
Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Производно машинство

Предмет: Производне технологије

Број индекса: 105/2016

Јелена С. Ђурић

**Гориви и заштитни гасови за заваривање, резање,
лемљење и сродне поступке**

завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. **Др Вукић Лазих, ред. проф. - ментор**
2. _____
3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да опише следеће тезе:

1. Уводне напомене о техничким гасовима
2. Гориви гасови
3. Заштитни гасови
4. Примена горивих гасова при заваривању и сродним поступцима
5. Примена заштитних гасова при заваривању и сродним поступцима
6. Закључак
7. Литература

Препоручена литература:

1. **Јовановић, М., Лазих, В.:** *Гориви гасови за пламеновање и друге сродне поступке-рукопис*, Машински факултет у Крагујевцу, децембра 2005. године;
2. **Богнер, М., Ћирић, С.:** *Технички гасови*, ИРО "Грађевинска књига", Београд, 1984. године;
3. **Богнер, М., Исаиловић, М.:** *Технички и медицински гасови- прописи и примери из праксе*, ЕТА, Београд, 2005. године;
4. **Богнер, М., Борисављевић, М.:** *Гасови у заваривању и сечењу*, ЕТА, Београд, 2018. године;

Крагујевац, датум

Ментор:
Име, презиме и звање ментора
Др Вукић Лазих, ред. проф.

Садржај:

1. Уводне напоње о техничким гасовима	6
2. Гориви гасови	7
2.1. Угљоводоници	7
2.1.1 Особине природног гаса	7
2.1.2 Течни нафтни гас	8
2.1.3 Испаравање течног нафтног гаса	10
2.1.4 Топлота испаравања	10
2.1.5 Минимална коначна маса у TNG резервоару	11
2.1.6 Реакције сагоревања	11
2.1.7 Заштитне мере за постављање резервоара у просторију	12
2.1.7.1 Сигурносне ознаке	12
2.1.7.2 Заштита од неовлашћеног приступа и механичког дејства	12
2.1.7.3 Заштита од пожара	13
2.1.7.4 Апарати за гашење пожара	13
2.1.8 Одржавање резервоара	14
2.1.9 Контрола количине TNG-а у резервоарима	14
2.1.10 Прво пуњење резервоара, одстрањивање воде и нечистоће	14
2.1.11 Монтажа постројења TNG и испитивање пре пуштања у рад	15
2.1.11.1 Цеви и прибор	15
2.1.11.2 Прикључни водови за боце	16
2.1.11.3 Постројења са једном боцом	16
2.1.11.4 Постројења са две боце	17
2.1.11.5 Неповратни уређаји	18
2.2 Водоник	20
2.2.1 Уводне напомене	20
2.2.2 Физичко-хемијске карактеристике	21
2.2.3 Цевоводи за водоник	21
2.2.4 Арматура за водоник	21
2.2.5 Полагање цевовода за водоник	22
2.2.6 Складиштење водоника	22
2.2.7 Централне за водоник	23

3. Заштитни гасови	25
3.1 Угљен-диоксид	25
3.1.1 Суви лед	26
3.1.2 Цевоводи за угљен-диоксид	28
3.1.3 Арматура за угљен-диоксид	28
3.1.4 Полагање цевовода за угљен-диоксид	28
3.1.5 Складиштење угљен-диоксида	29
3.1.6 Мере сигурности и заштите	30
3.2 Аргон	32
3.2.1 Примена	32
3.2.2 Испорука	33
3.2.3 Поступак са гасом	33
3.2.4 Материјали	33
4. Примена горивих гасова при заваривању и сродним поступцима	34
4.1 Гасови за гасно заваривање	34
4.1.1 Ацетилен	34
4.1.2 Кисеоник	36
4.1.3 Пламен за заваривање	37
5. Примена заштитних гасова при заваривању и сродним поступцима	42
5.1 Заштитни гасови за TIG заваривање	42
5.1.1 Хелијум	42
5.1.2 Водоник и азот	42
5.2 Заштитни гасови за MIG/MAG заваривање	42
6. Закључак	46
7. Литература	47

1. УВОДНЕ НАПОМЕНЕ О ТЕХНИЧКИМ ГАСОВИМА

У овом раду проучавају се гасови за заваривање, резање, лемљење и сродне поступке. Када се говори о горивим гасовима најшире примене, најчешће се има у виду природни или течни нафтни гас. Осим наведених, у групу гасовитих горива спадају и водоник, ацетилен и др.

За заваривање, резање, лемљење као гориви гас најшире се примењује ацетилен. Од осталих техничких-негоривих гасова детаљније су проучавани кисеоник и заштитни гасови: угљен-диоксид, аргон, хелијум, и њихове смеше.

Било да је реч о горивим или заштитним гасовима. у овом раду детаљно се проучавају њихове особине, предности и недостаци, поступци добијања, као и системи паковања, транспорта, складиштења, контроле и коришћења. Посебно се указује на мере заштите при манипулацији горивих и заштитних гасова.

Овакав свеобухватни приступ овом раду је неопходан да би се детаљније упознали са различитим особинама горивих гасова, посебно када је реч о њиховом складиштењу, примени, опасностима од самопаљења и експлозије.

2. ГОРИВИ ГАСОВИ

2.1 Угљоводоници

Стални пораст цене нафте и нафтних деривата намеће потребу све веће употребе гасовитих горива. То се пре свега односи на индустријску и занатску примену, на грејање даљинско или етажно и посебно за погон аутомобила. Тако се у развијеним земљама све више скупља нуспродукт рафинације нафте познат као течни нафтни гас (TNG) који се у Америци зове *пропан*, а у Европи *аутогас*. Може се добити не само рафинацијом нафте већ и вештачки (синтезом) природних гасова.

2.1.1 Особине природног гаса

Природни гас се добија из чисто гасних лежишта (порозне стене) и гасно кондензатних лежишта уз или у близини налазишта сирове нафте. Користи се као сабијени природни гас (CNG – Compressed Natural Gas) или као течни природни гас (LNG – Liquefied Natural Gas). Природни гас је смеша горивих и негоривих гасова са основним састојком метаном (CH_4) од 85 до 98% (-vol.). Остали гасови који сачињавају природни гас су угљоводоници:

- Етан C_2H_6
- Пропан C_3H_8
- Бутан C_4H_{10}
- Пентан C_5H_{12}
- Хексан C_6H_{14} или виши угљоводоници опште формуле $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ и негориви гасови:
- Азот N_2
- Угљен-диоксид CO_2

Суфикс "ан" односи се на засићене угљоводонике. Природни гас не садржи CO па није отрован, али је експлозиван.

Транспорт и складиштење овог гаса одвија се обично у течном стању, али се и тада, 600-ти део запремине (1/600 V) укупне масе налази у гасовитом стању.

Пропан (аутогас) има особину да на собној температури и нешто повишеним притисцима прелази у течност. У рафинеријским смешама има тежински више од 95% пропана који је изванредно гориво како по испарљивости тако и по октанском броју. Као редовни пратиоци пропана појављују се бутан и етан, који такође при нешто повишеним притисцима прелазе у течност. По мерилима погодности за горива бензинских мотора са унутрашњим сагоревањем пропан је бољи од постојећег супера, а бутан од премијум бензина.

Метан, етан и пропан јављају се само једном облику, а бутан у облику два изомера (нормалан бутан и Н-изобутан). Они се разликују по својим физичким константама и по неким хемијским реакцијама.

Метан, етан, пропан и бутан при обичној температури су гасовити, док су пентан, хексан течни, а угљоводоници од $\text{C}_{16}\text{H}_{34}$ и даље чврсти.

Сви су они засићена једињења и не могу да у свој молекул приме (адирају) нове атоме. Али могу да замене (супституишу) један или више водоникових атома са другим атомима или атомским групама (радикалима).

Угљеник је главни састојак органских и неорганских једињења. Атоми угљеника стварају међусобно чврсте везе образујући ланчасте молекуле. На пример, за кисеоник максимална позната дужина ланца јесте 2 при чему је једињење са два "О" непостојано (водоник пероксид) док се са угљеником добија постојано једињење са 70 атома "С". Атоми "С" нису повезани по правој линији већ "цик-цак". Низови атома "С" у молекулским органским материјама могу бити отворени (горе наведени) и затворени (циклични). Позната су само два водонична једињења са "О" (H_2O , H_2O_2), а са угљеником CH_4 , C_2H_6 , C_3H_8 , C_4H_{12} итд. Уочава се да се наредни угљоводоник добија додавањем групе CH_2 на претходни ($\text{CH}_4 + \text{CH}_2 = \text{C}_2\text{H}_6$; $\text{C}_2\text{H}_6 + \text{CH}_2 = \text{C}_3\text{H}_8$; итд.). Овакви редови једињења зову се хомологи.

Јачина веза (C-C); (C-H); (C-O) и слично, не разликују се много, што се види из табеле 2.1

Табела 2.1 Јачине веза

Веза	C-C	C-H	C-O	C-S	C-N	C-F	C-Cl	C-Br	C-I
Енергија везе, kJ/g atom	355.87	414.93	343.37	280.51	255.93	481.48	326.57	276.32	242.83

Будући да је енергија везе C-H блиска аритметичкој средини неполарних C-C и H-H (435 kJ/g atom), што указује на веома малу поларност везе C-H. Слабу поларност има и огромна већина других веза у органским једињењима. Мала поларност тешко доводи до јонизације молекула, па велика већина једињења "С" практично не подлеже електричној дисоцијацији. Ипак се јављају радикали метил - CH_3 и C_2H_5 - етил.

2.1.2 Течни нафтни гас

Термин течни нафтни гас (TNG) се примењује на одређене угљоводонике који се при релативно ниским притисцима и уобичајеним атмосферским температурама налазе у течном стању, међутим у уобичајеним атмосферским условима они су гасовити и као такви се користе у процесима сагоревања.

То је природан гас пропан и бутан, другим речима органски ланац засићених угљоводоника, који се налазе у гасном стању под атмосферским притиском и $T = 15^\circ\text{C}$. Прелазе у течно стање при $p = 1.7$ до 7.5 bara . Њихова смеша или сваки посебно, складишти се и транспортује у течном стању, а на месту потрошње користи се у гасовитом стању. Може се рећи да у нашој земљи (TNG) тек у последње време осваја индустријске потрошаче и домаћинства.

Предности: TNG се лако и економично транспортује било у боцама или у цистернама; гори изванредно чистим пламеном дајући продукте сагоревања који испуњавају најстрожије еколошке захтеве (мали проценат сумпора).

Мане: Запаљивост и експлозивност што је опасност за околину.

Доследном применом техничких стандарда (страних у недостатку наших), неће бити никаквих опасности од примене TNG. Пропан и бутан су нискотемпературски угљоводониси (лаке фракције) који се ослобађају при дестилацији нафте и при добијању земног гаса (природног гаса). Ако се TNG добија из природног гаса онда чини 4% његове запремине или 4.5% масе прерађене нафте. Они се могу сматрати као висококвалитетни лаки бензини, који при атмосферском притиску формирају гас, а под малим натпритиском прелазе у течно стање. Ауто гас (пропан) највише се примењује у Италији, Холандији, Француској, Белгији, Чешкој и другим земљама.

Сигурност примене TNG

Са становишта сигурности, главне карактеристике TNG јесу:

- Гасна фаза TNG је тежа од ваздуха,
- Притисак паре TNG већи је од притиска бензинских пара, зато се сигурно складишти у затвореним судовима под притиском (посебни прописи),
- Дифузија гасне фазе TNG у околну атмосферу веома је спора,
- Мешавина ваздух-гас пали се отвореним пламеном (гаси се мешањем велике количине азота, CO₂), водене паре (фино распршена водена пара),
- Кад температура околног ваздуха расте у резервоару експандира течна фаза TNG (стога се боце, резервоари не пуне до врха већ се оставља неопходан експанзиони простор),
- TNG није отрован гас (нема CO), али је у критичном степену јак наркотик, мада му јачина дејства слаби услед мале растворљивости у крви. Зато TNG при атмосферском притиску физиолошки индиферентан; може изазвати гушење само при високим концентрацијама због смањења садржаја кисеоника у ваздуху.

Примена

Доста заостајемо у односу на остале европске земље због:

- Недовољног познавања TNG као горива, његових предности и мана
- Недостатака домаћих прописа за руковање TNG-ом, за уградњу и примену,
- Недостатака домаћих произвођача специјалне опреме за TNG.

Опсег примене у европским земљама

- Домаћинства, комерцијално загревање (директно или преко система централног грејања),
- Расхладна техника,
- Сушаре у разним индустријским гранама,
- Индустријска стакла, керамике, текстила,
- Као гориво у бензинским моторима, асфалтним базама, сушарама и др.

Прописи- У многим европским земљама технички прописи за TNG покривају: производњу, транспорт, дистрибуцију и коришћење. Нису довољни само прописи већ су неопходна и одговарајућа удружења и инспекцијски органи који се брину о њиховој примени.

Течни нафтни гасови настали су у процесу прераде нафте (крекинг) садрже осим засићених угљоводоника и незасићене угљоводонике (C_nH_{2n}) где су атоми С у структурном ланцу повезани двоструким или троструким везама (хемијски веома активни – лако се везују са другим атомима или атомским групама (нпр. пластика PVC).

Пропан трговачког квалитета је мешавина од најмање 95% удела масе пропана или пропена, с тим да пропан превагне. Остатак чине: етан, етен, бутен и бутен изомери. Парни притисак при $T = 70^\circ\text{C}$ износи $p_{\text{max}} = 31 \text{ bara}$.

Бутан трговачког квалитета најмање 95% масеног удела бутана и бутена изомера, с тим што изомер мора да превагне. Остатак чине: пропан, пропен и пентен изомери. Парни притисак при $T = 70^{\circ}\text{C}$ износи $p_{\max} = 31 \text{ bara}$.

Особине течног нафтног гаса

Под извесним притиском "р" гасови пропан, бутан се претварају у течност. Транспортују се под свим предностима које пружају течности, а користе се као гасови, са свим предностима које имају гориви гасови. Прелазак из течног у гасовито стање увек настаје апсорпцијом топлотне енергије. У резервоару, или боци, изнад течне фазе налази се као лакша гасна фаза. Из околине течност прима топлоту и испарава се. Ако је упумпа у испаривач, где прима додатну топлоту за стварање гасне фазе. Стога се при даљем разматрању TNG третирају три разне фазе:

- Течна фаза (T. F.),
- Парна фаза (при равнотежном стању) (P. F.) и
- Гасна фаза (G. F.) (ван боце).

При одузимању гасне фазе мора се боци довести потребна количина топлоте из околног ваздуха сразмерно уделу у мешавини пропана и бутана- за пропан 352.5 kJ/kg при референтној температури $T = 15^{\circ}\text{C}$. Ако се потребна количина топлоте (Q) не доводи, у боци се потроши акумулирана топлота, па температура (T) и притисак (p) у боци опадају. Одузимање гасне фазе теоријски престаје, када притисак у боци падне на притисак околине.

2.1.3 Испаравање течног нафтног гаса

По немачком пропису TRF 1996 течни нафтни гас, тачније пропан се употребљава у домаћинствима и занатству искључиво у гасној фази. Испаравање се обавља у складишним резервоарима, одакле у виду паре преко регулатора притиска одлази до потрошача. Испаравање настаје под утицајем топлоте коју TNG прима од околине (сунца, ваздуха, земље). Недостатак оваквог система је што течна фаза TNG испарава по фракцијама, јер TNG садржи више различитих угљоводоника. Прво испаравају лакше фракције, док пентан, бутилен, пропилен и разне примесе остају у резервоарима. Временом се толико наталоже да се резервоари морају чистити. Очигледно је да такво природно испаравање доводи до променљивог састава испареног гаса, што погоршава рад потрошача (слабији рад мотора, расте %CO и мења се концентрација одораната¹), (парна фаза TNG зими повлачи мање одораната од прописане количине, а лети више). Наведени недостаци се отклањају применом уређаја за испаравање изван резервоара. То су специјални измењивачи топлоте – испаривачи који користе енергију топле воде, водене паре и електричне енергије (ми често користимо бутан, а Немци пропан).

2.1.4 Топлота испаравања

За испаравање неке течности потребна је топлота, дефинисана ка топлота испаравања у kJ/kg или Wh/kg . Што је нижа температура течности, биће потребна и већа количина топлоте за испаравање. Количина топлоте коју течност прима из околине, није равномерно распоређена по целој боци. Најинтензивнији процес је преко оквашене

¹ Одорант- Миришљави (ароматични) угљоводоници, додати да би се чулом мириса осетило цурење гаса.

површине што значи да пуна боца прима највећу количину топлоте. У таблели 2.2 дате су топлоте испаравања пропана и бутана за различите температуре.

Табела 2.2 Топлота испаравања пропана и бутана у зависности од температуре

Температура, T, °C	Топлота испаравања, kJ/kg	
	Пропан	Бутан
-30	413.73	413.23
-20	403.39	404.02
-10	392.30	393.55
0	378.65	383.92
10	364.16	373.46
20	348.55	361.73
30	330.32	351.69

2.1.5 Минимална коначна маса у TNG резервоару

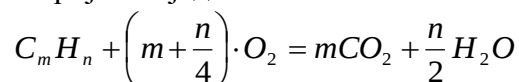
За време одузимања гасне фазе из резервоара пропан-бутан опада концентрација пропана, који лакше испарава, а тиме пада и парни притисак мешавине. Одузимање је могуће само док је унутрашњи притисак у резервоару виши од притиска у прикључном воду.

Под минималном коначном масом се подразумева заостала количина смеше обогаћена бутаном која више не испарава.

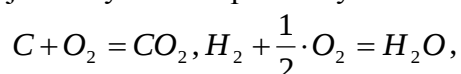
Течни нафтни гас (пропан/бутан) је у гасној фази тежи од вазуа, а у течној фази лакши од воде. Због тога се мора строго пазити да течни гас не доспе у просторе испод нивоа земље, канале, шахте и тсл. Прописи и правила за израду постројења за течни гас посебно узимају у обзир ове особине TNG-а.

2.1.6 Реакције сагоревања

Стварни процеси сагоревања одвијају се у сложеним условима преноста масе и топлоте, јер су гасовита горива обично смеше више компонената од које су неке сагориве, а неке несагориве. Сагориви састојци су водоник, CO и гасовити угљоводоници, а несагориви N₂, CO₂ и водена пара H₂O. Реакција сагоревања било ког угљоводоника дата је стехиометријском једначином:



Најважнији гориви елементи у свим врстама горива су угљеник (C) и водоник (H₂). Реакције потпуног сагоревања угљеника и водоника дају хемијске једначине:



што значи да се атом угљеника једини са једним молекулом кисеоника при чему се ствара један молекул угљен-мооксида. Материјални биланс показује да се 1 mol атома угљеника једини са 1 molом кисеоника, а добија се 2 mola CO₂ или да се 12 g угљеника једини са 32 g кисеоника дајући 44 g угљен-мооксида. Слично томе 1 mol водоника се са 1/2 mola кисеоника тадо да, 2 g водоника и 16 g кисеоника дају 18 g воде.

2.1.7 Заштитне мере за постављање резервоара у просторији

У просторијама за TNG не сме да буде никаквих канала за скупљање течности, отворених јама нити подрумских отвора. У тим просторијама не сме да буде запаљивих извора топлоте. Електрични уређаји не смеју да доводе до варничења (Правила од заштите од експлозије-EXPL). Монтажна заштита (параванска) изводи се постављањем заштитних зидова, који немају отворе и који су довољно високи и израђени од материјала који не горе. Зидови зграде могу бити и сами заштитни зидови уколико су израђени од материјала сходно DIN-у 4102 и ако немају отворе.

2.1.7.1 Сигурносне ознаке

Резервоари течног гаса снабдевени су натписним плочицама (трајним, јасним и видљивим), где се виде симболи сигурносних ознака и упутство за руковање (сл. 2.1).



Слика 2.1 Табла са сигурносним ознакама

На надземним и полузакопаним резервоарима сигурносне ознаке постављају се на резервоару, а на укопаним резервоарима споља на поклопцу шахта, а упутство за руковање унутра на поклопцу шахта. У просторијама се ове ознаке постављају видно на излазим вратима.

2.1.7.2 Заштита од неовлашћеног приступа и механичких дејстава

Сви резервоари се испоручују са катанцем на поклопцу, хауби или шахти. За индустријске резервоаре потребна је додатна заштита. То је ограда од жичане мреже висине 1.5 m и са вратима која се могу закључавати на удаљењу најмање 0.5 m од резервоара TNG.

Растојање од канала, шахти, отвора

Пошто је TNG тежи од ваздуха мора се спречити његово продирање (цурење) у улазне незатворене канале, отворене шахте, уисне цеви за ваздух и уопште у просторије ниже од нивоа земље.

2.1.7.3 Заштита од пожара

Начелно се узима у обзир само код надземних и полузакопаних резервоара постављених споља када је могуће загревање сунчевим зрацима (инсолација) и директним додиром пламена. Код укопаних резервоара, заштита од пожара узима се у обзир само када поклопац шахте није челични или од других незапаљивих материјала.

Заштита од пожарне опасности може се постићи додатним мерама:

- Прекривањем земљом са свих страна,
- Изолационим покривачем,
- Заштитним лимовима од зрачења,
- Заштитним зидовима и др.

2.1.7.4 Апарати за гашење пожара

За постројења са резервоарима на течни гас неопходно је располагати ручним апаратом ABC за гашење пожара од 6 kg смештеном на пролазном месту, заштићеном од временских промена и неовлашћеног коришћења, а увек спреман за активирање. Његова радна способност мора се контролисати два пута годишње. Такав противпожарни апарат према SRPS Z.C2.035 (сл. 2.2) намењен за гашење почетних пожара (B, C, E), а уколико су напуњени универзалним прахом, онда се могу гасити и пожари типа A и D.



Слика 2.2 Ручни противпожарни апарат за суво гашење

Овим се апаратима гасе пожари на тешким транспортним возилима, индустријским објектима, магацинима, радним и стамбеним просторијама. Средство за гашење је суви прах који се избацује помоћу гаса CO₂. Прах није штетан за људски организам. У случају избијања пожара треба поступати на следећи начин:

- Донети апарат до места пожара;

- Извући осигурач покретне ручице на вентилу апарата;
- Шаком сабити покретну ручицу вентила до краја и чекати 5 секунди;
- Уперити ручицу млазнице на зону пожара и притегнути покренуту полугу до краја;
- Млаз праха набавити преко запаљене површине све док се пожар не угаси.

Табела 2.3 Технички подаци за ручним противпожарни апарат

Технички подаци	S6	S9	S12
Тежина пуног апарата, <i>N</i>	108	151	186
Маса праха, <i>kg</i>	6	9	12
Радни притисак, <i>max, bar</i>	12	12	12
Време дејства, око <i>s</i>	15	20	25
Домет млаза, <i>m</i>	6	6	6
Количина гаса CO ₂ у боци, <i>g</i>	120	160	20
Гаси пожаре на електричним инсталацијама до 1000 V!			

2.1.8 Одржавање резервоара

Заштитни рефлектујући премаз се код надземних и полуукопаних резервоара течног гаса уредно контролише, а по потреби и чисти. Све оштећења на основном покривном премазу морају благовремено поправити.

2.1.9 Контрола количине TNG-а у резервоарима

Произвођачи, потрошачи и трговци, испоруке купцима обрачунавају у *kg* или тонама, што је најлакше за мерење, фактурисање и плаћање.

При одређивању тежинске количине TNG у резервоарима, цистернама, боцама потребно је знати основне параметре: запремину посуде, густину TNG, температуру и састав (% пропана, бутана и др.). Ово је посебно важно на нашем тржишту на коме се толеришу неоправдано велике разлике односа *пропан-бутан* у смеши. Те су разлике уочене у боцама и преносним резервоарима. Другим речима, гас се у рафинеријама плаћа по тежини, а на пумпама продаје на литре (запреминско мерило) (бутан има већу запремину, а у рафинерији је на кило јефтинији). Истина, овако се ради и у Немачкој, али се тамо гарантује *пропан* уједначеног квалитета па потрошач није угрожен. За сада код нас потрошачи не могу контролисати однос смеше пропан-бутан, јер се за моторе и грејаче као гориво користи гасна фаза за коју се не зна густина и састав. Резервоари имају манометре, који приближно показују садржај TNG.

2.1.10 Прво пуњење резервоара, одрстрањивање воде и нечистоће

Нови или резервоари после чишћења или поправке садрже ваздух који се пре пуњења мора одстранити (усисавањем, убацивањем CO₂ или N₂).

Према техничким прописима било какви радови на резервоарима TNG-а, дозвољени су пошто се TNG одстрани. Без обзира на то што се отворе сви вентили и TNG слободно излази из резервоара, увек се задржавају знатне количине гаса. Тај се остатак (извор опасности при заваривању!) може избацити: продувавањем са CO₂ или N₂ (негориви гасови), воденом паром или водом. Излазак гаса у атмосферу треба контролисати тако што

се испушта преко цевчице и сагорева у виду мирне бакље. Другим речима, чишћење сме да обавља само стручна и специјализована екипа.

Будући да и сасвим мале количине TNG у додиру са ваздухом образују експлозивне смеше, чишћење се мора поновити више пута, и на крају помоћу детектора гасног пламена испитати унутрашњост резервоара. Нарочито треба бити обазрив са резервоарима који су дуже радили, јер се на дну таложе тешки угљоводоници, уља из компресора, одоранти и друга лако запаљива једињења.

Вода у TNG-у ствара многе проблеме, иако се у њему мало раствара. При испаравању гас се шири и изазива потхлађење (аналогија: испуштање ваздуха из ауто гуме под притиском доводи до пада температуре излазног ваздуха), што ствара ледене чепове у вентилима, цевоводима, нарочито приликом пуштања у рад. С друге стране вода и неки угљоводоници из TNG стварају чврсте хидрате који се стињавају на температурама вишим од 0°C. Оправдано се поставља питање одакле вода у TNG-у? Може да остане после водене контроле заптивености или атмосферске кондензације. Стога је после сваког пуњења резервоара потребно сачекати неколико сати и проверити има ли воде у резервоару. За то служи испусни вентил монтиран на доњој изводници резервоара. Вода се испушта према одредбама Техничког прописа, и по упутству за сваку TNG инсталацију.

2.1.11 Монтажа постројења за TNG и испитивање пре пуштања у рад

Ове послове обављају само:

- Организације уписане као занатске за инсталације за гас и воду;
- Организације регистроване као занатске за грејање и проветравање;
- Организације регистроване за градњу постројења за TNG од стране индустријских и трговачких комора;
- Организације које заједно раде са дистрибутерима TNG, и регистроване као занатске за инсталацију воде и гаса;

За испитивање пре пуштања у погон треба разликовати:

- Снабдевање гасом из боца и
- Снабдевање гасом из стационарно постављених резервоара.

а) Најпре се постављају боце па цевовод са одговарајућом опремом, гасни апарати и најзад димњаци за одвођење сагорелих гасова. За целокупно испитивање пре стављања у погон надлежна је стручна организација, тј. лица која:

- по образовању, звању и искуству у потпуности владају садржајем прописа TRF 1996;
- поседују лични интегритет, односно не подлежу утицају и притиску заинтересованих страна;
- располажу одговарајућим инструментима и опремом за проверу битних параметара.

2.1.11.1 Цеви и прибор

Цеви за TNG резервоаре испоручују се са стандардизованим механичким особинама, хемијским саставом и повећаном тачношћу израде. Цеви се испоручују у дужинама 4-8 m; то су бешавне цеви од добро заварљивог нискоугљеничног или нисколегираног челика (SRPS C.B2.221), (DIN 2448 – SRPS C.B5.021) и (DIN 1629). Ако се

цевоводи постављају испод малтера (на зидовима), цеви се искључиво спајају заваривањем, а арматура на цевоводима ставља се у лако доступне ормариће. Инструменти, арматуре и прикључци гаса на гасни вод, спајају се цевним навојем. Цеви спојене прирубницама не смеју се закопати у земљу. Цевоводи кроз зидове и таванице морају се заштитити цевима већег пречника. Цевоводи постављени кроз подруме искључиво се спајају заваривањем. Подземни цевоводи не смеју пролазити кроз темеље грађевинских објеката. Цевовод мора бити обезбеђен од експанзије, контракције, потреса, вибрација и слегања тла.

Цевоводи могу улазити у грађевински објект у коме су смештени потрошачи, али само преко вентила за затварање који се налазе са спољне стране објекта, најмање 0.20 m од фасаде.

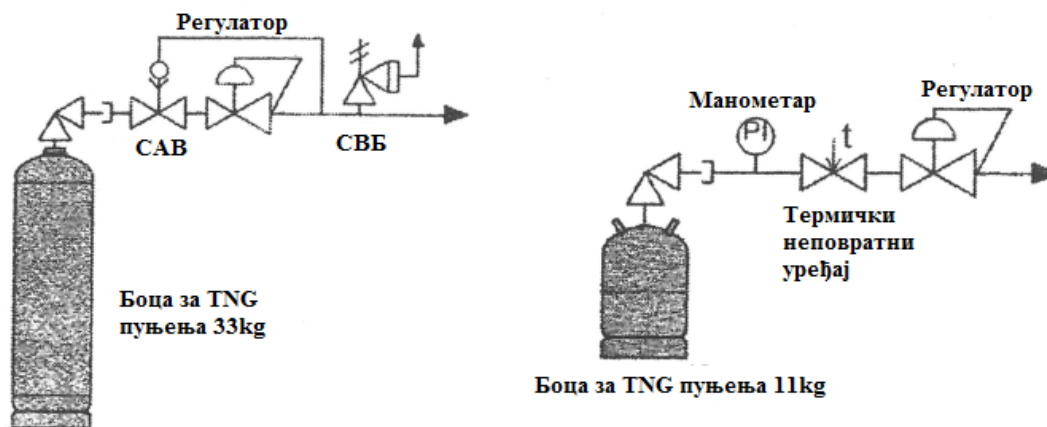
Бакарне и пластичне цеви и њихови фитинзи² за спајање код нас се не употребљавају због анахроних³ прописа за TNG из 1971. године. У иностранству се употребљавају бакарни и пластични материјали за транспорт природног гаса. У елементе за повезивање цеви спадају: лукови, редуцири, заварене прирубнице (фланше), Т- рачве.

2.1.11.2 Прикључни водови за боце

За прикључивање боце за TNG на разводни цевовод потребна су еластична црева. Цревни вод по правилу мора бити заштићен од механичких оштећења и истезања.

2.1.11.3 Постројења са једном боцом

Регулатор притиска причвршћује се директно на боцу као што је шематски приказано на слици 2.3.



Слика 2.3 Постројења за TNG са једном боцом пуњења 11 kg и 33 kg

За савитљиву везу од излазне стране регулатора притиска (ниског притиска) па до цевовода користе се црева најмање 40 cm дужине, класе притиска PN 6, са чврсто уграђеним прикључцима са обе стране по DIN 4815 део 2.

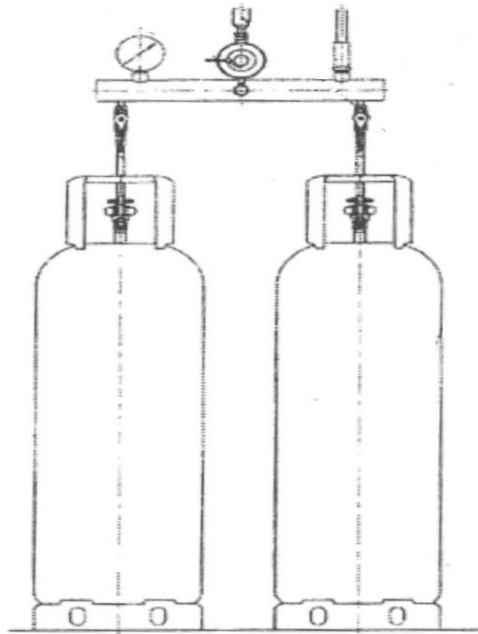
² Фитинг- део цевних инсталација, прикључак за цеви

³ Анахроних- стари, прастари

2.1.11.4 Постројења са две боце

Савитљиви спој од две боце за TNG (високо притисна страна) до ручног или аутоматског вентила за укључивање изводи се цревом 40 *cm* дужине, класе PN 30 по DIN 4815 део 1, са обострано причвршћеним прикључцима. Постоје решења са два вентила (сигурносно неповратни и сигурносно испусни) и само са сигурносно испусним вентилом на страни ниског притиска.

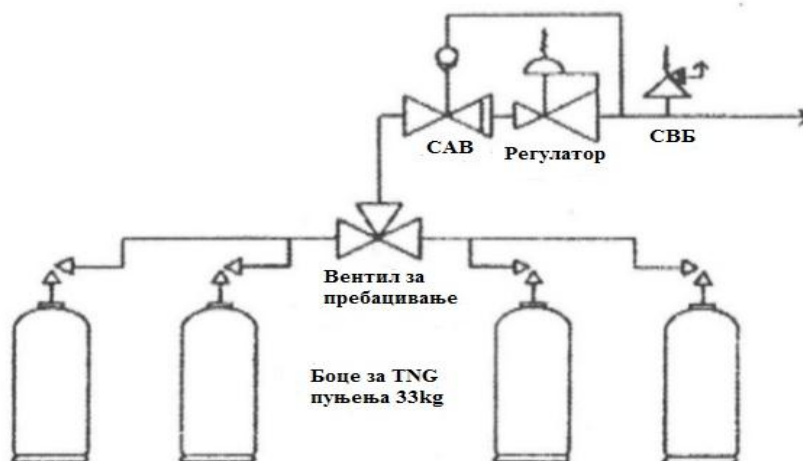
На слици 2.4 дат је цртеж постројења TNG са две боце са колекторима, како захтевају наши прописи.



Слика 2.4 Постројења са две боце од по 35 *kg*

На колектору се налази манометар опсега 0 до 25 *bara* и вентил сигурности са опругом притиска отварања 18.3 *bara*. На средини колектора уграђен је Р/В вентил, а на његовом крају причвршћен је регулатор притиска (4). На изласку из регулатора налази се холендер са чеоним заптивањем (5), који остварује везу са челичним цевоводом (6).

На слици 2.5 дат је цртеж постројења TNG са више боца (наши прописи).



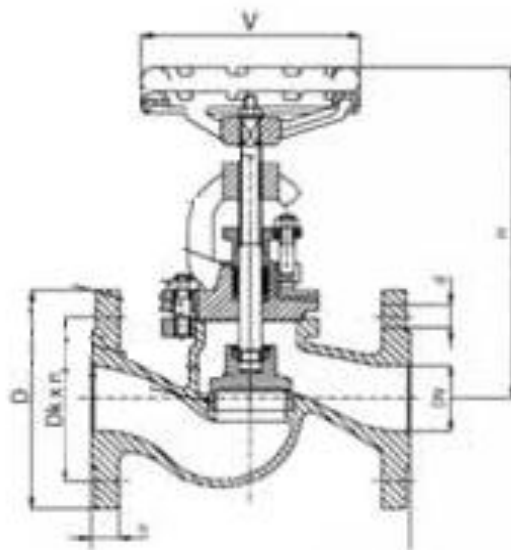
Слика 2.5 Постројење за TNG са више боца пуњења 33 kg

Постројењем за гас може руковати само стручно за то оспособљено лице, што се доказује писменом потврдом дистрибутера. Постављање боце и њихова замена обавља се под надзором дистрибутера, или од њега овлашћеног лица. Замена боца може се поверити и потрошачу гаса ако дистрибутер оцени да је он оспособљен за руковање боцама. Пре замене боца сви се вентили морају затворити. Сигурносни вентил боца мора издржати пробни притисак од 25 bara. Вентил за затварање боца и његови спојни делови постављају се у удубљење на врху боце и покривају капицом. Боце капацитета пуњења већег од 15 kg гаса, поред вентила за затварање, мора имати и вентил сигурности (опруга, заштита од удара и пломба).

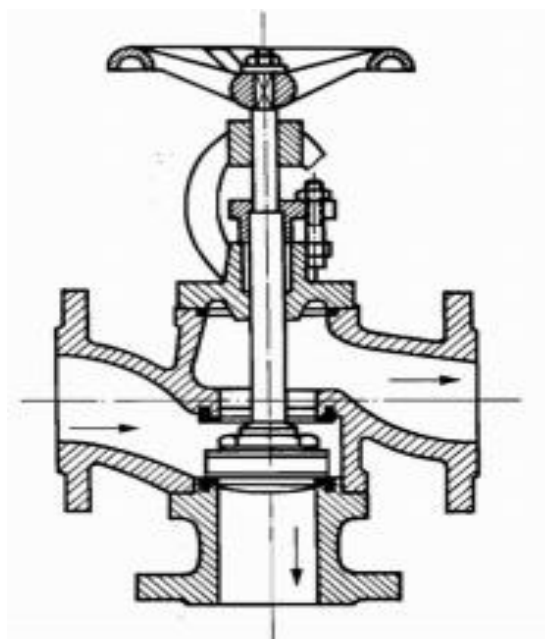
2.1.11.5 Неповратни уређаји

Служе да зауставе довод гаса при прекиду рада, сметњама у раду или при радовима на одржавању и испитивању деоница цевовода. Уопштено се разликују: нлоптасте славине, брзоотварајући вентили, мембрански вентили и тсл. Зависно од облика неповратног органа, неповратна арматура се дели на: *вентиле, славине и засуне*.

Вентили- Неповратни део вентила је затварач насађен на вретено. Обртањем ручице, вретено се помера кроз навојну чауру ("вирблу") и затвара или отвара вентил. Вентили се највише примењују од свих неповратних TNG арматура јер остварују херметичко затварање, регулишу проток, а сигурни су при раду. Мане су велики хидраулични отпор и осетљивост на прање због присуства чврстих примеса у флуиду. Разликују се равни (сл. 2.6) и угаони вентил (сл. 2.7). Код равног вентила, осе улазног и излазног отвора леже у истом правцу, а код угаоног те су осе најчешће под углом од 90°.

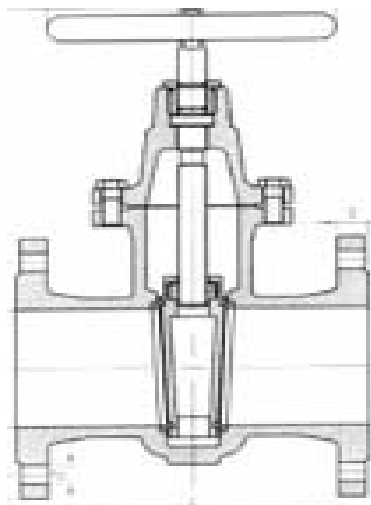


Слика 2.6 Равни пролазни вентил за везу са прирубницама



Слика 2.7 Угаони вентил за везу са прирубницама

У инсталацијама пропан-бутан често се среће равни вентил који има двоструку улогу (сл. 2.8). Делује као неповратни, јер прекида ток флуида кроз цевовод и као неповратни вентил, јер спречава ток флуида од дозвољеног смера (сл. 2.8).



Слика 2.8 Неповратни вентил

2.2 Водоник

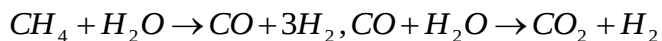
2.2.1 Уводне напомене

Водоник је први, најлакши и најједноставнији елемент по грађи атома, у Менделејевом периодном систему елемената. Широко је распрострањен на Земљи у облику једињења, а у васиони је најраспрострањенији елемент који чини половину масе Сунца и већине звезда.

Открио га је 1766. године енглески физичар Кевендиш и назвао га је "ваздух који гори".

Без боје, мириса и укуса, водоник је запаљив гас који гори у ваздуху белим пламеном.

Индустријска производња водоника започиње практично 1931. године када почиње употреба водоника на велико и то у нафтној индустрији за хидрогенизацију уља и масти. Као сировина за добијање водоника служе природни гасови, коксни гас, гасови добијени при преради нафте као и продукти гасификације чврстих и течних горива. Деловањем водене паре на природни гас (чији је главни садржај метан) добија се угљен-моноксид и водоник, а добијени угљен-моноксид такође реагује са воденом паром и даје угљен-диоксид и водоник.



Један од најраспрострањенијих начина добијања водоника је из продукта гасификације угља (водени гас) који садржи до 50% водоника и 40% угљен-моноксида, при истој реакцији.

Широку примени водоник има у хемијској индустрији, за добијање синтетичких производа, односно синтетичког амонијака и синтетичког метанола.

У техници се водоник користи за сечење метала, за заваривање на већим дубинама, у металургији за стварање редукционе и заштитне атмосфере, у термоцентралама за хлађење електричних генератора и тсл.

Мешавина водоника са ваздухом, кисеоником или хлором је експлозивна.

2.2.2 Физичко-хемијске карактеристике

У табели су дате физичко-хемијске карактеристике водоника,

Табела 2.4 Физичко-хемијске карактеристике водоника

Хемијски знак	H ₂
Густина при 1.033bara	0.0899 kg/m ³
Температура испаравања при 1.033 bara	20.39 K
Температура тројне тачке	13.95 K
Температура мржњења	13.5 K
Густина течног водоника при 20.39 K	70 kg/m ³
Коефицијент провођења топлоте	2.428·10 ⁻² W/mK
Запремина гаса при 0°C и 1.033 bara при испаравању 1 dm ³ течности	788 dm ³

2.2.3 Цевоводи за водоник

Водоник није гас који изазива корозију у течном нити гасовитом стању, па се у том смислу не захтевају се неки специјални материјали за цевоводе.

Водоник има неповољну карактеристику да се добро раствара у многим металима, а нарочито у никлу, платини и паладијуму. Та неповољна појава доводи до разлагања угљеничног дела структуре метала услед разугљенисавања. Због ове особине може се десити да водоник продире кроз зидове цеви који су иначе непропусни за друге гасове. За цевоводе за гасни водоник, односно водоник у гасној фази, најбоље је употребљавати бешавне цеви по SRPS C.B5.221 са условима испоруке по SRPS C.B5.021, од високолегираног челика са малим садржајем никла.

За течни водоник, односно водоник у течној фази, употребљавају се бешавне цеви од аустенитних челика са високим садржајем хрома или цеви од бабра.

За спајање цевовода за водоник нема посебних захтева, оно се изводи данас уобичајеним поступцима спајања: заваривањем, тврдим лемљењем, меким лемљењем, прирубничким спојевима и завојним спојевима. Као заптивни материјал за цевоводе спојене прирубницама, не препоручује се бакар, због могућности прљања. Најпогоднији материјални за ову сврху су PVC, TPE фиберглас итд.

2.2.4 Арматура за водоник

Као неповратна арматура у постројењима са водоником, долазе у обзир вентили. Засуни не долазе у обзир за примену због проблематичног заптивања што је веома опасно с обзиром на својства водоника и његову велику дифузиону способност (најмањи пречник атома од свих елемената). При избору арматуре, односно вентила за инсталацију водоника, посебно треба обратити пажњу на то да се изаберу вентили са меканим заптивањем. На пример, тефлон између печурке вентила и седишта вентила, јер вентили са тврдим заптивањем не гарантују потпуну заптивеност.

При руковању арматуром за водоник треба избегавати грубе покрете и радње. То значи, да арматуру не треба покретати ударом и слично да не би дошло до оштећења заптивних површина. Вретена вентила морају бити осигурана од самоотварања.

При димензионисању и избору вентила сигурности, на резервоарима или цевоводима водоника, потребно је ићи на што веће димензије, односно на што мање

брзине струјања водоника из вентила сигурности у слободан простор, јер при великим брзинама струјања може доћи до samozапалења водоника.

2.2.5 Полагање цевовода за водоник

Избор трасе цевовода, растојање између ослонаца, канали за полагање цевовода, мере за заштиту цевовода од статичког електрицитета, термичка изолација, пратеће грејање и др. изводе се према правилима, стандардима и искуствима при пројектовању цевовода уопште.

Према законским прописима о запаљивим материјама, за трасу цевовода за водоник, потребно је имати сагласност на локацију, коју издаје надлежни орган МУП-а (одељење за противпожарну заштиту).

Сагласност за локацију издаје се на основу поднетог захтева који мора да садржи:

- ситуациони план на коме су уцртане трасе цевовода за водоник са назначеним растојањима од евентуално постојећих објеката,
- опис инсталације са подацима о капацитету инсталација, притисцима, температурама, уграђеном материјалу од којег је израђен цевовод, заптивачима, прирубницама и арматури односно вентилима.

Прорачун пречника цеви, брзина струјања, протока и падова притисака изводи се уобичајеним поступцима из примењене механике флуида. С обзиром на велику дифузиону способност водоника, после постављања цевовода потребно је извршити пробу на непропустљивост водоника под притиском 1.2 пута вишим од радног притиска. Проба на непропустљивост се не сме изводити другим гасом. За време ове пробе, шавови и прирубни спојеви вентила и цеви се премазују сапуницом и обавља контрола непропустљивости.

За радне притиске од 150 *bara* и више, препоручује се најпре проба на отпорност воденим притиском 1.5 пута вишим од радног притиска. Ако успе ова проба на отпорност, изводи се проба на непропустљивост водоником.

У инсталацијама водоника под притиском, свака нечистоћа може да изазове извесне нежељене последице, па је потребно редовно чишћење ових цевовода. За чишћење цевовода се препоручује продувавање азотом. За све инсталације водоником препоручује се редовна контрола заптивености, барем једном у смени, премазивањем сапуницом.

При полагању цевовода за водоник потребно је водити рачуна о дифузионим способностима водоника, односно о могућности истицања водоника кроз неочишћене зидове цеви. Цевоводе са водоником је потребно, кад год је то могуће, полагати видно надземно, да би били што приступачнији константној контроли заптивености. Изнад цевовода у затвореном простору, односно просторији где се налазе потрошачи водоника, не сме постојати могућност образовања гасних цепова. Такве просторије обавезно проветравати са најмање пет измена ваздуха на један час, природном или принудном вентилацијом.

Цевоводи за водоник не смеју се водити заједно са цевоводима за кисеоник, хлор и ацетилен. Обавезна је заштита цевовода од статичког електрицитета.

2.2.6 Складиштење водоника

Водоник се складишти на разне начине, као што су:

- Челичне боце запремине од 40 литара у које стаје око 6 m^3 гаса под притиском 150 *bara*.
- Редукциони вентил је комбинација два вентила и два манометра.
- Боце за гасовити водоник не смеју се до краја испразнити, већ толико да заостали притисак буде најмање 0.5 *bara* натпритиска.
- Боце са водоником потребно је складиштити ван пословних и стамбених зграда, односно просторија за боравак људи. Према законским прописима о запаљивим материјама, потребно је имати сагласност за локацију складишта водоника, коју издаје надлежни орган МУП-а. Уз захтев за издавање овакве сагласности (дозволе) прилаже се: ситуациони план са учртаним складиштима водоника и назначеним растојањима од евентуалних објеката, опис складишта са основним подацима о капацитету, броју боца, начину транспорта, о истовару и утовару, затим о начину вентилације и грејању складишта, о електроинсталацији и др.
- Складиштење боца са водоником треба изводити на само за ту сврху намењеним местима, која су јасно ограђена и јасно означена.
- Забрањено је вршити складиштење водоника у зградама намењеним за дужи боравак људи, као што су стамбене и пословне зграде.
- Ако се складиштење изводи на отвореном простору, потребно је боце заштитити од атмосферилија (нпр. одговарајућом надстрешницом).
- Посебно треба складиштити пуне, а посебно празне боце и та два простора у складишту треба да буду јасно обележена и раздвојена, тако да не постоји могућност забуне приликом манипулисања односно руковања са боцама.
- Боце се складиште усправно и везују обујмицама (ланчићима) да не би пале.
- Боце које се складиште хоризонтално (положено), осигуравају се од пада подупирачима.
- У просторијама где се складишти водоник није дозвољено складиштење боца са кисеоником и хлором.
- Складиштна просторија не сме бити угрожена ватром, експлозијом или било каквим извором топлоте.
- Уља и масти не смеју се складиштити у истој просторији са боцама са водоником.

2.2.7 Централe за водоник

Код великих потрошача водоника у гасовитом стању, формирају се централне јединице за водоник, које се састоје од батерије боца, радне и резервне, које су прикључене на заједнички вод, преко регулационих вентила до потрошача, И за централe за водоник потребна је сагласност на локацију, као и за складиште, односно разводе водоника.

Величина централe за водоник је зависна од капацитета централe, односно од броја боца које се смештају у њу. За батерију боца од 2х6 боца од 40 литара запремине, површина централe треба да је најмање 10 m^2 , за батерију од 2х12 боца најмање 20 m^2 , а за батерију преко 2х12 боца 30 m^2 .

Зидови централe за водоник треба да буду од незапаљивог материјала са високом ватроотпорношћу. Кров централe је од лаке конструкције. Подови су обично бетонски и треба да онемогуће котрљање боца. Прозори су нормални са обавезном заштитом од

директног сунчевог зрачења (инсолације). Врата на станицама за водоник треба да воде непосредно напоље и да се отварају према споља. Станице за водоник се греју на $+15^{\circ}\text{C}$ са грејним телима максималне површинске температуре 250°C . Боце са водоником не смеју се смештати непосредно поред грејних тела, већ најмање 0.5 m удаљене од њих ако су грејна тела температуре до 110°C , односно 1 m ако су грејна тела температуре преко 110°C . Максимална температура боце не сме прећи 500°C . Осветљење централе за кисеоник не захтева се у посебној заштити. Громобранска заштита и изједначење потенцијала на свим уређајима у центрالي се морају извести. У свакој станици за кисеоник морају постојати следећи натписи:

- **ЗАБРАЊЕНО ПУШЕЊЕ!** – натпис се поставља споља;
- **ЗАБРАЊЕН УЛАЗ СА СВЕТИЉКОМ СА ОТВОРЕНИМ ПЛАМЕНОМ!** – натпис се поставља споља и унутра;
- **ВЕНТИЛЕ ЛАГАНО ОТВАРАТИ!** – натпис се поставља унутра;
- **ОПАСНОСТ ОД ЕКСПЛОЗИЈЕ** (споља и унутра);

*Резервоар са течним водоником, као и централе морају имати уређаје за спољашње хлађење водом у случају пожара.

3. ЗАШТИТНИ ГАСОВИ

Основа заваривања у заштити гаса јесте инертан карактер носећих гасова угљен-диоксида и/или аргона. Они штите растоп не само од приступа ваздуха, него спречавају нежељене хемијске реакције са жичаном електродом и заваривачком купком.

3.1 Угљен-диоксид

Угљен-диоксид (CO_2) је анхидрид угљене киселине (H_2CO_3) који налази широку примену у свакодневном животу, и то у гасовитом, течном и чврстом стању.

При нормалним условима, угљен-диоксид је безбојан гас, без мириса и благог киселог укуса. Није запаљив, не гори, инертан је и није токсичан. Међутим, при удисању већих количина угљен-диоксида настају сметње у организму, које и по престанку акутне опасности, могу довести и до фаталног исхода.

Угљен-диоксид је нормалан продукт сагоревања органских материја. Садржи га атмосферски ваздух у концентрацији 0,03% запремински односно 460 g/t. У извесном проценту налази се и у природним водама. Угљен-диоксид је тежи од ваздуха око 1.5 пута. Релативно се лако преводи из гасовитог у течно стање, при притиску од 56,5 bara и при 20°C. Течни угљен-диоксид је безбојна, лако покретљива течност и лакша од воде.

Угљен-диоксид се примењује у сва три агрегатна стања. Најширу примену има у прехранбеној индустрији, при производњи безалкохолних пића, у пиварској индустрији, као заштитна атмосфера при паковању и производњи намирница и тсл. Примењује се и у индустрији, као заштитна атмосфера при заваривању, затим за очввршћавање калупа и језгара при ливењу у пешчаним калупима. Незаменљив је као средство за гашење пожара лако запаљивих течности, на хемијским инсталацијама и на електро инсталацијама.

Чврст угљен-диоксид (снег угљене киселине или тзв. суви лед) употребљава се за хлађење животних намирница у транспорту, као и извор ниских температура у неким индустријским процесима.

У медицинске сврхе угљен-диоксид се користи растворен у води као лековита купка.

Угљен-диоксид се индустријски добија из продуката сагоревања из кречних пећи, магнезитних пећи, те коксних пећи. Из смеше гасова, односно из продуката сагоревања, удео угљен-диоксида се издваја апсорцијом у погодном растварачу, а затим се десорбује, пречишћава и утечњава компримовањем и хлађењем.

Веома значајна примена угљен-диоксида је у противпожарној заштити за пуњење ватрогасних апарата. Због својих особина да у концентрацији од 20 до 30% у ваздуху потпуно анулира дејство присутног кисеоника, угљен-диоксид је практично незаменљив као средство за гашење пожара. Исто тако, добра диелектрична својства сувог леда, у који се претвара скоро 40% CO_2 приликом истицања из противпожарних апарата, погодује за гашење пожара на електричним постројењима. Суви лед, веома ниске температуре од -78,9°C, апсорбује велику количину топлоте сублимира у гасовити CO_2 и практично гуши пожар, не изазивајући никакву пратећу штету.

Угљен-диоксидом не треба гасити пожаре лаких метала, алуминијума, магнезијума и других запаљивих легура, јер лаки метали горе у атмосфери угљен-диоксида.

3.1.1 Суви лед

Квалитет угљен-диоксида предвиђен је и одређен југословенским стандардом SRPS H.F.016 и дат је у табели 3.1.

Табела 3.1 Квалитет угљен-диоксида

	Угљен-диоксид		
	Технички	Чист	Чврст
Садржај CO ₂ , најмање за пр. %	98	99.8	-
Садржај воде, највише g/m ³	3	0.1	-
Садржај редукујућих састојака највише KMnO ₄ , mg/m ³	50	-	30
Садржај остатка после испаравања највише у %	-	-	1
Садржај CO ₂ , највише запремински %	0.05	-	-
Мирис и укус	без	без	без
Минерална уља и глицерин*	-	-	-
Водоник сулфид (H ₂ S)*	-	-	-
Хлороводонична киселина* (HCl)	-	-	-
Амонијак и моноетаноламин*	-	-	-

*Означене карактеристике се проверавају само квалитативно.

Суви лед је назван зато што при атмосферском притиску, сублимира, односно прелази у гасовито стање, без преласка у течну фазу. Његова специфична маса зависи од начина добијања и налази се у границама од 1,3 до 1,6 kg/dm³. При притиску од 1 bara температура сувог леда износи -78,9°C, а количина топлоте потребна за његово испаравање (латентна топлота сублимације) је 574 kJ/kg. У поређењу са воденим ледом, суви лед је 1,9 пута ефикаснији као расхладно средство.

Анализом дијаграма стања угљен-диоксида долази се до закључка да при притисцима испод 5,3 bara (или температурама испод -56,6°C) угљен-диоксид може постојати само у чврстом или гасовитом стању. Према томе, само при тим притисцима је могуће да се одвија процес сублимације чврстог угљен-диоксида. Температура сублимације је зависна од притиска.

При притисцима вишим од 5,3 bara и довођењу топлоте, чврсти угљен-диоксид (суви лед), као и водени лед, прелази најпре у течну, а затим у гасовиту фазу.

Суви лед има врло широку примену као изврсно средство за хлађење, до врло ниских температура. Док је просечна температура у хладњаку за домаћинство око $+5^{\circ}\text{C}$, температура сувог леда је $-78,9^{\circ}\text{C}$, па се овај врсно расхладни медијум употребљава у најразличитијим гранама. У медицини се употребљава и скоро је незаменљив као расхладно средство у банкама крви, серума и ткива, за одржавање температура испод -70°C . Хлађење сувим ледом не зависи од нестанка електричне енергије или кварова инсталације, грешке у аутоматици итд.

У лабораторијама суви лед има примену као погодно и јефтино расхладно средство у разним експериментима. У индустрији се суви лед употребљава као расхладно средство за отврдњавање метала (у производњи ножића за бријање). Затим се употребљава за чишћење калупа изливене пластике или гуме; у тим случајевима је суви лед практично незаменљив. Излагање ниској температури очвршћава пластику или гуму и она се веома једноставно чисти из калупа. Млевање гуме и лако топљивих метала једноставно се изводи у смеси са сувим ледом који их очвршћава.

На складиштима лако запаљивих течности, користи се суви лед за отклањање опасности запаљења мешавина пара лако запаљивих течности и ваздуха у резервоарима. Присуство високе концентрације угљен-диоксида, која се обезбеђује убацивањем извесне количине сувог леда у резервоар, смањује ту опасност.

У прехранбеној индустрији суви лед се употребљава као средство за хлађење у току транспорта, нарочито за лако кварљиве животне намирнице, као што су месо, риба, поврће и тел. Суви лед не захтева посебне инсталације, а гасовита фаза угљен-диоксида добијена у току транспорта добар је инхибитор рђе.

Тестирање механичких и електричних делова у условима веома ниских температура (на пример у ракетној техници) врши се врло једноставно и брзо уз помоћ сувог леда као расхладног средства. Баждарење нискотемпературских термометара обавља се помоћу сувог леда. За специјалне сценске ефекте, у позоришту, на филму и телевизији, ствара се безопасна магла, без икаквог мириса уз помоћ сувог леда.

Суви лед се употребљава практично на један од следећих начина:

- блокови сувог леда различитих модула, који се касније разбијају на погодније комаде или се као комплетни комади употребљавају у уређајима за хлађење камиона или вагона цистерни. На овај начин се ваздух принудно наструјава преко комада сувог леда и интензивира његова сублимација, а самим тим се и унутрашња атмосфера расхлађује. У лабораторијама суви лед има примену као погодно и јефтино расхладно средство при разним експериментима.
- штапићи сувог леда, односно комадићи у облику цилиндара пречника 6 до 13 *mm*, а дужине 10 до 20 *mm*, се пакују у полиуретанске изолационе врећице. Овај облик сувог леда се употребљава у оним случајевима када треба избегавати неекономично ломљење великих блокова на захтевану величину. Осим тога, за разлику од комадића воденог леда, штапићи нису адхезивни, односно не приљубљују се један уз други (практично се залепе у случају воденог леда), и задржавају одличну покретљивост, што је веома важно при пресипању и пуњењу контејнера, расхладних посуда и др. Ова особина штапића сувог леда задржава се и током складиштења,
- смеша са алкохолом или каквом сличном материјом омогућава добар термички контакт, што убрзава време хлађења, побољшава размену топлоте. У том случају артикли се хладе униформно.

3.1.2 Цевоводи за угљен-диоксид

При димензионисању цевовода за угљен-диоксид препоручене брзине су:

- за челичне цеви максимална брзина треба да буде мања од 8 m/s, али се нормално ради са брзинама од 3 до 5 m/s и $p_{max} = 30 \text{ bara}$;
- за бакарне цеви се препоручују брзине струјања од 10 до 20 m/s и $p_{max} = 30 \text{ bara}$.

Цевоводи индустријских инсталација гасовитог угљен-диоксида се изводе од бешавних цеви, димензија по SRPS C.B5.225 и условима испоруке по SRPS C.B5.022, односно од челичних цеви са шавом димензија по SRPS C.B5.240 и условима испоруке по SRPS C.B5.025. Материјал за цеви без шави је Č1212, а материјал за цеви са шавом је Č0361.

Цевоводи течног угљен-диоксида се изводе од челичних цеви без шави димензија по SRPS C.B5.225 и са условима испоруке по SRPS C.B5.022. Материјал за ове цевоводе мора одговарати условима ниских температура на којима се налази течни угљен-диоксид. За ове цевоводе се предвиђа легирани челик Č4572 и Č4583 или неки други челик са израженом жилавошћу на ниским температурама.

Цевоводи за угљен-диоксид у медицинским инсталацијама и инсталацијама за прехранбену индустрију изводе се од бешавних цеви по SRPS C.D5.500 и SRPS C.D5.120.

У инсталацијама угљен-диоксида у прехранбеној индустрији, где се употребљава угљена киселина (влажан угљен-диоксид), цевоводи морају бити од материјала отпорног на корозију, па се препоручују цеви од бакра или легираног челика, а у новије време и од пластичних материјала.

Спајање цевовода за угљен-диоксид врши се уобичајеним методама, заваривањем, прирубничким спојевима, лемљењем или завојним спојевима. За заптивни материјал нема неких посебних услова, али се препоручује да то буде PVC, тефлон, фиберглас и слично.

3.1.3 Арматура за угљен-диоксид

Као неповратна арматура у инсталацијама угљен-диоксида употребљавају се вентили, засуни и славине по српском стандарду.

3.1.4 Полагање цевовода за угљен-диоксид

Избор трасе цевовода за угљен-диоксид, растојања између ослонаца, ослонци, канали за полагање цевовода, мере за заштиту цевовода од статичког електрицитета, атмосферских пражњења, корозије услед лутајућих струја, одводњавање, прочишћавање цевовода, нагиб, термичка изолација и пратеће грејање, изводи се према правилима, стандардима и искуствима при пројектовању цевовода уопште.

Прорачун пречника цеви, брзина струјања, протока, падова притисака итд., изводи се према уобичајеним поступцима из примењене механике флуида. По постављању цевовода врши се проба на чврстоћу и непропусност, према прописима и условима за израду и употребу парних котлова, парних судова, прегрејача паре и загрејача воде. Проба на непропусност се врши компримованим ваздухом или азотом при радном притиску. Пре пуштања у рад, односно експлоатацију, цевоводи се обавезно продувавају.

3.1.5 Складиштење угљен-диоксида

Пуњење, чување и транспорт угљен-диоксида врши се у челичним боцама под притиском од 70 до 100 *bara*, и у изолованим резервоарима за транспорт, под притиском од 20 *bara*. Величина боца је различита, али су у употреби најчешће боце запремине 40 литара у које стаје око 30 *kg* гаса под притиском од 70 до 100 *bara*, на собној температури. Сви типови боца су тако димензионисани да на сваки килограм пуњења долази 1,34 литара запремине боце, јер само под тим условима у боци постоји равнотежа између парне и течне фазе.

При испуштању угљен-диоксида из боца, у којима се он увек налази у течном стању, потребно је водити рачуна да се не испушта више од 1/12 садржаја боце на час, јер при одузимању гаса из боце течни угљен-диоксид испарава одузимајући топлоту из околне средине. При већим брзинама одузимања гаса из боце, може доћи до залеђивања боце и вентила, опадања притиска у боци и прелаза преостале количине угљен-диоксида у чврсто стање. Стварање ледених кристала на боци, сигуран је знак да је до овога дошло. Такву боцу треба искључити и оставити једно време ван употребе, да би дошло до изједначења температуре са околином.

Најпогоднија брзина одузимања гаса из боце је 2 *kg/h*. Минимални притисак у боци не сме да буде испод 0,5 *bara* како приликом хлађења, односно при паду температуре околине, не би притисак толико опао, да дође до увлачења ваздуха у боцу, приликом отварања вентила.

Складиштење боца угљен-диоксида може се обавити на отвореном простору или у за то предвиђеној просторији. Ако се складиштење врши на отвореном, потребно је обавезно предвидети надстрешницу и бетонски плато, да би се боце заштитиле од атмосферских утицаја.

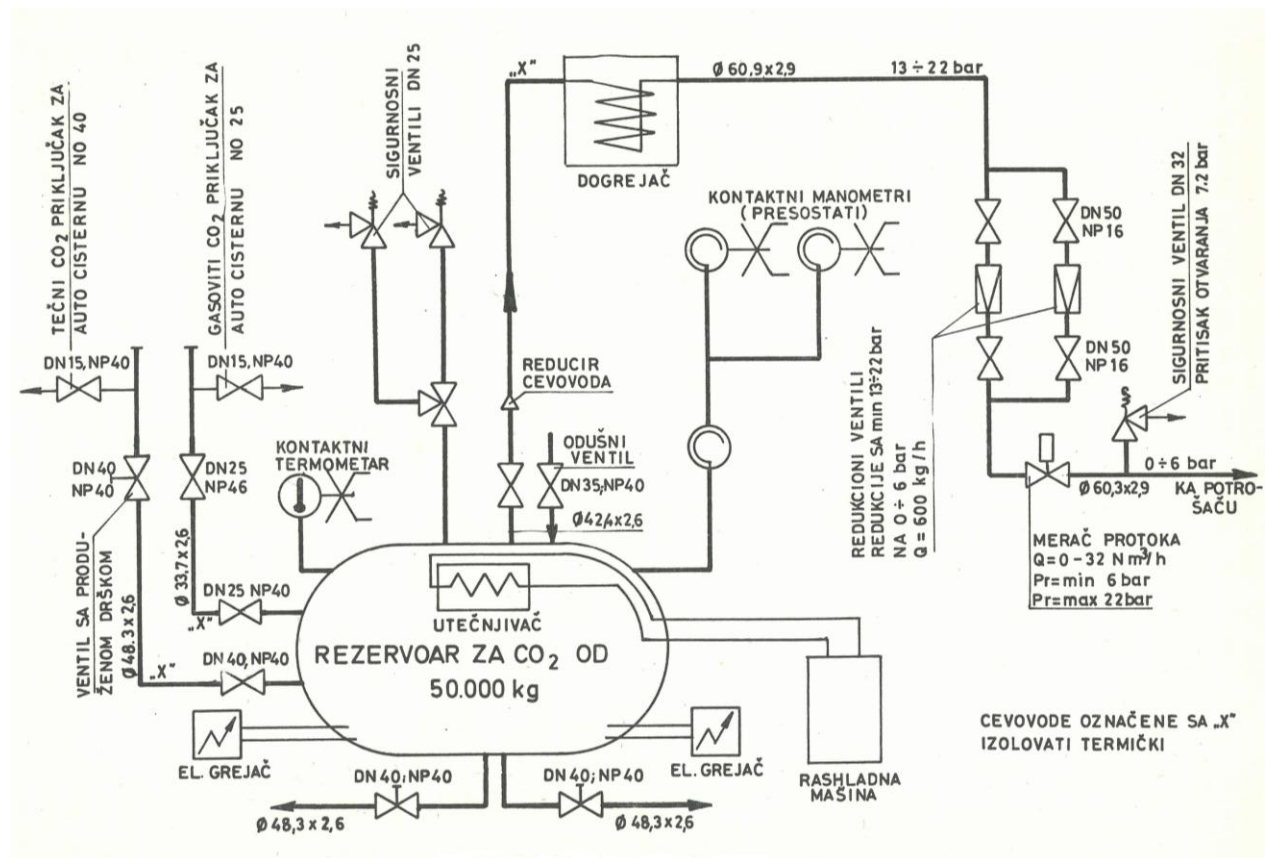
Затворено складиште боца за угљен-диоксид, треба да буде у просторији која је само за то намењена. Таква просторија треба да буде пространа и да има обезбеђену природну или принудну вентилацију. Затворено складиште не сме се постављати испод или изнад радних просторија или станова.

Поред улаза у складиште потребно је поставити ватрогасне апарате, чија се исправност мора редовно контролистати.

Посебно треба складиштити празне, а посебно пуне боце, и то треба натписима јасно назначити. Боце које се складиште усправно, обавезно се обезбеђују од падања, обујмицама или ланцима. Под складишта не сме бити нижи од тла, а у кругу од 5 *m* од складишта не смеју се налазити никаква удубљења или канали. Складиште не сме бити угрожено ватром, експлозијом или сличним утицајима. Веће количине течног угљен-диоксида складиште се у резервоарима за течан угљен-диоксид под притиском од 20 *bara*, на ниској температури. Резервоари се састоје од једног суда, изолованог полиуретанском пеном и опремљени су уређајима за хлађење, који се аутоматски укључују у случају пораста притиска у резервоару. На тај начин се течна фаза хлади, кондензује се пара угљен-диоксида изнад ње и одржава константан притисак у резервоару. Схема таквог постројења је дата на слици 3.1. Овакви резервоари не морају бити изоловани термички, али је у том случају њихов притисак виши и износи од 35 до 50 *bara*.

Ако су континуално потребне веће количине угљен-диоксида од 2 *kg/h*, препоручује се повезивање више боца у батерију боца на принципу централе за угљен-диоксид. Да би се у централама за угљен-диоксид избегла појава стварања ледених кристала и сужења попречног пресека у арматурама, која изазивају осцилације притиска у инсталацији,

препоручује се постављање грејача на прикључним наставцима боца. За централе са великим бројем боца препоручује се у зимском периоду грејање боца. У случају када се предвиђа грејање прикључних наставака или боца обавезна је инсталација контактнoг манометра са прикључком на оптички и звучни сигнал у случају прекорачења подешеног притиска одузимања.



Слика 3.1 Складиште угљен-диоксида

3.1.6 Мере сигурности и заштите

Угљен-диоксид се не сматра отровним гасом у правом смислу те речи и нормално је присутан у атмосфери у количини од око 0,03%. При повишеним концентрацијама угљен-диоксида у ваздуху, осећају се неугодне последице.

При запреминској концентрацији угљен-диоксида до 1% осећа се незнатно повећање количине удахнутог ваздуха. Дисање постаје све дубље и количина удахнутог ваздуха се повећа и до 50% преко нормалне количине. Продужено излагање овој концентрацији, за неколико часова изазива осећај исцрпљености и интензивну главобољу.

При запреминској концентрацији угљен-диоксида до 3% дисање постаје тешко и количина удахнутог ваздуха се повећава до два пута преко нормалне. У овој количини угљен-диоксид је благо наркотичан, смањује аудио способности, изазива главобољу, повишени крвни притисак и убрзање пулса.

При запреминској концентрацији од 4 до 5% угљен-диоксида, дисање је веома тешко, количина удахнутог ваздуха се повећава четири пута у односу на нормалну и претходно изложени симптоми тровања постају очигледни после приближно 30 минута.

Због тога се препоручује да увек када се улази у неко невентилисано складиште које садржи сублимирани угљен-диоксид, буде присутан и пратилац.

При запреминским концентрацијама од 5 до 10%, ваздух има карактеристичан оштар мирис сличан гасу који истиче из свеже карбонатне минералне воде. Дисање је веома тешко и исцрпљујуће, праћено израженом главобољом, видним сметњама и конфузијом која се за неколико минута претвара у губљење свести.

При запреминским концентрацијама преко 10%, може да дође до веома брзе појаве несвестице и ако се не пружи одговарајућа брза прва помоћ даље излагање високој концентрацији угљен-диоксида може изазвати смрт гушењем.

Ова потенцијална опасност мора бити стално присутна у свести радника који раде са овим гасом нарочито са сувим ледом, јер 1 kg сувог леда даје приближно 0,5 m³ гаса и ако се складишта сувог леда не проветравају, а постоје услови за субlimацију, долази до повећане количине угљен-диоксида и до стварања веома опасне концентрације у ваздуху.

Угљен-диоксид је тежи од ваздуха, па су концентрације веће у нижим слојевима. У случају губљења свести особа пада на под који је покривен слојевима још веће концентрације угљен-диоксида.

Због тога се препоручује да увек када се улази у таква невентилисана складишта буде присутан и пратилац.

У складишту сувог леда треба да постоји боца са апаратом за дисање са резервом за најмање пола часа за случај потребе давања прве помоћи.

При руковању сувим ледом потребно је носити лична средства хигијенско-техничке заштите и то:

- рукавице за заштиту руку од смрзавања и
- заштитну одећу, за заштиту ногу од пада блокова сувог леда.

При ломљењу блокова сувог леда, ове треба увити у погодан омотач, да би се спречило разбацивање парчића сувог леда по радној просторији.

Блокови сувог леда не смеју се превозити у кабини камиона, јер долази до стварања знатне концентрације CO₂ услед субlimације, нарочито када је ограничено проветравање. Исто тако, суви лед се не сме употребљавати у возилима ако је возачева кабина саставни део товарног простора или ако се врата аутоматски затварају или нема могућности да се врата изнутра отворе.

Пре него про се уђе у простор где се користио суви лед као расхладно средство, морају се врата широм отворити и учврстити у отвореном положају довољно дуго да се простор проветри.

Ако парчићи сувог леда доспеју у стаклену боцу са водом или затворен контејнер, развија се веома висок притисак који може разорити затворену посуду.

Сваки суд у коме се држи суви лед мора бити конструисан да поднесе притисак који може у њему настати или мора да има вентил сигурности који одржава притисак у суду на одређеној вредности.

Уколико дође до удисања повећане концентрације угљен-диоксида, унесрећеног треба изнети на чист ваздух, утоплити га помоћу ћебади и ако се дође до побољшања, дати му кисеоник из за то предвиђене боце, под надзором квалификоване особе.

Када се успостави нормално дисање треба потражити хитну медицинску помоћ ради прегледа пацијента. Обично даљи третман није потребан.

Ако је дисање престало, унесређеног утоплити ћебадима и покушавати са вештачким дисањем, најбоље помоћу апарата са кисеоником под контролом квалификоване особе. Тражити хитну медицинску помоћ.

Ако при руковању сувим ледом дође до појаве промрзлина, треба избегавати трљање промрзле коже. Промрзлину заштитити и утоплити прекривањем чистом одећом и потражити хитну медицинску помоћ.

3.2 Аргон

Аргон је једноатомни гас, инертан и нерастворљив у течном металу. То је безбојан гас, густине 1.78 kg/m^3 и при $p = 1.013 \text{ bara}$, што значи да је 1.4 пута тежи од ваздуха, захваљујући различитим температурама кључања појединих састојака ваздуха (аргон, -183°C , азот, -196°C). У кисеоничкој ректификационој комори најпре се издваја мешавина аргон-кисеоник (8-12% Ar). Затим се она уводи у специјалну аргонску ректификациону комору где после издвајања кисеоника остаје сирови аргон. Најзад се уводи водоник који се у присуству катализатора везује за преостали кисеоник. Тако се производи аргон чистоће 99.95% или 99.99%. Продаје се у челичним боцама запремине 40 l под притиском $p = 150 \pm 3 \text{ bara}$ и садржи 6 m^3 гаса у нормалним условима (при $T = 20^\circ\text{C}$ и $p = 1.013 \text{ bara}$). Боце морају имати редукционе вентиле који херметички држе гас под притиском што се проверава наношењем супстанце на вентил. У боцама које се враћају на пуњење, мора остати нешто аргона минималног притиска 15 bar да би се натпритиском спречио продор ваздуха у боцу. Боце контаминирани (запрљане) ваздухом, морају се дуготрајно испирати аргоном (скуп поступак), да би се одстраниле примесе. Веће присуство азота у аргону од допуштене границе даје нестабилан лук. Тада површина лица шава постаје неправилна и запрљана, повећава се прскање и смањује се садржај легирајућих састојака у металу шава (стварају се нитриди). Насупрот азоту, примесе кисеоника при заваривању челика немају већи утицај, чак су понекад незнатне примесе кисеоника пожељне. Примесе у аргону дају нестабилан лук што доводи до погоршања механичких особина, а нарочито жилавости. Од примеса, осим влаге штетно делује и азот. Главне карактеристике неких техничких гасова (Ar, He, CO₂, N₂, O₂) дате су у табели 3.2.

Табела 3.2 Главне карактеристике неких техничких гасова за разне примене

Гас	Хемијски симбол	Молекулска тежина	Густина $g/l = kg/m^3$	Потенцијал јонизације, eV
Аргон	Ar	39.994	1.780	15.7
Хелијум	He	4.003	0.178	24.5
Кисеоник	O ₂	32.00	1.430	13.2
Угљен-диоксид	CO ₂	44.01	1.978	14.4
Водоник	H ₂	2.016	0.090	13.5
Азот	N ₂	28.01	1.250	14.3

3.2.1 Примена

- У техници заваривања, чист или у гасним смешама са CO, CO₂, H₂, N₂;
- У металургији за термичку обраду и производњу високолегираних челика, за заштиту одливака, за десулфизацију и тсл.;

-
- У електроници за производњу полупроводника, у производњи расветних средстава инструменталној аналитици, нуклеарној техници и др.

3.2.2 Испорука

У челичним судовима - боцама, под притиском од 150 и 200 *bara*. Боце су појединачне или у батеријама – палетама са заједничким вентилом за пуњење и пражњење, у батеријама судова - боца трајно уграђеним на транспортно возило или у течном агрегатном стању специјалним транспортним возилима до резервоара корисника аргона.

3.2.3 Поступак са гасом

У гасовитом стању под притиском, у течном стању треба се придржавати прописаних норми и мера заштите.

3.2.4 Материјали

За гасовити аргон се може применити већина уобичајених материјала. Течни аргон захтева примену аустенитних легираних челика, алуминијума, бакра и легура, тефлона, итд.

4. ПРИМЕНА ГОРИВИХ ГАСОВА ПРИ ЗАВАРИВАЊУ И СРОДНИМ ПОСТУПЦИМА

4.1 Гасови за гасно заваривање

4.1.1 Ацетилен (C_2H_2)

Гориви гас који се највише користи за гасно заваривање разних метала и легура је *ацетилен*. То је гас који на ваздуху интензивно сагорева чађавим, жућкастим пламеном. Поред ацетилена, за заваривање и резање метала и легура ниске температуре топљења, могу се употребити и други гориви гасови (таб. 4.1)

Табела 4.1 Прегледи особина горивих гасова за заваривачки пламен

Гориви гас	Највиша темп. °C	Доња топл.моћ kJ/m^3	Заварив. топл. моћ kJ/m^3	Однос O_2/gas	Примена
Ацетилен C_2H_2	3150	48000	21000	1.0÷1.2	Челик $s \leq 30\ mm$, други метали, лемљење, сечење
Бензол (пара) C_6H_6	2600	140000÷40000 kJ/kg	5850	1.25 m^3 на 1 kg	Челик $s \leq 10\ mm$, обојени метали, лемљење, сечење
Бензин (пара)	2400	125000÷40000 kJ/kg	5000	1.3÷1.7 m^3 на 1 kg	Челик $s \leq 10\ mm$, обојени метали, лемљење, сечење
Водоник H_2	2100	10800	5450	0.25÷0.31	Челик $s \leq 5\ mm$, обојени метали, лемљење, сечење
Пропан C_3H_8	2000	91000	48000	2	Обојени метали, лемљење, сечење, грејање
Бутан C_4H_{10}	2100	118000	48000	2.5	Обојени метали, лемљење, сечење, грејање
Светлећи гас	1900	20000	38000	0.6÷0.7	Обојени метали, лемљење, сечење, грејање
Метан CH_4	1700	36000	34000	1	Обојени метали, лемљење, сечење, грејање

*Густина гаса указује на његово понашање у случају истицања у спољну (околну) средину. Гасови густине мање од ваздуха одлазе навише, док гасови густине ваздуха падају на дно и сакупљају се на поду. Ацетилен, метан и водоник дижу се ка плафону, а МААР⁴ и пропан падају наниже.

Из табеле 4.1 се види да су температуре пламена различите за поједине гориве гасове и да је највећа при сагоревању ацетилена у кисеонику. Сем тога, предност је, ацетилена, што се може произвести на месту заваривања деловањем воде на калцијум-карбид (CaC_2). Остали гориви гасови су јефтинији (10 до 20 пута) и могу се користити за заваривање лакотопљивих метала и легура, као и за термичко резање, испаравање и површинску термичку обраду.

⁴ МААР је трговачки назив за смешу неколико гасова, температура кључања од 20-38°C при притиску од 1.013bar

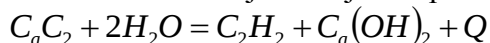
Треба истаћи још једну битну предност ацетилена над другим гасовима за заваривање. То је једини гас који сагорева у две фазе и тиме спречава оксидацију неких елемената или пак разлаже већ створене оксиде, нпр. CuO , PbO .

Ацетилен припада групи незасићених угљоводоника, те је стога C_2H_2 нестабилно једињење које се врло лако распада на своје састојке C и H_2 . Хемијски чист ацетилен је безбојан гас врло слабог мириса, док технички гас за заваривање има врло јак неугодан мирис (потиче од примеса амонијака (NH_3), сумпор-водоника (H_2S), фосфор-водоника (PH_3) и др.). Ацетилен је растворљив у води у односу 1:1, а у ацетону ($\text{CH}_3\text{-CO-CH}_3$), знатно више 1:25; у оба случаја при температури од 20°C и атмосферском притиску. Растворљивост ацетилена у ацетону расте са порастом притиска, а опада са порастом температуре. Због тога је опасно боце са ацетиленом излагати повишеној температури и држати их лети на сунцу, јер се издваја C_2H_2 из ацетона, па притисак нагло расте.

Ацетилен постаје нестабилан и врло експлозиван кад се помеша са ваздухом или кисеоником. Са повећањем притиска нестабилност ацетилена расте, а у широком опсегу концентрације (од 3-65% C_2H_2) у смеши са ваздухом може доћи до експлозије. Исто тако, при заваривању бакра (Cu) и сребра (Ag) настаје реакција C_2H_2 при чему се стварају једињења која су експлозивна на повишеним температурама. Због ових особина ацетилена, мора се повремено контролисати заптивеност боца, црева и горионика за заваривање.

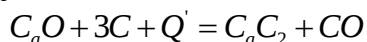
Поред тога, потребно је придржавати се безбедносних прописа који се односе на производњу, транспорт и коришћење ацетилена.

Ацетилен се добија хемијском реакцијом калцијум.карбида и воде према једначини:



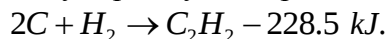
Поред ацетилена (C_2H_2), као споредни производ ове реакције, добија се ацетиленски креч $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и ослобађа се одређена количина топлоте Q ($1884 \text{ J/kg C}_2\text{H}_2$).

Полазна сировина за добијање ацетилена је калцијум-карбид (CaC_2) (у народу познат као "карбит"), који се производи топљењем мешавине негашеног (живог) креча и кокса у електричним пећима. У овој пећи процес се одвија по ендотермној хемијској реакцији:



при чему се количина топлоте Q' потребна за топљење смеше (CaO + кокс) добија помоћу електричног лука успостављеног између две угљене електроде. Гас CO одлази у спољну атмосферу, односно на даље коришћење.

Осим тога, ацетилен се може добити синтезом (поступак којим се различити елементи спајају у нову целину) угљеника и водоника који се преводи преко угљене електроде, ужарене у електричном луку, при чему настаје ендотермна реакција:



Структурна формула ацетилена $\text{H-C} \equiv \text{C-H}$ показује да ацетилен садржи троструку везу, што значи да је склон реакцијама адиције. Ова веза се лако раскида па долази до сједињавања на неким хемијским елементима.

У мањим радионицама или отвореним градилиштима не користе се развијачи, већ се ацетилен купује у челичним боцама, где је растворен у ацетону ("дису гас", *Fr acetylene dissous*). То су специјалне челичне боце, које се пуне и транспортују према прописима за судове под притиском. Оне се најпре пуне порозним масом која се састоји од инфузорске земље - мешавине калцијум силиката, азбестног праха и ситног дрвеног угља, а затим се оне наливају ацетоном па у боцу од 40 l (0.04 m^3) под натпритиском ацетилена од 15 bara и $\text{T} = 20^\circ\text{C}$, може стати око 6 m^3 ацетилена. Захваљујући порозној маси, распадање ацетилена

које би се могло догодити на једном месту неће се пренети на целу масу гаса. Кад се отвори вентил на боци, притисак опада те ацетилен излази из ацетона слично као мехурићи угљен-диоксида из аерисане (минералне) воде. На излазу из боце мехурићи гаса се сједињавају што може изазвати експлозију ако натпритисак надмаши 1.5 *bara*. Да се експлозија спречи, директно на грло боце поставља се редукциони вентил причвршћен узенгијом; улога вентила је да се притисак ацетилена на излазу из боце снизи од 15 на 1.5 *bara*. Приближна количина C₂H₂ у коришћеној боци може се израчунати по обрасцу:

$$V_{C_2H_2} = k \cdot V_b \cdot \alpha \cdot p \cdot 10^{-5},$$

где је:

- $k = 0.35$, однос запремине раствореног C₂H₂ према запремини целе боце,
- $\alpha = 23$, коефицијент растворљивости ацетилена у ацетону (при T= 15°C, $\alpha = 23$, а при 20°C, $\alpha = 20$ (опасност од загревања боце, јер са порастом температуре опада растворљивост ацетилена у ацетону),
- V_b – запремина боце у m³ ($V_b = 0.04 \text{ m}^3$)
- p – тренутни притисак у боци у Pa.

Тако је нпр. садржај ацетилена у пуној боци:

$$V_{C_2H_2} = 0.35 \cdot 0.04 \cdot 23 \cdot 15 \cdot 10^5 \cdot 10^{-5} = 4.8 \text{ m}^3, \text{ а при делимично испражњеној боци до}$$

10 *bara*:

$$V_{C_2H_2} = 0.35 \cdot 0.04 \cdot 23 \cdot 10 \cdot 10^5 \cdot 10^{-5} = 3.22 \text{ m}^3$$

При пражњењу боце, брзина истицања гаса вентилом се подешава да буде маса од 1 m³/h да не би дошло до испаравања ацетона из боце и замрзавања редукционог вентила. Боца се не сме потпуно испразнити већ треба да остане извесна количина C₂H₂ која даје притисак манометру 1-1.5 *bara*, што одговара запремини 0.32-0.48 m³. Увек треба имати у виду чињеницу да ацетиленска боца никад није потпуно празна; ако изгледа празна при спољашњем барометарском притиску од $p = 1 \text{ bara}$ она то неће бити ако се пребаци на већу надморску видисну, па ће из ње излазити C₂H₂ који може изазвати пожар. Боце за C₂H₂ обележене су при врху траком беле боје.

4.1.2 Кисеоник (O₂)

Кисеоник је састојак ваздуха којег удишемо; приближно петину атмосфере чини кисеоник. При сагоревању на ваздуху гориве материје сједињују се са кисеоником и одају топлоту. Кад нека материја сагорева у ваздуху, један део ослобођене топлоте троши се и на некорисно загревање азота (запремински ваздух садржи око 78% азота). Зато је знатно ефикасније да се за загревање користи технички чист кисеоник (98.5-99.5% O₂). Највиша температура пламена смеше ацетилена и ваздуха је 2000°C, а ацетилена и кисеоника 3150°C.

Густина кисеоника на температури од 0°C и притиски 1013 *mbara* је 1.43 kg/m³, а при 15°C, 1.38 kg/m³. Кисеоник се за индустријске и здравствене потребе добија фракционом дестилацијом ваздуха, која се заснива на разликама температура кључања кисеоника и азота. Основа за фракциону дестилацију је да се ваздух најпре пречисти (филтрира), осуши и затим охлади до -140°C и сабија до 200 *bara*, па опет хлади до -200°C, тј. течног стања. Ако се течан ваздух потом загрева, азот кључа на -196°C и испарава, а кисеоник (кључа на -183°C). Примесе (CO, Ar, H₂, He) се задржавају у дестилационом

апарату. Од свих наведених примеса, кисеоник има највишу тачку кључања, па се преостала смеша даље загрева док не остане чист кисеоник.

Кисеоник се чува и доставља потрошачима у челичним боцама обележеним траком плаве боје. Запремина боце је 40 l; у њих стаје око 6000 l кисеоника сабијеног под притиском од 150 bara. До горионика за заваривање потребно је да кисеоник истиче под притиском од 1 до 3 bara, што се остварује постављањем редукционог вентила на боцу.

Количина кисеоника у боци израчунава се по обрасцу:

$$V_{O_2} = V_b \cdot p \cdot k \cdot 10^{-5}$$

где је:

- $V_b = 0.04 \text{ m}^3$ запремина боце,
- p - притисак у боци у Pa
- $k = 1.078 \cdot 10^{-5}$ – коефицијент сабијања кисеоника при $T = 15^\circ\text{C}$.

На пример, пуна боца садржи кисеоника:

$$V_{O_2} = 0.04 \cdot 15 \cdot 10^6 \cdot 1.078 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

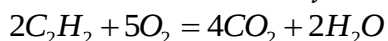
Према наведеном обрасцу, може се на основу манометарског притиска очитаног на боци израчунати садржај кисеоника. Боце се пре накнадног пуњења не смеју потпуно испразнити, већ се мора задржати количина кисеоника која одговара притиску најмање 0.5 bara тј. $V = 0.022 \text{ m}^3$. Непотпуним пражњењем и одржавањем притиска, спречава се продирање ваздуха и влаге у боце отворене за накнадно пуњење.

Ако се боце држе напољу морају с заштитити од воде, топлоте и инсолације (дејства сунчевог зрачења). Нарочито треба пазити да лако запаљиве материје као што су уље, масти и остаци сапуна не доспеју на вентил боце, редукциони вентил, спојнице или црево за кисеоник. Ако се ови делови запраљају, треба их очистити крпом натопљеном угљен-тетрахлоридом (CCl_4)⁵ (течност без боје и мириса; растварач за масти, смоле, боје и средство за гашење пожара). Пре постављања редукционог вентила на боцу, сви прикључци морају да буду чисти и проверени на заптивеност. Вентил се отвара руком највише до пола обртаја; исто тако се руком подешава радни притисак помоћу бочног завртња на редукционом вентилу. При раду са боцом мора се опрезно поступати. Вентил се у сопственој режији не сме скидати нити поправљати. То се ради само у специјализованим радионицама које су за те послове добиле овлашћење од државних органа (инспекције рада).

4.1.3 Пламен за заваривање

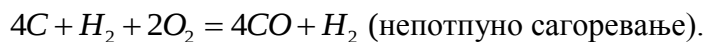
Гасови за заваривање доводе се из боца до горионика гуменим цревима са текстилним улошцима (сл. 4.1). Да се избегне замена, црева су обојена: црвено за ацетилен и плаво (или црно) за кисеоник.

На излазном делу горионика (уснику) заваривач најпре подешава па пали смешу ацетилена и кисеоника. *Потпуно сагоревање* ацетилена приказује хемијска једначина:

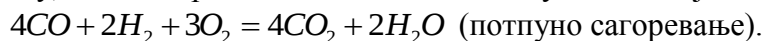


⁵ Угљен-тетрахлорид (CCl_4)– течност без боје и мириса; растварач за масти, смоле, боје и средство за гашење пожара.

У физичком смислу се сагоревање ацетилена одвија у две фазе; најпре под утицајем топлоте разлаже се ацетилен из смеше $C_2H_2 + O_2$, према једначини $C_2H_2 + O_2 = 2C + H_2 + O_2$, а потом настаје *примарно сагоревање*:



Производи непотпуног сагоревања, гориви гасови CO и H_2 , налазе се у омотачу пламена окруженог околним ваздухом. Због великог афинитета ових гасова према кисеонику, пламен привлачи кисеоник из ваздуха и настаје *секундарно сагоревање*:



Својим постојаним једињењима угљеник је четворовалентан. Изузетак је угљен-моноксид (CO) па је он зато веома склон рекацијама које су праћене преласком угљеника у четворовалентно стање, тј. у CO_2 .

Пошто гориви гасови догоревају у омотачу пламена у продукте потпуног сагоревања CO_2 и H_2O , који штите заваривачко купатило од штетног деловања кисеоника и азота из ваздуха. Афинитет гасова CO и H_2 према кисеонику је толико велики да се при додиру омотача пламена са зарђалим челичним површинама разлажу оксиди гвожђа и добијају чисте површине. Практична примена је за чишћење неприступачних металних површина пламеном, нпр. при отежаном одвијању навртке са зарђалог завртња.

Из подробне анализе једначина потпуног, примарног и секундарног сагоревања проистиче да се за потпуно сагоревање из боце троши $\frac{2}{5}O_2$ и $\frac{3}{5}O_2$ из околног ваздуха.

Теоријски је за примарно сагоревање потребно из боца довести исте запремине кисеоника и ацетилена, што показује једначина примарног сагоревања. У стварним условима заваривања, потребан је незнатан вишак кисеоника изражен односом потрошње:

$$\alpha = VO_2 : VC_2H_2 = (1.1 - 1.3):1,$$

јер се део кисеоника из боце троши и на оксидацију водоника насталог разлагањем влаге из ваздуха и влажних површина завариваних делова.

Из изложеног се може закључити да је за потпуно сагоревање $1 m^3$ ацетилена потребно око $1 m^3$ кисеоника из боце и $1.5 m^3$ из околног ваздуха. Због тога ће се при непрекидном заваривању у затвореним просторијама брзо утрошити кисеоник што је опасно по живот заваривача. Стога се гасни пламен не сме користити у затвореним просторијама без принудне вентилације, јер се спонтано не може надокнадити утрошени кисеоник⁶.

Заваривачки пламен, добијен из приближно једнаких запремина ацетилена и кисеоника доведених из боца, зове се *неутрални пламен* (сл. 4.1б). Пламен са вишком кисеоника назива се *оксидишући* (сл. 4.1а), а са вишком ацетилена *редукујући* (сл. 4.1в). Већина метала и легура заварује се неутралним пламеном, јер има највећу топлотну моћ и најбоље штити растопљни метал од штетног деловања кисеоника и азота из ваздуха.

⁶ Човек може издржати неколико недеља без хране, неколико дана без воде, али не може живети ни неколико минута без ваздуха (кисеоника).

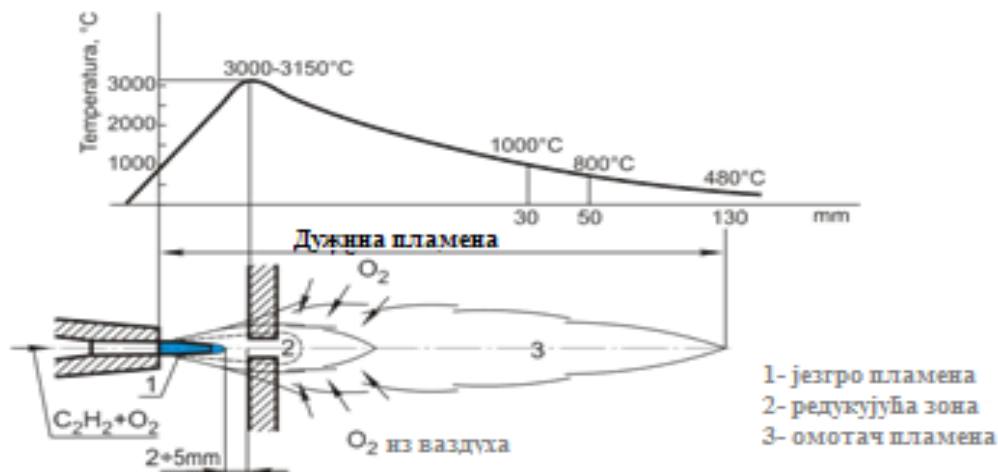


Слика 4.1 Облици ацетиленског пламена: а) оксидишући, б) неутралан и в) редукујући

Захваљујући могућности регулације окси-ацетиленског пламена, може се подобним додатним материјалом добити материјал шави сличан основном. При заваривању нискоугљеничних челика, радна брзина може се повећати ако се користи редукујући пламен, јер се распадањем ацетилена површински слојеви обогаћују угљеником те се састав челика приближава еутектици која од свих легура Fe-C има најнижу температуру топљења. Овако наугљенисани слој топи се већ при 1200°C, те се смањује унос топлоте и сходно томе и скупљање при хлађењу. Мана редукујућег пламена је пад пластичности шави услед његовог обогаћивања угљеником из пламена. Угљенишући пламен се такође користи ако је из површинског слоја оксидацијом изгубљен део угљеника који се може надокнадити угљеником из пламена. То је нпр. случај при заваривању перлитног сивог ливеног гвожђа, где при образовању купке сагорева ламеларни графит.

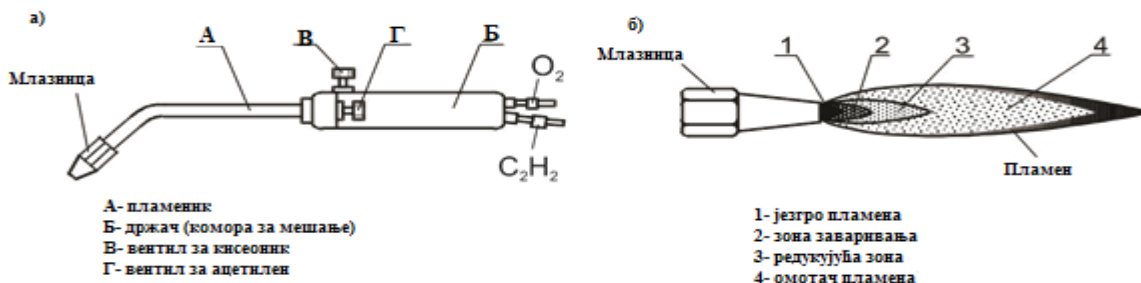
Оксидишућим пламеном се ретко заварују челични предмети, јер долази до пенушања и прштања течног метала, растварања треске и оксида у металној купки, односно задржавања неметалних укључака у очврслом шаву. Вишак кисеоника у пламену препознаје се по сивој боји и скраћеном језгру пламена. Међутим, при заваривању месинга, оксидишући пламен је користан, јер индиректно спречава испаравање цинка из купке (месинг је легура бакра и цинка).

Расподела температуре дуж осе неутралног пламена карактеристичне зоне сагоревања C_2H_2 у O_2 дата је на слици 4.2. Највиша температура неутралног пламена (3150°C) измерена је на растојању 2-5 mm испред језгра пламена, па тај део пламена треба користити за заваривање.



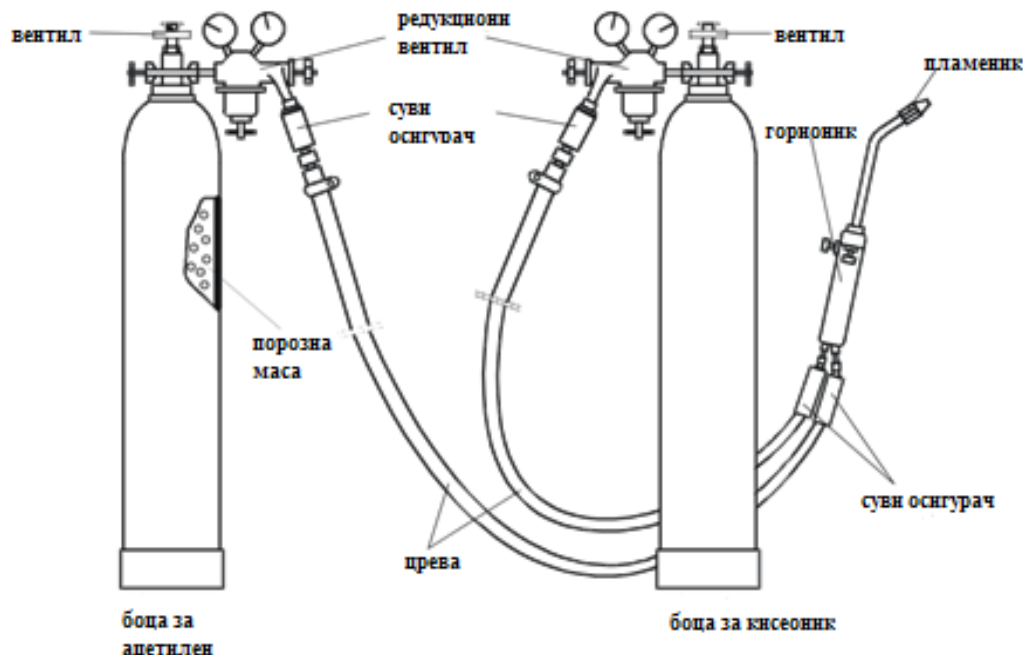
Слика 4.2 Расподела температура дуж осе пламена

Део опреме за гасно заваривање у коме се образује и сагорева мешавина гасова, назива се *горионик* (сл. 4.3). Већина горионика ради на усисном принципу. Усник или пламеник је изменљив део горионика који се бира према дебелини радних предмета.



Слика 4.3 Горионик за гасно заваривање (а) и млазница са пламеном (б)

Све везе на горионику између пламеника и држача, као и везе са цревима морају бити херметичне, јер у противном може истицати лако запаљив ацетилен. Отвор усника (млазнице) не сме да буде зачепљен, јер може настати повратни удар пламена који може изазвати експлозију црева за гасове, и целе опреме (сл. 4.4).



Слика 4.4 Опрема за гасно заваривање

У пракси гасног заваривања често се уз прасак пламен гаси. Узроци могу бити заплан и прегрејан усник и нагли пораст притиска кисеоника у доводном цреву. Повратни удар пламена може настати и због нехерметичког споја пламеника и држача или премале брзине истицања мешавине гасова због сувише великог отвора усника или ниских притисака ацетилена и кисеоника подешених на редукционим вентилима.

Приликом паљења и подешавања пламена препоручује се следећи распоред: најпре се отвара вентил за кисеоник, а потом за ацетилен и најзад се подешава пламен. При

подешавању неутралног пламена, полази се од оксидишућег ка неутралном; кад језгро пламена добије контуре оштрог конуса, односно заобљеног краја код усника већег протока, то је знак да је пламен неутралан.

Правилно формиран и стабилан пламен може се одржати када је брзина истицања смеше нешто већа од брзине њеног сагоревања; у противном пламен се увлачи у пламеник и може продрети у црева за довођење гасова и изазвати повратни удар, тј. експлозивно сагоревање. Један од узорака увлачења пламена може да буде и прегревање усника, што се спречава његовим повременим урањањем у кофу са водом (при отвореним вентилима за C_2H_2 и O_2).

5. ПРИМЕНА ЗАШТИТНИХ ГАСОВА ПРИ ЗАВАРИВАЊУ И СРОДНИМ ПОСТУПЦИМА

5.1. Заштитни гасови за TIG заваривање

Основни заштитни гасови за TIG су аргон (Ar) и хелијум (He), који припадају инертним гасовима, што значи да хемијски не реагују са другим хемијским елементима и једињењима. Стога је овај метод електролучног заваривања добио ознаку TIG (*tungsten inert gas*). Чак и мале примесе гасова N₂ и H₂ у инертном гасу могу погоршати корисне особине заварених спојева.

5.1.1 Хелијум

Хелијум се више користи у Америци, јер је јефтинији, будући да се тамо добија као примеса зенмног гаса. После пречишћавања, хелијум се директно може употребити као заштитни гас. Без обзира на то што аргон има више предности, ипак се а неке специфичне случајеве препоручује хелијум. Пре свега, у заштити хелијума, може се одржавати лук веома мале дужине, што код механизованог TIG-а омогућава да се електрода увуче у жлеб испод нивоа радних површина; тако се добија дубок и танак завар који најбоље одговара за полагање коренског пролаза при изради шавних цеви. Даље, хелијум је повољнији за радове у надглавном положају, јер се као лакши од ваздуха подиже у зону заваривања. Иако је првобитно TIG био развијен са хелијумом, под називом *helioark*, данас је за TIG прихваћен назив аргонско заваривање. Да би се искористиле добре особине оба гаса (Ar и He), у неким случајевима се препоручује употреба мешавине 75% He+, 25% Ar; тиме се постиже дубље уваривање и омогућава рад са наизменичном струјом, којом се остварује тзв. катодно чишћење неопходно за заваривање алуминијума и његових легура.

5.1.2 Водоник и азот

Водоник и азот се самостално не користе као основни заштитни гасови за TIG заваривање. Ипак водоник се може додати аргону да се повећа дубина уваривања и брзина заваривања, као и да се добије бољи профил и чистија површина заваара.

Обично се за TIG заваривање неких врста нерђајућих челика, користи мешавина Ar+ (10-15)% H₂, док се за спајање танких цеви од никла употребљава (Ar+2% H₂). Међутим, при TIG заваривању алуминијума, чак и трагови водоника у аргону доводе до порозности шавова; такође водоника не сме да буде ни у траговима за TIG-заваривање угљеничних и нисколегираних челика, јер H₂ проузрокује опасне грешке зване прслине испод заваара.

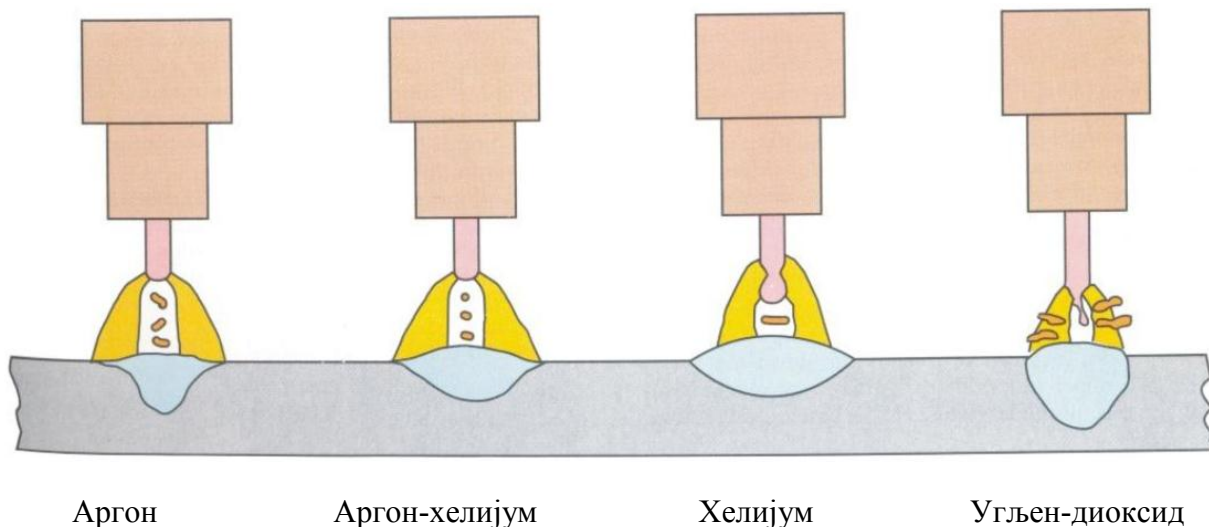
Азот такође може да буде додатак аргону за заваривање аустенитних челика и бакра, јер је азот стабилизатор аустенита, а код бакра даје дубље уваривање, бржи рад, а знатно је јефтинији од аргона.

5.2 Заштитни гасови за MIG/MAG заваривање

У зависности од основних конструкционих материјала (угљенични, нисколегирани, нерђајући челици, обојени метали и њихове легуре), врсте заварених спојева (сучеони, угаони, преклопни) и положаја заваривања (коритаст, хоризонталан, хоризонтално-вертикалан, вертикалан и надглавни), могу се користити следећи технички гасови:

- активни (CO_2 , O_2 , N_2),
- инертни (Ar , He) и
- мешавина гасова ($\text{Ar}+\text{He}$, $\text{Ar}+\text{CO}_2$, $\text{Ar}+\text{O}_2$).

О предностима и манама појединих техничких гасова може се проценити упоређивањем њихових термофизичких карактеристика. Дубине уваривања и облици наvara добијених у заштитним гасовима Ar , $\text{Ar}+\text{He}$, He и CO_2 дати су на слици 5.1



Слика 5.1 Облици наvara и дубине уваривања добијени у заштити Ar , $\text{Ar}+\text{He}$, He и CO_2

Пре разматрања предности и мана појединих заштитних гасова или мешавина, треба разјаснити нека технолошка питања. Ако се као заштитни гас користи Ar , He или нека смеша $\text{Ar}+\text{He}$ метод заваривања се назива MIG (*metal inertan gas*), а када се употребљава CO_2 или смеша $\text{Ar}+\text{CO}_2$ или $\text{Ar}+\text{O}_2$ па макар било и само 2% CO_2 или само 1% O_2 поступак се сврстава у MAG (*metal aktivan gas*). Заваривање нетопљивом волфрамом електродом у заштити аргона, хелијума или њихове смеше назива TIG или аргонско заваривање.

Угљен-диоксид се користи као заштитни гас за заваривање угљеничних и нисколегираних челика, као и челика повишене јачине. Могуће је MAG-методом изводити заваривачке радове у свим стандардним положајима (PA, PB, PC, PF, PD) уз краткоспојени пренос електродног материјала у купку. Уопштено говорећи, у техници се гас CO_2 користи не само за заваривање, већ и за ливење, за пуњење противпожарних апарата, као и расхладних уређаја. Угљен-диоксид се добија било из природних налазишта (код нас у Елемиру-Банат) или пак као споредни производ код неких технолошких процеса (алкохолног врења, процеса сагоревања минералних горива, печења креча). Стандард SRPS H.F1.016:1986 дефинише два квалитета CO_2 : технички чист (98.5% CO_2 + примесе - за ливење и противпожарне апарате) и чист CO_2 (98.5% CO_2 + примесе за заваривање и расхладне уређаје). У чистом CO_2 је дозвољен садржај влаге од 0.1 g H_2O што одговара тачки росе⁷ од -35°C . У стубу електричног лука, одвијају се хемијске реакције дисоцијације угљен-диоксида, па је атмосфера лука благо оксидишућа.

⁷ Тачка росе је температура при којој неки гас постаје засићен воденом паром, тако да више не може примати пару (нпр. ваздух на 30°C прима g/cm^3 , на 0°C → 4.86. а на -30°C свега 0.44); при паду температуре гаса или смеше вишак влаге се излучује у виду росе)

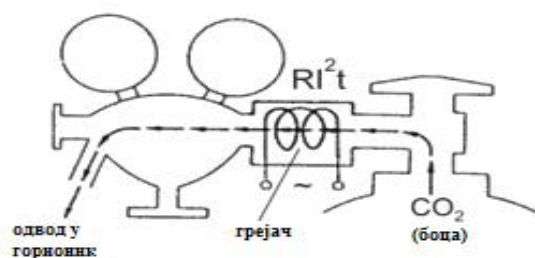
Будући да је температура лука реда величине 6000°C , а да се гвожђе топи/кључа при $1536/2740^{\circ}\text{C}$ може се очекивати да ће доћи до топљења или сагоревања не само гвожђа, већ и друге компоненте челика – угљеника као и пратећих елемената Si и Mn. Последице су смањење тврдоће шавва (јер опада % C због образовања CO, CO_2) и појаве неметалних укључака у металу шавва; FeO се раствара у течном гвожђу и у очврслом шаву улази у састав кристалне решетке Fe (чврсти раствор) те делује као честица неметалног укључка у шаву.

Слободан кисеоник који још може доспети из ваздуха, елиминише се помоћу Mn и Si који се у повећаном садржају налазе у електродној жици; настају оксиди MnO и SiO_2 нерастворљиви у гвожђу (течном и чврстом) и као лакши од Fe испливавају на површину купке у току кристализације (метали при очвршћивању сопствене оксиде растварају у кристалним решеткама (нпр. FeO код челика), а стране оксиде потискују у преостали растоп).

Без обрзира на неке мане, гас CO_2 се највише употребљава као заштитни при заваривању, тј. за израду разних заварених конструкција од нискоугљеничних и нисколегираних челика будући да је јефтинији од аргона, а омогућава већу брзину заваривања, као и дубље уваривање. Штавише бољи је него аргон за заваривање неумирених угљеничних челика. Наиме, ако се ови челици заварују у чистом аргону, појављују се гасни мехурови у металу шавва, што се не дешава ако се аргону дода 10% CO_2 или 5% O_2 .

Инертни гасови (Ar ређе He) углавном се користе за заваривање нерђајућих челика и нежелезних (обојених) метала и њихових легура (Al, Mg, Cu). Уместо аргона, препоручује се хелијум за заваривање дебелих предмета од метала високе топлотне проводљивости (Al, Cu). За спајање танких делова од метала мање термичке проводности боље је и јефтиније користити аргон; за Al, Mg и Cu може се употребити и смеша Ar+He.

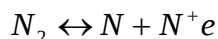
Инертни гасови (Ar, He) испоручују се потрошачима у челичним боцама под притиском $150 \pm 3 \text{ bara}$, који се редукционим вентилом своди на радни притисак од неколико *bara*. Угљен-диоксид се такође испоручује у челичним боцама под притиском $p = 60\text{--}100 \text{ bara}$. Пуна боца садржи 20-25 *kg* течног CO_2 , а изнад течне фазе издваја CO_2 у гасовитом стању. Зато се количина CO_2 у боци не може одредити према притиску читаном на манометру, јер он показује само притисак гасне фазе. Количина испарене фазе, сразмерна је температури (зато боце не смеју бити изложене повишеним температурама, јер притисак може нарасти изнад допуштеног). Пошто се при заваривању троши одређена количина гаса, она се надокнађује додатним испаравањем течног CO_2 при чему се околни одузима топлота. При превеликој брзини одвођења гаса може доћи до замрзавања и прекида даљег протока, па купка остаје без заштите, тј. у директном контакту са ваздухом. Да се замрзавање спречи, уграђује се електроотпорски грејач ($R\text{I}^2$, $U = 24 \text{ V}$), смештен између вентила и редуктора (сл. 5.2).



Слика 5.2 Електроотпорски грејач монтиран на боцу са течним гасом CO_2

При заваривању бакара и његових легура, може се користити и азот као активни заштитни гас, јер се он не раствара у бакару нити с њим хемијски реагује. Најбоље је користити мешавину 75% Ar + 25% N_2 . За метале који растварају азот (Fe, Ti, Mn и Cr) или граде нитриде, азот никако не може бити заштитни гас већ је, напротив, за ове метале потребна потпуна заштита од азота из ваздуха.

У електричном луку молекуларни азот (N_2) се разлаже на атомни облик, а неки атоми се и јонизују према једначини:



тако да се заваривање у заштити азота (N_2) или мешавине 75% Ar + 25% N_2 сврстава у MAG заваривање.

У табели 5.2 дат је преглед најпогоднијих заштитних гасова за заваривање различитих техничких метала и легура.

Табела 5.2 Заштитни гасови за различите основне материјале

Гасови и смеше	Основни материјал за заваривање
Ar	Сви метали
He	Сви метали
Ar + 35-75% He	Посебно се препоручује за алуминијум, бакар и никл
Ar + 0.5% O_2	Алуминијум и његове легуре
Ar + 1-2% O_2	Високолегирани Cr-Ni челици
Ar + 3-5% O_2	Нискоугљенични и нисколегирани челици
Ar + 5-10% H_2	За аутоматско заваривање високолегираних Cr-Ni челика
Ar + 25-30% N_2	Бакар и његове легуре
Ar + 20-50% CO_2	Нискоугљенични и нисколегирани челици
70%Ar + 20% CO_2 + 2% O_2	Нискоугљенични и нисколегирани челици
CO_2	Нискоугљенични и нисколегирани челици

6. ЗАКЉУЧАК

У овом раду, детаљно су описани гориви и заштитни гасови који се примењују у различитим гранама индустрије. Готово је незамисливо извођење неких процеса без примене ових гасова. Било да је реч о техници или свакодневној употреби.

Детаљно је описан сложен поступак добијања горивих и заштитних гасова, како из природних налазишта, тако као и из минералних сировина или пратећи производ сложених процеса и реакција при преради чврстих и гасовитих једињења.

Када је реч о горивим гасовима (ацетилен, водоник, пропан, бутан, ...) детаљно је описан начин њиховог складиштења, руковања и примене. Поред наведених горивих гасова, као незаобилазни гас који попутномаже процес сагоревања јесте кисеоник, чији је поступак добијања и коришћења детаљно описан.

Заштитни гасови – активни и инертни (угљен-диоксид, аргон, хелијум) и њихове смеше, налазе широку примену. Такође, детаљно је описан њихов начин добијања, складиштења и примене.

Првенствени циљ овог рада је био да се укаже на примену ових гасова при заваривању и сродним техникама: термичком сечењу, метализацији, наваривању, пламеновању, лемљењу и тсл.

На крају рада указано је посебно на мере безбедности при добијању, складиштењу, транспорту и примени гасова. Реч је о компримованим гасовима (посудама под притиском) који подлежу посебним прописима и законским регулативама.

7. ЛИТЕРАТУРА

1. **Јовановић, М., Лазих, В.:** *Гориви гасови за пламеновање и друге сродне поступке-приручник*, Машински факултет у Крагујевцу, децембар 2005. године.
2. **Богнер, М., Ћирић, С.:** *Технички гасови*, ИРО "Грађевинска књига", Београд, 1984. године.
3. **Богнер, М., Исаиловић, М.:** *Технички и медицински гасови- прописи и примери из праксе*, ЕТА, Београд, 2005. године.
4. **Богнер, М., Борисављевић, М.:** *Гасови у заваривању и сечењу*, ЕТА, Београд, 2018. године;
5. **Јовановић, М., Лазих, В.:** *Технологија ливења и заваривања*, Факултет инжењерских наука у Крагујевцу, Крагујевац, 2015.
6. **Јовановић, М., Адамовић, Д., Лазих, В.:** *Технологија заваривања - приручник*, помоћни универзитетски уџбеник, друго допуњено и проширено издање, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац, 2011.
7. **Јовановић, М., Лазих, В.:** *Практикум гасног (ГПЗ) и аргонског (ТИГ) заваривања*, помоћни универзитетски уџбеник, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац, 2011.
8. **Јовановић, М., Лазих, В.:** *Практикум REL и MAG/MIG заваривања*, помоћни универзитетски уџбеник, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац, 2008.
9. **Мајсторовић, А., Јовановић, М.:** *Основи заваривања, лемљења и лепљења*, Научна књига, Београд, 1991.
10. **Седмак, А., Шијачки-Жеравчић, В., Милосављевић, А., Ђорђевић, В., Вукићевић, М.:** *Машински материјали – други део*, Машински факултет, Београд, 2000.
11. <https://www.messer.rs/> - приступљено 12. 07. 2019.