omahinna kahe kuluarvestuse poole (planeeritud ja tegeliku) kokkulangevus, seda hinnatum on arvestajate töö.

Millised kulud lülitatakse konkreetsel juhul omahinna arvutusse, sõltub täpsemast omahinna määratlusest. Enamlevinud omahinnakategooriad on:

1. **tootmisomahind** (manufacturing costs) – tootmiskulud ühiku kohta
2. **täisomahind** (full costs) – kogu väärtusahela kulud ühiku kohta.

Detaili (toote) omahinnast rääkides on vaja esmalt täpsustada, millist omahinda ehk millist kulude kogumit ühiku kohta silmas peetakse. **Tootmisomahinna** koosseis on määratud finantsraamatupidamist reguleerivate seadustega (st omahind raamatupidamise aastaaruande koostamise jaoks). Viimane sisaldab ainult **tootmiseks vajalikke kulutusi** (manufacturing costs, absorption costs), st ei sisalda toote juurutamise, turustamise ning ettevõtte üldjuhtimise kulusid. **Täisomahind** (full costs) sisaldab kogu toote väärtusahela kulusid, kaasa arvatud halduskulud ja müügi- kulud ning mõnikord ka toote juurutamis- ja lõpetamiskulud.

Kuna kulusid saab toodete koguse suhtes liigitada muutuvateks ja püsivateks, siis võime rääkida ka:

1. **muutuvkulused sisaldavast omahinnast** (variable costs, marginal costs)
2. **koguomahinnast** (total costs), mis sisaldab nii muutuvaid kui ka püsivaid kulusid (näiteks tootmisomahind ja täisomahind sisaldavad tavaliselt mõlemaid).

Muutuvad kulud on kulud, mille kogusuurus sõltub toodete hulgast, **püsivad kulud** aga on kulud, mille kogusumma ei sõltu sellest, kui palju toodetakse. Kui arvatud toote omahind sisaldab püsikulusid, peab sellise omahinna tõlgendamisel alati olema äärmiselt ettevaatlik. Tähelepanuväärne on asjaolu, et võrreldes varasema ajaga moodustavad tänapäeval ja seda enam edaspidi püsikulud aina suurema osa kõikidest kuludest.

Pole olemas ühtselt kasutatavat omahinna arvutamise meetodit. Meetodi headuse ja õigsuse määrab eelkõige see, mille jaoks on vaja omahinda leida. Näiteks toote pikaajalise keskmise müügihinna määramisel on tavaliselt mõistlik teada toote täisomahinda (full costs), samas kui ekstreemsetes tingimustes, näiteks majanduskriisi ajal, peame teadma ka muutuvkulude omahinda (variable costs). Tootmisomahinda (manufacturing costs, absorption costs) on aga kindlasti vaja raamatupidamise aastaaruande koostamisel, et määrata kindlaks varude summa bilansis ning müüdud kauba maksumus kasumiaruandes. Tootmisomahinda ei soovitata kasutada juhtimisotsuste tegemisel.

Toodete omahinna kujunemise protsessi kontrolli alla saamine on ettevõtte jätkusuutliku tegevuse jaoks ülioluline. Kui ettevõtte toodab erinevaid tooteid, on sageli hilisema analüüsi käigus selgunud, et nii mõnigi toode ei ole kasumlik. Põhjus ei ole niivõrd otsekuludes tootele, vaid just kaudsetes kuludes, mille piiritlemine võib osutada komplitseeritaks (keeruliseks) tingituna mõningasest määramatusest. Näiteks pikk ja ebakindel müügiprotsess, kõikumised turunõudluses, majanduskriisid, kõrged juhtimiskulud, ettevõtte hoonete rendihindade muutus jpm. Selle kõige ennetamiseks ongi vajalik tõsiselt tegeleda omahinna kujundamise ja kujunemise analüüsiga.

Tootmisomahinna ja täisomahinna võrdlus on analüüsis oluline ja võimaldab välja tuua toote omahinna komponendid ja kasumi. Tootmisomahinna puhul ei ole väljatoodud kasum aga puhas kasum, kuna selle kasumi arvelt peab katma ka üldkulud. Täisomahinna puhul on vajalik välja tuua lisaks otsekuludele ka üldkulud tooteühiku kohta. Täisomahinna leidmine on sageli keeruline, sest näiteks raamatupidamiskulusid või juhtimiskulusid ühe tooteühiku kohta on raske välja tuua.

Arvestuslikult on see aga võimalik ning sellist lähenemist kasutabki üha populaarsemaks muutuv tegevuspõhine arvestamine ehk ABC-meetod (Activity Based Costing). Selle abil saabki läbi viia omahinna analüüsi, mis seisneb selles, et tehakse kindlaks, millised kulud toote tootmisega kaasnevad ja kui suured need on. Nii saame teada, kui palju kasumit me teenime ühe tooteühiku

pealt üldkulude katmiseks ja kasumi loomiseks (tootmisomahinna korral) või kui palju puhaskasumit toode teenib (täisomahinna korral).

Kui ettevõttel on mitu toodet, annab see analüüs vastuse küsimusele, kas kõik tooted on üldse majanduslikult tasuvad või millised on tasuvamad. Erinevate allikate andmetel on ABC-meetodit rakendades võimalik vähendada tegevuskulusid 5–10% võrra (tehes asju õigesti) ning müügikäivet tõsta 5–15% võrra (tehes õigeid asju).

Omahinna kujundamine on ettevõtetes erinev sõltuvalt tooteliikidest ja ettevõtte struktuurist. Põhjalikumate teadmiste omandamiseks toote omahinna arvutamiseks on vajalikud lisateadmised, mida käesolev õppematerjal ei anna.

Kontrollküsimused:

1. Milliseid kulusid sisaldab toote omahind?
2. Kuidas on võimalik vähendada tootele minevaid rahalisi kulusi?
3. Mida tähendavad tootmisomahind ja täisomahind?
4. Milline erisus on püsikulude ja muutuvkulude vahel?

4 Juhtimisprogrammide ettevalmistamine

Juhtimisprogrammide ülesanne on masinkoodide käsundite alusel viia tööpinkide arvutitesse vajalik andmebaas detailide iseseisvaks valmistamiseks, pingioperaatorile jääb ülesanne jälgida tööpingi iseseisvat tööd. Maailmas on erinevate pingitootjate poolt võetud kasutusele erinevad juhtprogrammid, mis oma põhiolemuselt on sarnased. Infotehnoloogia areng on võimaldanud välja töötada lahendused detailide 3–5-teljeliseks töötlemiseks arvuti abil juhitud pinkidel kolmemõõtmeliste mudelite projekteerimise alusel.

CAD/CAM süsteem võimaldab CAD-süsteemis tehtud mudeli saata otse tööpinki ilma joonist kasutamata. Üheks selliseks tarkvarapaketi on Linea5 CAM, mille tarkvara võimaldab stantsimis-, laser- või kombineeritud seadmete kiiret programmeerimist. Programm koostab seadme jaoks koodi, mistõttu väheneb märkimisväärselt programmeerimisele ja tootmisele kuluv aeg. Kasutajaliides on lihtne ja kiire, võimaldades nii automaatseid kui ka käsitsi teostatavaid funktsioone. Linea5 saab täiendada automatiseerimise mooduliga ja see võib juhtida mahalaadimisseadet (nt PR III). Kogu teave detaili kohta salvestatakse ühtsesse andmebaasi SDD.

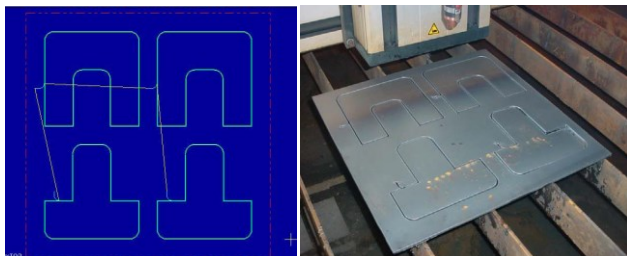
4.1 Juhtimisprogrammide koostamise põhimõtted

Linea5 CAM programmi aluseks on SurfCAM – integreeritud CAD/CAM tarkvara – pakett, mille abil on võimalik geomeetriselt kujundada masinaehitusdetaili, trükkida välja jooniseid, ette valmistada ja simuleerida töötlemisprotsessi, koostada juhtprogramme arvjuhtimisega pinkide jaoks.

CAMis tegutsemise võib tinglikult jagada järgmisteks etappideks:

- Mudeli konverteerimine CAMi sisemiseks formaadiks.
- Detaili asendi paikapanek teljestiku ja pingi nullpunktide suhtes.
- Tooriku kinnituse väljamõtlemine pingis.
- Liigsete elementide eemaldamine ja uute puuduvate (abipinnad ja kontuurid) loomine.
- Töötlemise jagamine operatsioonideks (siireteks), genereerides vastavate instrumentide töörajad.
- Tulemuste kontrollimine: kas saavutatud pinnakaredus rahuldab ja kas sisselõiked (interferents) puuduvad.

Otstarbekas on järgnevalt valida mudelile nullpunkt ja asend, milles toimub tema pingis töötlemine. Selleks pööratakse mudel koordinaatteljestikus asendisse, kus konstruktsiooniteljed ühtivad pingi telgedega (Joonis).



Joonis 4.1 Mudeli pööramine pingi telgedega ühtivasse asendisse

Detaili joonis on CAD-keskkonnas. CAM-keskkonnas lisatakse tehnoloogiainfo ja genereeritakse juhtprogramm. Kasutatakse keeruliste detailide töötlemiseks.

Praegused CADi tarkvarapaketid ulatuvad 2D vektoripõhistest joonestamissüsteemidest 3D maht- ja pindmodelleerimiseni. Moodsad CADi paketid lubavad tavaliselt 3D-objekte vaadelda mistahes nurga alt, isegi objekti seest väljapoole. Mõni CADi tarkvara võimaldab ka dünaamilist matemaatilist modelleerimist. Sel juhul nimetatakse seda **CADD** (computer-aided design and drafting) tarkvaraks.

CADi kasutatakse tööriistade, masinate ja hoonete projekteerimisel, samuti füüsiliste komponentide, detailsete 3D-mudelite ja 2D-jooniste loomiseks. Samas kasutatakse seda tarkvara terviktoote väljatöötamisprotsessi vältel, alates kontseptuaalsest projektsioonist ja lõpetades dünaamilise analüüsiga komponentide tootmismeetodite määramiseks.

CAD on kujunenud väga tähtsaks tehnoloogiaks raaltehnoloogia (computer-aided technologies) alal. Tema eelisteks on tootearenduskulude vähenemine ja palju lühem disainitsükkel. CADi tarkvara lubab disaineritel oma tööd teha arvutiekraanil, töö välja printida ja salvestada see hilisemaks muudatuste tegemiseks. CAD tarkvara kasutamine projekteerimisel säästab palju rohkem aega võrreldes käsitsi joonestamisega.

Linea5 CAM ühendab lihtsa rakenduse funktsionaalselt täiustatud CNC programmeerimise tõhusa kasutamisega mitmesugustel tööpinkidel – laserpink, stantspink jpm. Töötlemistehnoloogia saab ette valmistada käsitsi või automaatselt. Lõikepeade liikumisteede määramine, kinni-

tusklambrite töö jpm tehakse ära automaatselt. Toimub automaatne kontroll tööprotsessi osade vahel.

NC-koodi saab simuleerida täielikult enne tegelikku tootmist. Linea5 CAM-süsteem toetab ka programmeerimise peale- ja mahalaadimissüsteeme. CAM-süsteem sobib eraldiseisvaks tööjaamaks, kuid teda võib kasutada ka osana võrgu tööjaamast keskse CCDB serverina, kus kõik materjalid, lõikamise ja vahendite info on salvestatud. CAM-süsteemi võib laadida spetsiaalseid tööriistu näiteks tsentraalsest Amada AP100 SDD serverist ja säilitada NC-programmid selles serveris.

Plasmalõikepinkidel kasutatakse erinevaid programme detailide väljalõikamiseks, kusjuures neid programme saab kasutada eraldi.

4.1.1 CAD-programm

CAD-programmi võib kasutada lõikegeomeetria avamiseks. CAD-programmid sisaldavad näiteks AutoCADi, VersaCADi, CADKeyd ja teisi arvutite joonestusprogramme. Neid programme kasutatakse lõikegeomeetria kujundamiseks. Kui geomeetria on sisestatud CAM-programmi, on ka tööriista liikumisteed määratud. Mõningatel juhtudel, kui geomeetria on avatud CAM-paketis, ei ole CAD-programm isegi kasutusel. Peab alati meeles pidama, et CAD-programmi või näiteks AutoCADi kasutatakse ainult geomeetria avamiseks. CAD-programmi ei saa kasutada tööfailide avamiseks, masinkoodide sisestamiseks ega masina tööriistade kontrollimiseks.

4.1.2 CAM-programm

CAM-programmi kasutatakse tööfailide avamiseks, töötlemise imiteerimiseks ja masinkoodide loomiseks. CAM-programm sisaldab näiteks Mastercami, Visual Milli ja Virtual Gibbsi. Geomeetriaosa võib sageli luua CAM-programmis ja CAD-programm ei ole selleks isegi vajalik. CAM-programm ei kontrolli masina tööriistu.

4.1.3 Tootmisprogramm

Tootmisprogramm on tarkvara, mida vahetult kasutatakse masina tööriistade kontrollimiseks. Selle programmiga varustavad pingioستجaid peamiselt tööriistade tootjad. Näiteks CNC plasma-lõikepingi kasutusjuhendiga saadetakse valmistajatehase poolt kaasa programm (Techno CNC Interface), mis on ette nähtud masina töö kontrollimiseks. Seda programmi kasutatakse põleti käsitsi liigutamiseks, tööriista viimiseks nullpunkti või nihutamiseks ja masinkoodide käivitamiseks tootmises. CNC pinkides on tootmisprogramm sisse ehitatud kontrollritesse, mis on osa masinast. Tootmisprogrammi ei saa kasutada geomeetria loomiseks. Paljudel tootmisprogrammidel on detaili tootmise simulatsiooni võimalus.

Kõik need programmid on loodud ja kasutavad erinevaid failide tüüpe, mis on spetsiifilised nendele programmidele. Tähtis on õppida selgeks töötamine erinevate failitüüpidega, mida kasutatakse tootedisaini loomisprotsessis. Parim võimalus tööks failidega on pöörata tähelepanu failide tüüpidele ja nende asukohale. Ole alati kindel, et salvestad faili sellisesse asukohta, kust ta hiljem on leitav, ning pööra tähelepanu faili laiendile tema määratlemiseks hilisemal kasutamisel. Kausta avamisel on soovitatav vajaliku faili säilitamiseks alati muuta kausta asukohta faili salvestamisel. Faili laiend, osa ‘.’ nimetuses, aitab määrata faili tüüpi. Seal võib olla rohkem kui kolm erinevat faili liidetuna üksikosaga.

4.2 Tööpinkide juhtimissüsteemid ja nende kasutamine

Lehtmaterjali töötlemispinkidel kasutatavad juhtsüsteemid võimaldavad pingile ette anda kasutatavate materjalide omadustest sõltuvaid ja konkreetse pingi tööprotsessist tulenevaid programmhäälestuse ülesandeid, et garanteerida sissesöödetavatele parameetritele tuginedes parim kvaliteetne tulemus. Käesoleva õpiku maht ei võimalda lahti kirjutada iga konkreetse pingi juhtimissüsteemide modifikatsioone, vaid annab üldistava sellekohase teabe.

Näitena on toodud plasma-lõikepingi ettevalmistamine tööks. Üldjuhul koosneb ettevalmistamine järgmistest osategevustest:

1. põleti tööks vajalike kulumaterjalide ja õhurõhu kontroll
2. lõikeparameetrite häälestamine juhtpaneelil NC failina
3. lõikematerjali paigutamine töölauale
4. lõikekõrguse ja lõikepinge reguleerimine

5. valitud NC faili avamine
6. NC faili visuaalne kontroll
7. lõikepea ettenihke määramine
8. lõikepingi üldkontroll
9. kõikide telgede nullpunktide määramine
10. lõikepea viimine Z-telje 0-positsioonile
11. häälestusandmete kontroll
12. isikukaitsevahendite kasutuselevõtt (kaitseprillid jne)
13. seadme käivitamine.

Juhtimisprogrammide koostamist iga konkreetse lehtmetailitöötlemispingi jaoks käsitletakse praktilise töö alustamisel.

Kontrollküsimused:

1. Milline on juhtimisprogrammide koostamise eesmärk?
2. Millised on juhtimisprogrammide koostamise põhimõtted?
3. Milleks kasutatakse CAM-programmi?
4. Milleks kasutatakse CAD-programmi?
5. Milleks kasutatakse tootmisprogrammi?

5 Kvaliteedikontroll ja kvaliteedi tagamine

Toodete kvaliteet on ressursside kokkuhoiu aspektist oluline, selle tagamine aga mõneti keeruline protsess ja nõuab tõsist ettevalmistust. Ideaalolukorras tähendab kvaliteet ettevõtte kõigi tegevuste ja toimingute väga head läbiviimist, alates kõige madalamast töötegemise tasandist ja lõpetades tippjuhtimisega. Erilist tähelepanu tuleb seejuures pöörata toodete kvaliteedi tagamisele, mis määrab ettevõtte jätkusuutlikkuse ja püsijäämise turukonkurentsis. Samas ei piisa ainult toodete kõrgest kvaliteedist, kui turundusprotsess ja logistika ei ole tasemel või toodete valmistamine on madala efektiivsusega ning tootmiskulud on suured.

Enne tarbijale saatmist on vaja kontrollida toodete vastavust tööjoonisega määratud parameetritele (mõõtmed, pinnakaredus, tolerantsid). Seda ülesannet täidab ettevõttes kvaliteedikontrolliosakond või selleks määratud töötaja (töötajad). Loomulikult eeldab see vastavate mõõte- ja kontrollriistade ning seadmete, tehnilise dokumentatsiooniga määratud kontrolltoimingute ning protseduuride jpm olemasolu. Toodete lõplik kvaliteedikontroll on ettevõttes tootmisprotsessi viimane lüli, mis peab elimineerima võimaluse, et tellijani jõuavad ebakvaliteetsed tooted.

Kvaliteedi lõppkontrollis välja praagitud tooted näitavad tootmisprotsessi sisemist ebastabiilsust ja nõrka vahekontrolli. Tootmiskulude kokkuhoidu silmas pidades on oluline, et ükski detail ei osutu lõppkontrollis praagiks. Isegi siis, kui tegemist on parandatava praagiga, on tegemist ikkagi ressursside raiskamisega. Selle ärahoidmise ainsateks võimaluseks on kõikide tootmisprotsessi ettevalmistamise ja tootmisetappide tulemuste (pooltoodete) kvaliteedinäitajate vahekontrollimised ning kvalifitseeritud tööjõu olemasolu. Täpsete tegevusjuhiste järgimine tegevustoimingute koordineerimisel ja läbiviimisel vähendab raha- ja ajakadusid ettevõtte majandustegevuses. Range ja põhjalik toodete kvaliteedikontroll on selle üheks osaks.

Toodete kvaliteedinäitajate tagamine ettevõttes kuulub vaieldamatult prioriteettoimingute valdkonda, mis algab ettevõtte majandustegevuseks vajalike ressursside omandamisest ja lõpeb defektideta toodangu õigeaegse väljasaatmisega tellijale. Toodete kvaliteedi kindlustamine tähendab ettevõttes sisuliselt kvaliteedijuhtimisprotsessi vajalikkuse teadvustamist kõigi töötajate hulgas ja selle elluviimist.

Kontrollküsimused:

1. Millist ülesannet täidab töötulemuste kontroll?
2. Kuidas on ettevõttes korraldatud pool- ja valmistoodete kontroll?
3. Mida nimetatakse parandatavaks ja mida mitteparandatavaks praagiks?

6 Töötervishoid ja tööohutus

Igasugune inimtegevus võib endaga kaasa tuua traumasid ja kergemaid ning raskemaid vigastusi. Nende tekkimise peamised põhjused on vastavasisuliste teadmiste puudumine, hooletus, terviseprobleemid, liigne töökoormus ja sellega seotud väsimus, mille tõttu tähelepanu hajub.

Tööõnnetuse tagajärjel töövõimetus seisundi tekkimine toob nii töötajale, ettevõttele kui ka lõppkokkuvõttes riigile lisakulutusi. Tööõnnetuste tagajärjel kaotatud tööpäevade arv on aukartustäratav ja vajab seetõttu tõsist tähelepanu. Sellest tulenevalt on kehtestatud ranged nõudmised ettevõtetele rakendada meetmeid tööõnnetuste ennetamiseks ja ohutute töötingimuste loomiseks.

Töö inimestega, motiveerides neid tervise eest hoolt kandma, on odavaim võimalus ennetada hilisemaid terviseriske ja vähendada haiguspäevi. Inimeste teadlikkuse tõstmine õigete toitumisharjumuste omandamiseks ja aktiivse kehalise tegevuse harrastamiseks võimaldaks tunduvalt parandada nende tervislikku seisundit ja töövõimet. Kahjuks võib aga täheldada üha vähenevat kehalist aktiivsust, eriti noorte hulgas, mille tagajärjeks on tüsenemine ja juba noores eas sagedased haigestumised.

Töötervishoid laiemas mõttes kätkeb endast ettevõtte poolt kehtestatud tööaega koos ettenähtud puhkepauside ja toitumiseks planeeritud aegadega. Kitsamas mõttes on see aga lõõgastushetkede sisustamine kehalise ja vaimse töövõime taastamiseks töötaja vältel, millele lisandub töökohtade nõuetekohane valgustamine, ventilatsioon, tööruumide seinte toniseeriv värvilahendus, minimaalne müratase, aga ka otseselt mittetajutavate energiaväljade neutraliseerimine.

Investeeringud töö- ja olmetervishoidu peavad töötajate ja töövõtja võtma enda otsesteks kohustusteks. Eeskujulike töötingimuste loomine õige ja ratsionaalse töökorraldusega garanteerib lõppkokkuvõttes tootmiskulude kokkuhoiu ja kõrgema tööviljakuse. Töötervishoiu üheks oluliseks aluseks on töötajatele ergonoomiliselt õigete töövõtete õpetamine ja regulaarne tervisekontroll, mis aitab ennetada kutsehaiguste tekkimist.

Töötervishoiuga on otseselt seotud tööohutus, mis ühelt poolt hõlmab individuaalsete töökaitsevahendite kasutamist (kaitseprillid, kõrvaklapid, töökindad, tööriided ja -jalatsid), teiselt poolt aga kollektiivseid kaitsevahendeid (piirded, ohutusmärgid, ohutud märgistatud liikumisteed, seadmete avariiseiskamise võimalused, töökorras tootmis-, transpordi- ja tösteseadmed, märgistatud väljapääsud tuleohu korral, esmaabivahendid ja nende kättesaadavus, koolitatud meditsiinilist abi andvad isikud jpm).

Enne töö alustamist on tööandja kohustatud selleks koolitatud ja ettevalmistatud isikute poolt läbi viima igale töötajale ohutus- ja tulekaitse instruktaaži, selgitama võimalikke ohte tööprotsessis ja nõudma tööohutus- ja tulekaitseeskirjade vastuvaidlematut täitmist, mille kohta annab töövõtja kuupäevaliselt fikseeritud allkirja.

Töösituatsiooni ja sisu muutumisel on tööandja kohustatud läbi viima kordus- või täiendinstruktaaži töötajatele tööõnnetuste ja traumade ärahoidmiseks. Sellekohased nõuded on industriaalühiskonnaga riikides seadustega reguleeritud, kuid nende täitmist ignoreeritakse kõrgema kasusaamise huvides veel väga paljudes ettevõtetes. Igale töötajale vastavalt tema erialale on välja töötatud töökaitsejuhendid koos esmaabi osutamise oskusteabega ja tööga seotud ohtude teadvustamisega, mis on täitmiseks kohustuslikud.

Sarnaselt eeltooduga on välja töötatud tööpinkide valmistajate poolt igale tööpingile ohutud käsitsemisjuhendid koos vastavasisulise oskusteabega. See puudutab ka lehtmetsa töötlemiseks ette nähtud tehnilisi vahendeid, seadmeid ja tööpinke.

Kontrollküsimused:

1. Miks on vaja teada töötervishoiu- ja ohutuslaseid nõudeid?
2. Millised ohud kaasnevad tööpinkidel töötamisega?
3. Millised on pingitöölise individuaalsed töökaitsevahendid?

Täiendav info, ülesanded ja probleemolukordade lahendamine

Lehtmetailide lõikemeetodite võrdlus on esitatud alljärgnevas tabelis.

Tabel Lõikemeetodite võrdlus

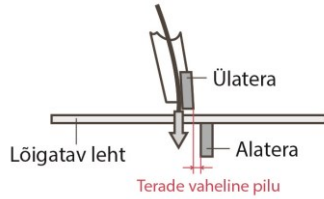
Lõikemeetodid				
Näitaja	Käärlõikus	Gaaslõikus	Plasmalõikus	Laserlõikus
Investeeringud	Keskised	Väikesed	Keskised	Suured
Kasutuskulud	Madalad	Madalad	Kõrged	Madalad
Kasutuspaksus	Max 16 mm	Max 500 mm	Max 200 mm	Max 25 mm
Roostevaba teras		–	Maks 70 mm	Maks 12 mm
Alumiinium		–	Maks 50 mm	Maks 8 mm
Vask, messing		–	Maks 5 mm	Maks 2 mm
Lõikekiirus	Suur	Väike	Suur	Sõltub materjalist
Mõõtmete tolerantsid, t 03–12mm,	± 0,1	± 1,0–5 mm	± 1,0 mm	± 0,1 mm

Kontrolltestid:

Giljotineerimine

1) Giljotiine võib liigitada: liikumisviisi ja tüübi alusel

2) Mis tüüpi giljotiin on näidatud skeemil:



3) Nimeta ajamite viis kategooriat:

1

2

3

4

4) Giljotineerimiseks paralleelsete teradega vajalik jõud on arvutatav valemiga: $F = L * \text{[]} * R_c$

* R_c

5) Seleta valem: $F = e^2 * R_c / 2 * \tan \alpha$

Kus:

F - giljotineerimiseks vajalik (N)

e - (mm)

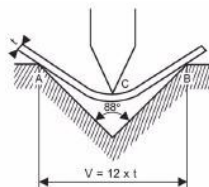
R_c - materjali (N/mm²)

α - terade (°)

Painutamine

1) Õhkpainutust võib liigitada: -painutus ja -painutus

2) Missugune painutusliik on skeemil:



3) Nimeta painutamise kolm liiki:

1

2

3

4) Serva minimaalne laius on arvutatav valemiga: $b = \sqrt{2x}$ /2

Tõene / Väär küsimus:

5) Vermimisel kasutatakse väiksemat V- soone laiust kui põhjapainutusel?

Tõene Väär

6) Osalisel painutusel kasutatakse laiemalt V- soone laiust kui põhjapainutusel?

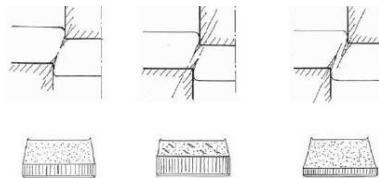
Tõene Väär

Stantsimine

1) Nimeta lehekeskuste tüüpilised ajamid: servo-elektrilised, ja mehaanilised.

2) Defineeri lõtku skeemil: (väike, õige, suur)

lõtk lõtk lõtk



3) Vajalik stantsimisjõud on arvutatav järgmise valemi abil: $P =$ $\times t \times \tau / 1000$

Mitme valitavaga

4) A- ja B- pesa tööriistade templi pikkus tuleb reguleerida nii, et see oleks **207,5** mm. Tööriista kogupikkus peab jääma vahemikku ????? mm.

209,5 mm kuni **213** mm

207,5 mm kuni **215** mm

Tõene / Väär küsimus:

5) Tööriistad on soovitatav teritada pigem tihedamini kui harvemini, et tagada tööriistade pikaajaline tööiga.

Tõene Väär

Laserlõikamine

- 1) Laserlõikeprotsessi puhul toimub soojuse ülekandmine -gustülekande teel.
- 2) Energiat kasutatakse metalli sulatamiseks ja -miseks ning osaliselt tekivad kaod materjali soojenemise ja laserkiire tagasipeegeldumiste tõttu.
- 3) Laseri võimsus on hästi realiseeritav tänu laserkiire unikaalsetele omadustele nagu ja monokromaatsus.

Mitme valitavaga:

Millises järjekorras tuleb laseri käivitamisel lülitada sisse järgmiste seadmete toide:

- Resonaator
 Elektrikapp
 Jahutusseade

- Elektrikapp
 Jahutusseade
 Resonaator

4) Tõene / Väär küsimus:

Hapniku lõikamist kasutatakse roostevaba terase oksiidivabal lõikamisel.

Tõene Väär

5) Pulseerivat töörežiimi kasutatakse kuumenemise limiteerimiseks keerukate kujundite lõikamisel.

Tõene Väär

Kasutatud kirjandus:

Giljotineerimine

1. Operator's Manual Shearing Machines GSII GXII – X41017A, Amada, Tremblay, 2004.
2. Programming Manual Hydraulic Shear GSII GXII X41019B; Amada, Tremblay, 2005.
3. Kotynski, Robert. 8 ways to keep your shear in top shape, www.thefabricator.com, 10.04.2001.
4. Lazinsky, Stephen A. Analyzing shear features: Basic knowledge can impact productivity, safety, www.thefabricator.com, 26.07.2001.

Painutus

1. Amada Sheet Metal Working Research Association, The ABC of Bending Tools, Machinist Publishing CO., Ltd., 1985.
2. Amada Sheet Metal Working Research Association, Bending Technique, Machinist Publishing CO., Ltd., 1981.
3. Hydraulic Press Brake HF Low Tonnage Operator's Manual, Amada, Tremblay, 2002.
4. Programming Manual Operateur 2000, Amada, Tremblay, 2002.
5. Butchart, Bob. The Brakes – Press Brakes and You – How to get the most out of your press brake, www.thefabricator.com, 18.06.2001.
6. Benson, Steve D. Bend deduction charts: Where can I get one? www.thefabricator.com, 26.07.2001.
7. Benson, Steve D. How air forming works, www.thefabricator.com, 13.02.2003.
8. By Benson, Steve D. Air forming and V-die selection, 04.05.2004.

Laserlõikamine

1. Caristan, Charles. Laser Cutting: Guide for Manufacturing, Society of Manufacturing Engineers, 2003.
2. Robinson, Dan. Cutting through five myths about modern lasers: The truth behind laser cutting technology, February 12, 2004, www.thefabricator.com.
3. Bell, David. Optimizing CO2 laser use: Part I, January 10, 2006, www.thefabricator.com.
4. Bell, David. Optimizing CO2 laser use: Part II, March 7, 2006, www.thefabricator.com.
5. Davis, Dan. The dirt on laser lenses: Keeping the lenses clean is key to keeping equipment running, June 17, 2008, www.thefabricator.com.
6. Operator's Manual: Quattro CNC Laser Machine, 2007 by Amada CO., LTD.
7. Programming Manual: CNC Laser Machine LC- α , - β , - θ , FO, Quattro Series, 2001 Amada CO., LTD.
8. Laser Operator Training Manual, Amada United Kingdom Limited.

Stantsimine

1. Operator's Manual: Acute NT Series CNC Turret Punch Press, 2006 by Amada CO., LTD.
2. Programming Manual: Acute NT Series CNC Turret Punch Press, 2006 by Amada CO., LTD.
3. Spence-Parsons, Andy. The formula for successful punching: Analyzing four main factors, optimizing the result, August 8, 2006, www.thefabricator.com.
4. Punch Press Operator&Tool Training Course Manual, Amada United Kingdom Limited.

Gaas ja plasmalõikus

1. Sacks, Raymond; Bohnart, E. (2005). "17". Welding Principles and Practices (Third ed.). New York: McGraw_Hill. p. 597. ISBN 978-0-07-825060-6.
2. The Life and Times of Plasma Cutting - How The Technology Got Where It Is Today by Thierry Renault and Nakhleh.

3. Making Plasma Cutting Easier - Using CNC Automation Technology by Brad Thompson and Kris Hanchette, The Fabricator, August 2003.
4. Plasma/Oxy Cut Machines
5. High Performance - Production Grade machines - Special Offer !
6. www.rhinocuttingsystems.com
7. Gaaskeevitus, Ivan Ivanovitš Sokolov, Kirjastus: Valgus, 1984
8. Johnson, Carl Olof, "Method for Cutting Up Plastic and Semi-Plastic Masses", filed March 13, 1956, and issued April 14, 1959.
9. Schwacha, Billie G., "Liquid Cutting of Hard Metals", filed October 13, 1958, and issued May 23, 1961.

