

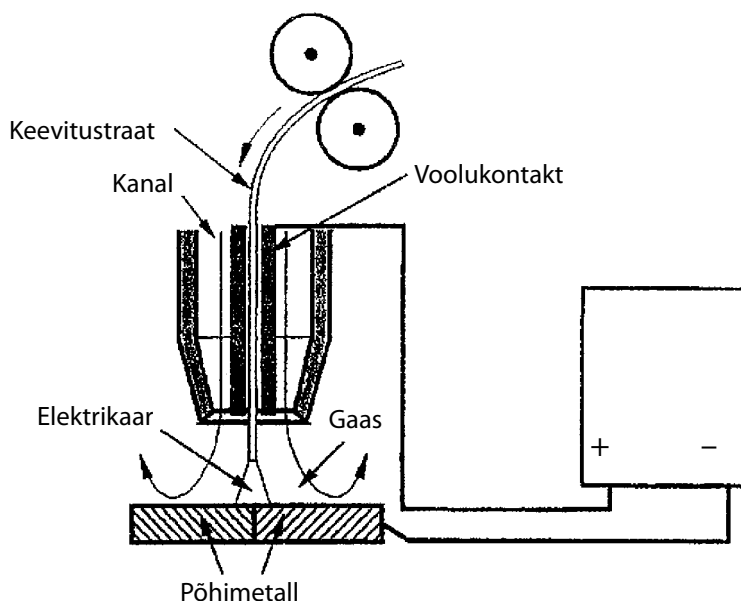
# I. MIG/MAG-keevituse alused

## I.1. MIG/MAG-keevituse tööpõhimõte

MIG/MAG-keevituse tööpõhimõtet ja masina ehitust selgitavad skeemid joonistel 1.1 ja 1.2.

Keevitamise ülesandeks on moodustada kahe liidetava detaili vahele püsiliide, mille mehaanilised omadused (tõmbetugevus, katkevenivus, purustustöö löökpaindel) ei jääks alla detailide materjali omale.

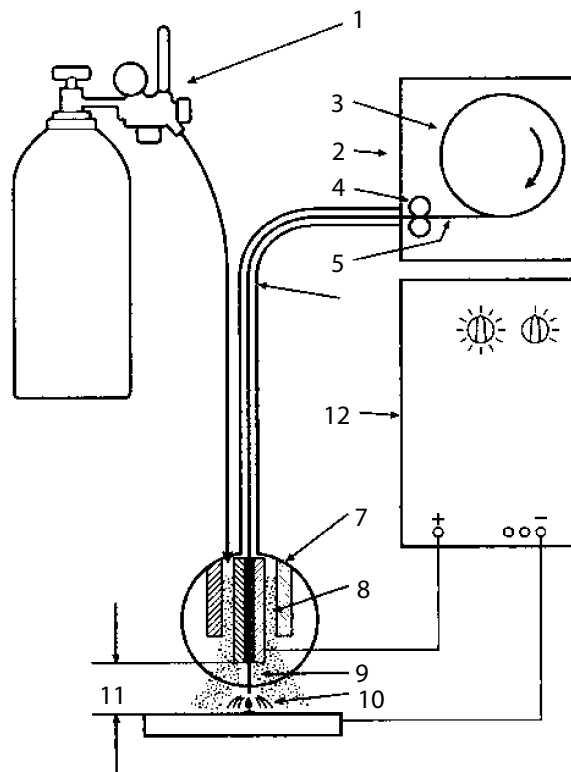
Keevitamisel sulatatakse traadist elektroodi ots ja liidetavate detailide servad kaarleegiga, mida kutsutakse keevituskaareks. Keevituskaare temperatuur võib ulatuda kuni 5000–7000 °C elektroodil ja kuni 2600–3900 °C kaares. Elektroodi keevitustraadi kujul antakse kaarevahemikku ette ühtlase kiirusega ja mehhaniseeritud traadietteandemehhanismi rullide abil. Kasutatakse poolile keritud keevitustraati (joonisel näitamata). Keevitusvooluna kasutatakse vastupolaarset (DC<sup>+</sup>) alalisvoolu, kus elektrood ühendatakse vooluallika +klemmiga. Keevitusvool antakse energiakadude vähendamiseks keevitustraadile keevituspüstolisse kinnitatud voolukontakti abil vahetult enne keevituskaart. Keevituskaare piirkonda kaitstakse sinna juhitava kaitsegaasi joaga. MIG/MAG-keevitust loetakse poolautomaatseks, kuna elektroodi etteandmine on mehhaniseeritud, keevitusliikumine e keevituspüstoli liikumine piki õmblust toimub keevitaja käe abil.



Joonis 1.1. MIG/MAG-keevituse põhimõtte skeem.

MIG/MAG-keevituseks on vajalik stabiilne traadi etteandekiirus ja järgmise tingimuse täitmine:

Protsessi stabiilsuse tingimus  
Traadi etteandekiirus = traadi sulamiskiirus



Joonis 1.2. MAG-seadme põhiosad: 1 – kaitsegaasi balloon koos reduktori ja gaasikulu mõõturi-rotameetriga; 2 – traadi etteandemehhanism; 3 – traadi pool; 4 – etteanderullid; 5 – keevitustraat; 6 – peavoolik; 7 – keevituspüstol; 8 – kaitsegaasi juga; 9 – kaitsegaasi pilv; 10 – traadi siirdumine keevitusvanni; 11 – voolukontakti kaugus.

## I.2. MIG/MAG-keevituse liigitamine ja kasutatavad lühendid

Elekterkeevitus sulava elektroodiga kaitsegaasis e kaitsegaasis kaarkeevitus kannab üldnimetust kaitsegaasmetallkaarkeevitus (gas shielded metal-arc welding, gas metal-arc welding).

Kaarkeevitus kaitsegaasis liigitatakse kasutatava kaitsegaasi omaduste järgi kahte gruppi. Keevitamist aktiivkaitsegaasis (nt  $\text{CO}_2$  või gaasisegudes  $\text{CO}_2 + \text{Ar}$  jm) nimetatakse aktiivgaaskaarkeevituseks või kaarkeevituseks aktiivgaasis (metal-arc active gas welding, MAG-welding, gas metal arc welding, GMAW). Kõigile olulisematele keevitusprotsessidele on antud standardites tunnus- e koodnumber, mis kantakse nii keevitaja sertifikaadile kui ka keevitusprotseduuri spetsifikaadile. Antud keevitusprotsessi tunnus- e koodnumber on 135. Eristatakse veel kaarkeevitust inertgaasis (Ar, He) (metal-arc inert gas welding, MIG-welding), selle protsessi tunnusnumber on 131. Kuna mõlemad keevitusprotsessid erinevad vähe ja nende puhul kasutatakse ühtesid ja samu seadmeid, siis tarvitatakse sageli lühendit MIG/MAG-keevitus. Väga sageli kasutatakse kirjanduses lühendit MIG-keevitus ja selle all mõeldakse ka MAG-keevitust, näiteks poolautomaatkeevitust süsihappegaasis. Roostevaba terase keevitamisel kasutatakse kaitsegaasina argooni väikese (2%) süsihappegaasi lisandiga. Seetõttu loetakse seda keevitusviisi MAG-keevituseks.

Kaarjootmine. MIG/MAG-masinat saab kasutada tsiingitud, teras- ja roostevabast plekist liidete saamiseks, kus detailide servadele kantakse sulajoodise kiht. Kaare võimsus on väiksem ja kasutatud pronkstraatide sulamistemperatuur madalam kui liidetavatel metallidel. Kaar ei sulata detailide servi, kuid liitepindu kattev sulajoodis ühendab viimased tugevaks liiteks. Nii saab protsessi kiirust kuni 10 korda tõsta.

### **I.3. MIG/MAG-keevituse eelised ja puudused**

Keevitusprotsessi iseloomustab kõrge tootlikkus, mis on tingitud suurte keevitusvoolude 80...500 A rakendamise ja keevitustraadi väikesest läbimõõdust (0,8–2,0 mm) põhjustatud suurest voolutihe- dusest 100...500 A/mm<sup>2</sup>. Suurt voolutugevust võimaldab kasutada asjaolu, et keevitusvool juhitakse keevituselektroodile vahetult enne keevituskaart keevituspüstolis oleva voolukontakti kaudu.

Võrreldes käsikaarkeevitusega kattega elektroodiga (MMA) e elektroodkeevitusega (tunnus- number 111) on MIG/MAG-keevitusel järgmised eelised:

- suurem tootlikkus, pealesulatustegur e keevitustootlikkus on piirides 1,2–7 kg/h tingituna suurest voolutihedusest elektroodil;
- suurem keevituskiirus cm/min;
- puuduvad elektroodi vahetamisest tingitud katkestused, mistõttu õmbluste kvaliteet on parem;
- lihtsam mehhaniseerida ja automatiseerida;
- keevitamisel ei teki räbu (v.a täidistraadi kasutamisel);
- keevitaja näeb vahetult õmblust ja keevitusvanni keevitamise ajal;
- keevituskaar soojuslikult kontsentreeritud, mistõttu termomõju tsoon on kuni 2 korda kitsam ning struktuurimuutused ja deformatsioonid põhimetallis väiksemad, suureneb läbikeevituse suurus;
- keevitaja lühike väljaõppeaeg.

MIG/MAG-keevituse puudused:

- ei sobi kasutamiseks välitingimustes;
- keevitustraate valik on tunduvalt väiksem käsikaarkeevituse elektroodide omast;
- lühikaarkeevitusel ja keevitusparameetrite vääral valikul võib esineda palju pritsmeid (kuni 7–10% traadi massist).

Keevitusprotsessi kasutatakse kõikide keevitatavate metalsete materjalide puhul: mittelegeer-, madallegeer- ja kõrglegeerterased, alumiiniumi-, vase- ja niklisulamid. Sõltuvalt keevitatavast materjalist valitakse kaitsegaasi liik.

Keevitada saab väga erineva paksusega lehtmaterjali. Minimaalseks loetakse umbes 0,6 mm paksust terast, ülemine piir praktiliselt puudub. Paksema terasplaadi keevitamiseks sobib kõige paremini keevitamine täidistraadiga. Materjali paksuse nii suur erinevus on võimalik tänu keevitus- parameetrite ja keevituskaare tüüpide laiale reguleerimisvahemikule. Seda keevitusviisi saab kasu- tada kõigis ruumilistes asendites ja reeglina sisetingimustes. Välitingimustes ja ehitusplatsidel võib tõmbetuul rikkuda keevituskaare gaasikaitset.

## KONTROLLKÜSIMUSED

1. Mis on keevitamise eesmärk ja millised on nõuded keevisliite mehaanilistele omadustele?
2. Kuidas toimub elektroodi ja detailide servade sulatamine kaarkeevitusel?
3. Mida tähendab lühend „MAG-keevitus“, mis on selle tunnusnumber? Loetlege keevitatavad metallid.
4. Mida tähendab lühend „MIG-keevitus“, mis on selle tunnusnumber ja kus MIG-keevitust kasutatakse?
5. Miks leidis MAG-keevitus esialgu laialdast kasutamist autode kereremonditöödel?
6. Kuidas kaitstakse sulakeevisõmbluse metalli õhuhapniku ja -lämmastiku kahjuliku toime eest MAG-keevitusel?
7. Millised on MIG/MAG-keevituse eelised võrreldes elektrodkeevitusega?
8. Millised on MIG/MAG-keevituse puudused võrreldes elektrodkeevitusega?
9. Mille poolest erineb MAG-keevitus MIG-keevitusest?
10. Miks nimetatakse MAG-keevitust poolautomaatkeevituseks?

## 2. Keevisõmbluste iseloomustus ja tähistamine joonistel

### 2.1. Keevisõmbluste ja -liidete põhitüübid

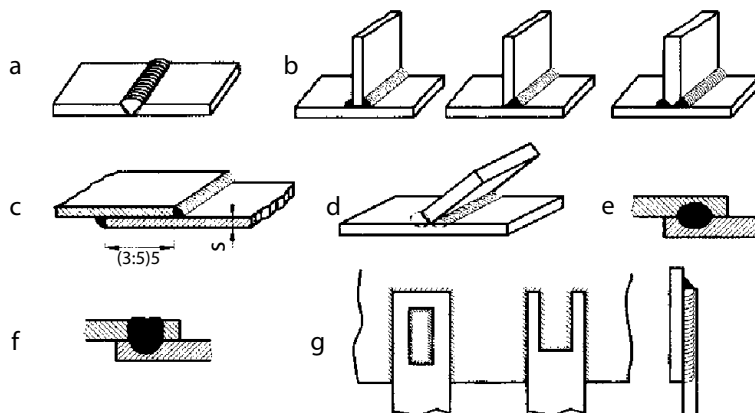
MAG-keevitusel sulatatakse detailide servad ja servavahemik täidetakse sulalisametalliga ehk elektroditraadiga. Keevitamise tulemus on keevisõmblus ehk keevis. Keevisõmbluste põhitüübid ristlõike kuju järgi on MAG-keevitusel järgmised:

1. põkkõmblus detailide servade vahel, tähistatakse lühendiga BW;
2. nurkõmblus, kolmnurkse ristlõikega, tähistatakse lühendiga FW;
3. punktõmblus, korkõmblus.

Märkus. Õmbluste tähistus on tulnud inglise keelest: põkkõmblus – butt weld; nurkõmblus – fillet weld.

Olenevalt ühendatavate detailide vastastikusest asendist jaotatakse keevisliited järgmiselt (vt joon. 2.1.):

- põkkliide (a),
- nurkliide (b),
- katteliide (c, g)
- punkkliide (e, f),
- servliide,
- T-liide ehk vastakliide (d).



Joonis 2.1. Keevisõmbluste ja liidete põhitüüpe.

Eraldi rühma moodustavad ühelt või mõlemalt poolt faasitud püstplaadiga sügava lähikeevitusega T-liited, mida loetakse keevitatuks kas põkkõmblustega või 2 õmblustega (põkkõmbustus + nurkõmbustus).

Põkkõmblused sulatatakse läbi terve materjali paksuse ulatuses, mida tõendab alumisele pinnale ehk juurepinna moodustunud väike vallike ehk tugevdus. Kuna ühelt poolt keevitades suudab keevituskaar sulatada kuni 4 mm paksust terast, tuleb suurematel paksustel detailide servi faasida. Nii sulatab keevituskaar piisava õhupilu juures detailide vahel õmbluste juure. Kui teraslehe paksus on 3–10 mm, saab kasutada V-tähe kujulist servakuju, paksema materjali korral võib servakuju olla keerulisem. Faasimata servadega õmblust nimetatakse I-õmblusteks ja V-servadega V-õmblusteks jne. Tabelis 2.1 on toodud standardi EVS EN ISO 9692-1:2000 järgi enam levinud servakujud ja õhupilud MAG-keevitusel. Kui V-õmblustele esitatakse rangemaid nõudeid mehaaniliste omaduste ja hermeetilisuse osas, siis võidakse keevitada liide ühelt poolt, mille järel puhastatakse vastaspoole servavahe käiadega ja keevitatakse sellelt poolelt kitsama läbimiga. Sellist tegevust nimetatakse juure avamiseks ja keevisõmbluste tähistusele kantakse poolring. Joonisel võib olla õmbluste tähistuse juures märkus „juur avada“. Tänapäeval tähistatakse keevitatava materjali paksust t-tähega ja läbikeevituse suurus s-tähega.


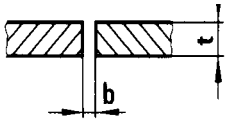
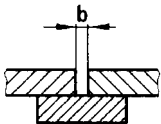

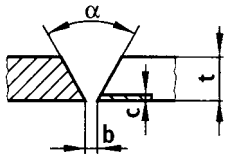

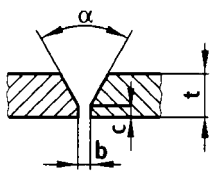


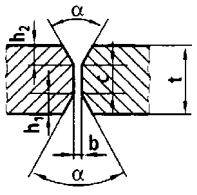
## 2.2. Keevisõmbluste ehitus ja mõõtmed

Keevitamise kvaliteedinõuetest lähtudes peaks põkkõmbluste läbikeevituse suurus  $s$  võrduma lehe paksusega ( $t$ )  $t=s$ , mis tähendab seda, et keevitamise vastaspoolel ehk juurel peab moodustuma väike tugevdus ehk vallik (EN ISO 5817 kvaliteeditasemed B ja C). Kui seda vallikut ei moodustu, siis on tegemist osaliselt läbikeevitatud õmblustega. Keevitamise tulemusena tekib õmbluste pealispinnal vallik ehk tugevdus kõrgusel  $h$  ja laiusega  $b$ . Vallik peaks olema võimalikult madal, sujuva üleminekuuga põhimetallile ja ühtlase laiuse ning kõrgusega. Iga keevisõmbluste kõrval tekib muutunud struktuuriga ala, mida nimetatakse termomõju tsooniks, lühendatult TMT, inglise keeles lühend HAZ. Keevitusdeformatsioonide ja õmbluste kvaliteedi seisukohalt oleks soovitatav, et TMT laius oleks minimaalne. Võrreldes käsikaarkeevitusega on MAG-keevituse termomõju tsoon 2 korda kitsam, mis on tingitud kontsentreerituma keevituskaare kasutamisest. Metallile ülekuumutamise tõttu võib TMT-l tekkida jämedateralise ferriidi ala, mis vähendab märgatavalt liite plastisust ja sitkust. Karastuvate teraste keevitamisel võivad TMT-l tekkida karastusefektist tingitud külmpaard.

Nurkõmblust iseloomustab selle kõrgus või paksus, mis tähistatakse a-tähega. Sageli võidakse anda ka nurkõmbluse kaateti z väärtus, mille vahel on seosed:  $a=0,7z$ ,  $z=1,4a$ . Tähega s tähistatakse läbikõõrituse sügavust ehk läbikõõritust.

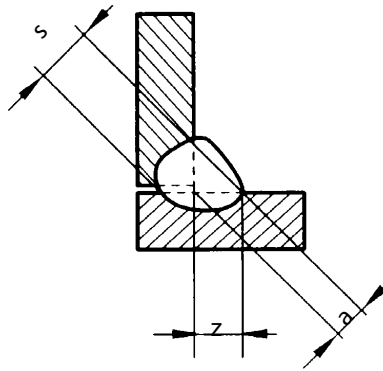
Tabel 2.1. Servakujud ja õhupilud terase keevitamisel. Väljavõte standardist.

A. Pökkõmblused ja pökkliited.

Paksus t, mm	Õmbluse tüüp	Eskiis	Servakuju	$\alpha, \beta$	b	c
$t \leq 4$	I-õmblus			-	$b = t$	-
$3 > t \leq 8$				-	$6 \leq b \leq 8$	-
$3 < t \leq 10$	V-õmblus			$40^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$	$b \leq 4$	$c \leq 2$
$5 > t \leq 40$	Y-õmblus			$\alpha \approx 60^\circ$	$1 \leq b \leq 4$	$2 \leq c \leq 4$
$t > 10$	Juurelääbimiga V-õmblus			$\alpha \approx 60^\circ$	$1 \leq b \leq 4$	$2 \leq c \leq 4$
				$40^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$		
$t > 10$	Juurelääbimiga X-õmblus			$\alpha \approx 60^\circ$	$1 \leq b \leq 4$	$2 \leq c \leq 6$
				$40^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$		

B. Nurkõmbused ja nurkliited.

Paksus $t$ , mm	Õmbuse, liite tüüp	Eskiis	Servakuju	$\alpha, \beta$	b
$t_1 > 3$ $t_2 > 3$	Nurkliide kahe nurkõmbusega			$70^\circ \leq \alpha \leq 110^\circ$	$b \leq 2$
$2 \leq t_1 \leq 4$ $2 \leq t_2 \leq 4$	Läbikeevitatud T-liide			-	$b \leq 2$
$t_1 > 2$ $t_2 > 2$				-	-
$t_1 > 2$ $t_2 > 5$	Nihutatud nurk- liide kahe nurk- õmbusega			$60^\circ \leq \alpha \leq 120^\circ$	-
$t_1 > 2$ $t_2 > 2$	Ühepoolne T-liide nurk- õmbusega			$70^\circ \leq \alpha \leq 100^\circ$	$b \leq 2$
$t_1 > 2$ $t_2 > 2$	Katteliide			-	$b \leq 2$
$t_1 > 2$ $t_2 > 2$	Nurkliide			$60^\circ \leq \alpha \leq 120^\circ$	$b \leq 2$



Joonis 2.2. Nurkõmbluse mõõtmestamine.

### 2.3. Nõuded keevisõmbluste kvaliteedile

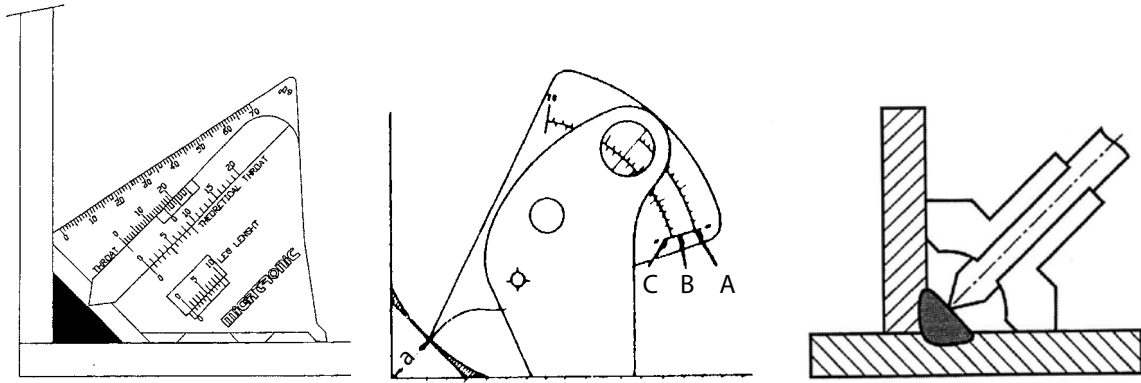
Kaarkeevitusel esinevad õmbluses või TMT-I alati kõrvalekalded pidevuses (kokkusulamatus, poorid, räbupesad, praod, sisselõiked) või kujus (nurkõmbluste liigkumerus, ebavõrdsed kaated, juurevajum, järsk üleminek õmbluselt põhimetallile, servade nihkumine). Kui need kõrvalekalded on mõõtmelt või arvult lubatud piires, siis on tegemist keevitusdefektiga. Kui keevitusdefektide suurus ületab mingi lubatud piiri, siis muutuvad need keevitusvigadeks. Nende esinemisel tuleb õmblused lahti lõigata ja uuesti keevitada ehk teha vigade parandus. Standardi EVS ISO 5817 järgi jagatakse keeviliite lubatud defektid 3 tasandi e klassi vahel:

1. B-tase. Kõige kõrgem. Vastutusrikkad tooted, eurokeevitaja proovitööd, survemahutid.
2. C-tase. Keskmine. Selle taseme järgi valmistatakse enamik metallkonstruktsioone. Eesti kutsestandardi proovitöö aktsepteerimistase.
3. D-tase. Mõõdukas. Staatiliselt koormatud ja toatemperatuuril töötavad konstruktsioonid.

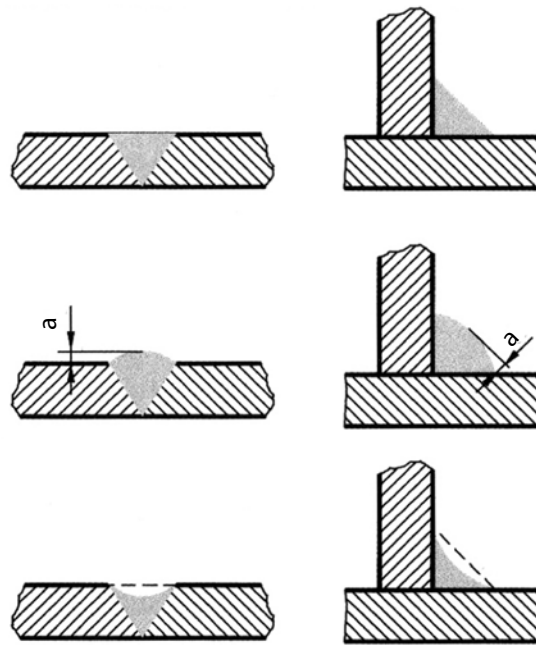
D-tasemest madalama tasemega keevitustööd ei ole aktsepteeritavad. Standardis EN ISO 5817 on esitatud lubatud keevitusdefektid tasemete järgi tabeli kujul. Väliseid defekte saab keevitaja või kontrollija hinnata visuaalselt. Juhul kui kas või üksainus defekt ületab aktsepteerimispiiri, tunnistab kontrollija terve konstruktsiooni mittevastuvõetavaks. MAG-keevitusel on tüüpiliseks keevitusveaks V-õmbluste korral õmbluse servade kokkusulamatus ehk liiteviga. Seda saab avastada liite ristlõike makrolihvil või ultrahelikontrolliga. Nõuded keevisõmbluste kvaliteedile kantakse joonisel õmbluse tähistuse sabaosasse või joonise kirjanurga peale märkusega, nt: keevitusdefektid ISO 5817/B.

Nurkõmbluste juures kontrollitakse õmbluse kõrgust vastavate mõõturitega (joonis 2.3), aga ka kaatete erinevust, sisselõikeid, pealevalgumist, õmbluse kumerust. Põkkõmbluste korral on põhilisteks keevitusdefektideks sisselõiked, liigkumerus, läbikeevitamatus, servavahemiku mitte-täitmine jt. Kogenud keevitaja on võimeline visuaalselt hindama väliseid keevitusdefekte ja õmbluse mõõtmeid.





Joonis 2.3. Nurkõmbelse mõõturid.



Joonis 2.4. Keevisõmbelse võimalikud kujud. Tasane, kumer ja nõgus õmbelus.