

**Факултет инжењерских наука
Универзитет у Крагујевцу**

Ненад Р. Николић

Спојев и спајања металних конструкција
завршни рад

Крагујевац, 2014.

Факултет инжењерских наука

Универзитет у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Машинске конструкције и механизација

Предмет: Металне конструкције

Број индекса: 50/2011

Ненад Р. Николић

Спојеве и спајање металних конструкција

Завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Весна Марјановић - менотр

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да анализира врсте спојева и начине спајања металних конструкција.

Посебан осврт треба да има и на различита спојна средства којима се ти спојеви остварују.

На крају рад треба да садржи адекватан пример прорачуна и конструкцију једног монтажног наставка аксијално оптерећеног штапа.

Препоручена литература:

- [1] Буђевац, Д., З. Марковић, Д. Боговац и Д. Тошић, Металне конструкције, основе прорачуна и конструисања, Завод за графичку технику Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду, 1999.
- [2] Николић, Р., Ј. Вељковић, В. Марјановић, Металне конструкције, збирка решених задатака, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, САД лабораторија, 2013.
- [3] Николић, Р. и В. Марјановић, Металне конструкције – приручник за прорачуне, Крагујевац, 1998.

Крагујевац, септембар 2014.

Ментор:

Др Весна Марјановић, ванр.проф.

РЕЗИМЕ

У оквиру рада представљени су спојеви у металним конструкцијама који се данас највисте примењују. Представљене су различите могућности остваривања спојева. Описани су најважнији саставни елементи и њихове могуће варијације у зависности од тога какво оптерећење треба да пренесу. Наведени су спојна средства која се најчешће користе у спојевима. Укратко су описани процеси спајања како радионичких тако и монтажних наставка.

У финалној фази рада представљен је пример прорачуна и конструкција наставка аксијално оптерећеног штапа. У примеру је представљено димензионисање штапа и конструкционо решење монтажних наставка, наставка је изведен помоћу обичних обрађених завртњева класе 4.6. Кроз пример је детаљно објашњен поступак димензионисања штапа, распоред сила затезања, прорачун наставка ножице, прорачун наставка ребра.

Кључне речи: *Спојеви, закивци, завртњеви, I-профил, димензионисање.....*

ABSTRACT

In the paper are presented the compound in metal structures which are currently applied the most. A variety of possibilities for achieving the compound are introduced. Depending on what load it should transfer, it has been described as the most important constituent elements and their possible variations. The above are fasteners that are commonly used in compounds. The process of merging mounting attachments, as well as workshop, are briefly described.

In the final fase of work, it has been presented an example of calculation and construction of the extensions for the axially loaded stick. In example it has been presented the dimensioning of a stick and constructial solution of prefabricated extension, and extension done by regulary processeding bolts 4.6. The examples of sizing the rod, arrangement of tension force, the budget continued legs and continuing budget ribs, are explained in detail of the procedure.

Keywords: *compounds, rivets, bolts, I-beams, dimensioning, ...*

Садржај

1. Увод.....	- 2 -
2. Спојеви у металним конструкцијама	- 4 -
2.1. Основне врсте наставка и веза	- 4 -
3. Спојна средства.....	- 10 -
3.1. Опште о спојним средствима.....	- 10 -
3.2. Закивци	- 10 -
3.2.1. Опште о закивцима.....	- 10 -
3.2.2. Облици и димензије закивака	- 11 -
3.2.3. Обележавање закивака	- 12 -
3.2.4. Рад заковане везе.....	- 12 -
3.3. Завртњеви	- 14 -
3.3.1. Опште о завртњевима.....	- 14 -
3.3.2. Облици и врсте обичних завртњева	- 15 -
3.3.3. Обележавање завртњева.....	- 19 -
3.3.4. Класе чврстоће код завртњева	- 20 -
3.3.5. Рад веза са завртњевима.....	- 21 -
3.4. Високоведни завртњеви	- 25 -
3.4.1. Опште о високовредним завртњевима.....	- 25 -
3.4.2. Облик и димензије високовредних завртњева	- 27 -
3.4.3. Обележавање високовредних завртњева	- 29 -
3.4.4. Класе чврстоће	- 30 -
3.4.5. Уношење силе преднапрезанја	- 31 -
3.4.6. Распоред закивака и завртњева у вези	- 35 -
3.4.7. Извођење спојева са закивцима и завртњевима.....	- 39 -
3.5. Чепови.....	- 40 -
3.5.1. Опште о чеповима.....	- 40 -
3.5.2. Рад веза са чеповима.....	- 41 -
3.6. Заваривање	- 42 -
3.6.1. Опште о заваривању	- 42 -
3.6.2. Врсте спојева и шавова.....	- 44 -
3.6.3. Положаји заваривања	- 47 -
4. Пример прорачуна и конструкција монтажног наставка аксијално оптерећеног штапа	- 49 -
5. Закључак	- 53 -
6. Литература.....	- 54 -

1. Увод

Назив металне конструкције - потиче из градјевинарства, јер се тамо подела конструкција врши према материјалу од којег су направљене.

Разликују се следеће врсте конструкција:

- бетонске конструкције
- дрвене конструкције
- металне конструкције
- спрегнуте конструкције.



Слика 1.1 - Дизалица

Металне конструкције најчешће подразумевају челик, али се у новије време све више користи алуминијум и његове легуре. Употреба алуминијума због његове мале тежине је све чешћа, посебно у авиоградњи и аутомобилској индустрији. Посебно треба истаћи и постојање потпуно нових конструкцијских материјала као што су композитни материјали, пластичне смесе (полимери) и металне пене, који све више улазе у употребу. Ипак према предвидјањима научника из области конструкција и материјала, и у наредном временском периоду челик ће остати основни конструкциони материјал.

За машинство је значајно пројектовање следећих носећих конструкција, као што су:

- кранови
- транспортери
- ротациони копачи
- конвејери
- резервоари
- бункери.

Челичне конструкције су све техничке конструкције, или њихови делови, који су претежно направљени од челика. Скелет таквих конструкција направљен је искључиво од челика, који прима главна оптерећења, које конструкција носи.

Употреба челика у техници многострука је и разноврсна, а примењује се у: архитектонским и инжењерским конструкцијама; машинским конструкцијама; фабрикама алата и за конструкције саобраћајних средстава: бродова, вагона и моторних возила. Као украс, спојно средство или споредан материјал, челик се примењује готово у свим техничким конструкцијама. Нема ни једног техничког објекта, где макар и у најмањој мери, није челик употребљен као градјевински материјал.

Особине челика омогућавају да се у градјевинској техници употребљава било сам: конструкције од челика; било заједно са бетоном: армирано бетонске конструкције; било заједно

са неким другим материјалом (на пример дрветом) чинећи сложене - нехомогене - конструкције (спрегнуте конструкције).

У инжењерским конструкцијама челик се још више и чешће примењује, и то за израду:

1. Мостова (друмских, железничких, пешачких, виадуката, аквадуката, гвоздених скела).
2. Транспортних постројења (преносница, утоварно - претоварних мостова, сталних и покретних окретница, докова, покретних и сталних кранова).
3. Стубова (за сигнале, далеководе, жичане железнице и радио антене).
4. Резервоара (за воду, гас, уље и слично; сталних и покретних).
5. Цеви великог пречника (за пренос воде, уља и гасова).
6. Хидротехничких конструкција (брана, устава, сифона, дизалица за бродове, докова, утврђења обала, за градјење пристаништа, кесона итд).
7. Машина свих врста, у ствари свака машина је једна метална, односно челична конструкција. То могу бити транспортна средства (аутомобили, камиони, возови, авиони), индустријске машине (стругови, глодалице, бушилице, брусилце, рендисаљке и слично) и разна друга индустријска постројења.

Специјалне особине металних конструкција су те да оне захтевају знатно мању машинску обраду резањем.

Једина обрада је на местима за спајање појединих елемената:

- бушење отвора за закивке или завртњеве,
- обрада ивица за спајање заваривањем,
- сечење и савијање елемената.

Основни типови конструкција су:

- решеткасте конструкције и
- лимене конструкције.

Који ће тип конструкције бити изабран зависи од примене конструкције, врсте оптерећења и слично. Конструкције треба да су најекономичније у погледу коришћења материјала и да могу да пренесу захтевана оптерећења.

Решеткасте конструкције су конструкције код којих су сви елементи изложени претежно аксијалном оптерећењу (притиску или затезању).

Лимене конструкције су конструкције код којих је присутно напрезање на савијање.

Посебну врсту конструкција представљају *скелетне конструкције*. То су конструкције од елемената са унапред задатим функцијама при преношењу оптерећења. Њихове основне одлике су:

- мала тежина,
- мала потрошња материјала,
- економична организација снабдевања и производње,
- лака заштита и одржавање конструкције,
- задовољавајући век трајања и општа сигурност.

Елементи скелетних конструкција су елементи са унапред задатим функцијама. То су:

- *Решетке* које чине праволинијски елементи и чворне везе
- *Троугласте структуре* које примају само аксијалне силе,
- *Четвороугаоне структуре* или рамне конструкције које преносе све моменте и силе, односно одабране моменте и силе, а постоје и
 - *Мешовите структуре* које могу да чине рам, решетка, кутијасти носач и слично.

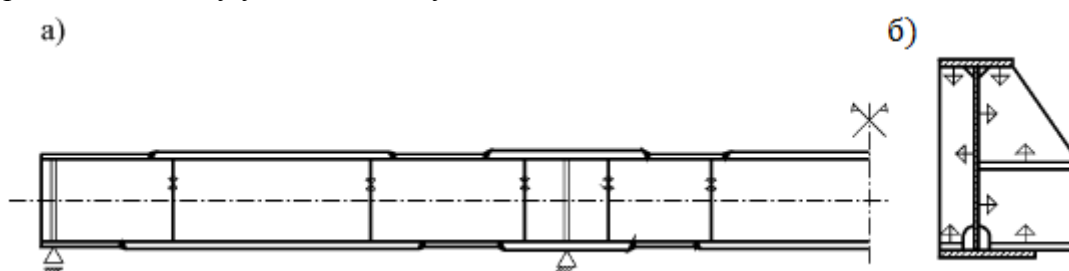
2. Спојеви у металним конструкцијама

2.1. Основне врсте наставака и веза

Велике су могућности примене различитих типова наставака и веза. Свака конкретна конструкција представља посебан проблем који треба решити. У циљу њиховог лакшег анализирања по различитим параметрима, подела веза и наставака може да се изврши на основу различитих критеријума.

У зависности од тога да ли се наставак, односно веза изводи у радионици или на градилишту (монтажи), постоје: *радионички и монтажни наставци*.

Радионички наставци и везе (слика 2.1) се изводе у радионици приликом израде елемената конструкције. То су наставци ваљаних профила или заварених елемената, затим наставци лимова различитих дебелина, као и везе различитих елемената једног монтажног склопа. Они се углавном изводе заваривањем помоћу угаоних или сучеоних шавова.

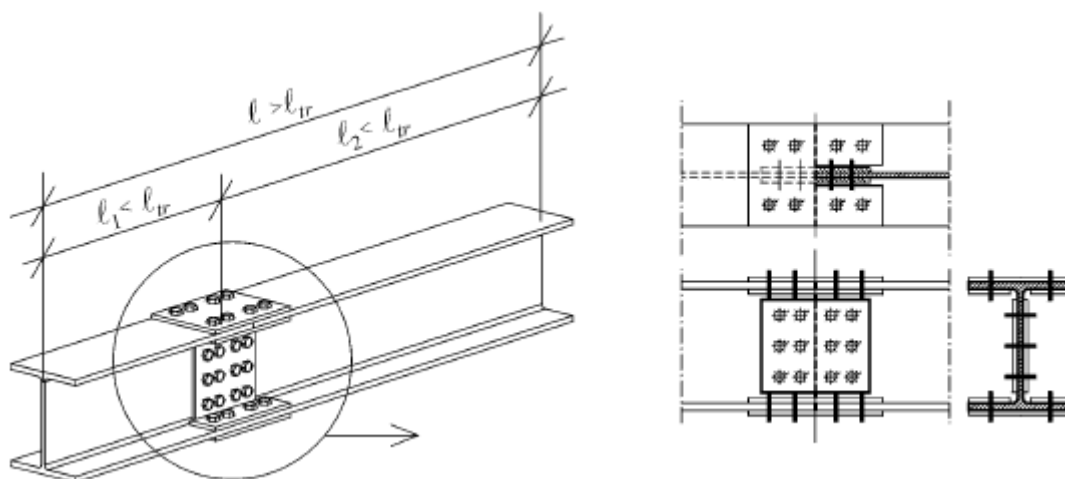


Слика 2.1 - Радионички наставци и везе: а) носач дизалице; б) веза попречног са главним носачем

Монтажни наставци (слика 2.2) се изводе на градилишту када су димензије елемената такве да прелазе дозвољене вредности за нормалан транспорт. То су наставци линијских елемената (штапова или носача) чија дужина је већа од транспортне дужине ($l > l_{tr} = 12,5 \text{ m}$), наставци делова монтажних комада код мостова итд. Осим монтажних наставака, помоћу којих се врши продужавање елемената чија је дужина већа од транспортне, на монтажи се остварују и везе између различитих елемената конструкције. Монтажни наставци и везе се углавном изводе помоћу завртњева. Уколико на градилишту постоје одговарајући услови, као што је покретна радионица при изради мостова, може да се примењује и заваривање.

У једном елементу конструкције могу да се појаве:

- *делимични или парцијални наставци* уколико се врши настављање само појединих делова елемената и
- *потпуни наставци* уколико се врши прекидање и настављање свих елемената попречног пресека.



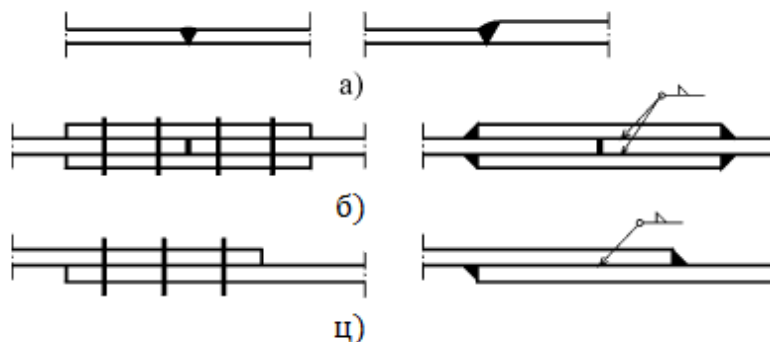
Слика 2.2 - Монтажни наставци

Радиониички наставци могу да буду делимични или потпуни, а монтажни наставци су увек потпуни наставци.

У зависности од положаја елемената који се спајају, наставци могу да буду: *сучеони*, *сучеони са подвезицама* и *преклопни*.

Сучеони наставци (слика 2.3а) се остварују између два лима, исте или различите дебљине, који леже у истој равни. Овакви наставци могу да се изведу помоћу сучеоних шавова. На овај начин се директно, преко сучеоног шавва врши пренос силе из једног у други елемент везе.

Сучеони наставци са подвезицама (слика 2.3б) се, такође, остварују између два лима који леже у истој равни, а изводе помоћу додатних елемената у виду челичних лимова (подвезица). Силе се индиректно преко спојних средстава и подвезица преносе са једног на други елемент везе. Подвезице се постављају са обе стране, како би се избегло ексцентрично напрезање. Овакви наставци могу да се остваре помоћу угаоних шавова или завртњева.



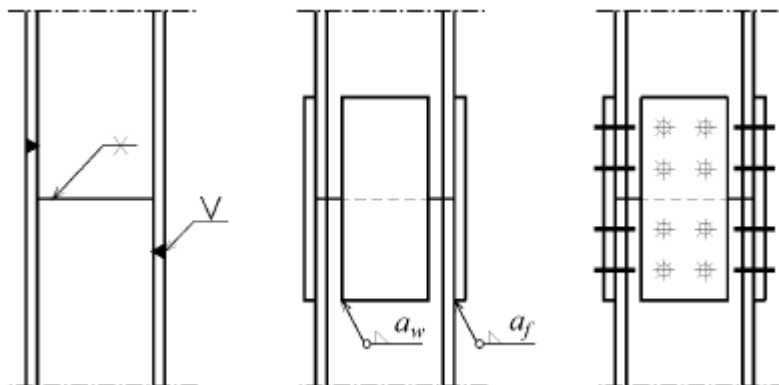
Слика 2.3 - а) Сучеони наставци; б) Сучеони наставци са подвезицама; ц) Преклопни наставци

Преклопни наставци су наставци два елемента који су међусобно преклопљени на одређеној дужини преко које се врши повезивање. Могу бити изведени помоћу угаоних шавова или завртњева, (слика 2.3ц). Овакви наставци се примењују само за споредне елементе који су оптерећени малим силама.

Постоји велики број различитих типова наставака и веза у зависности од врсте оптерећења, начина остваривања везе, међусобног положаја елемената који се спајају, као и облика њихових попречних пресека. У челичним конструкцијама се најчешће срећу следећи типови наставака и веза:

- монтажни наставци штапова, стубова и носача,

- везе носача са стубовима и
- везе носача под углом.

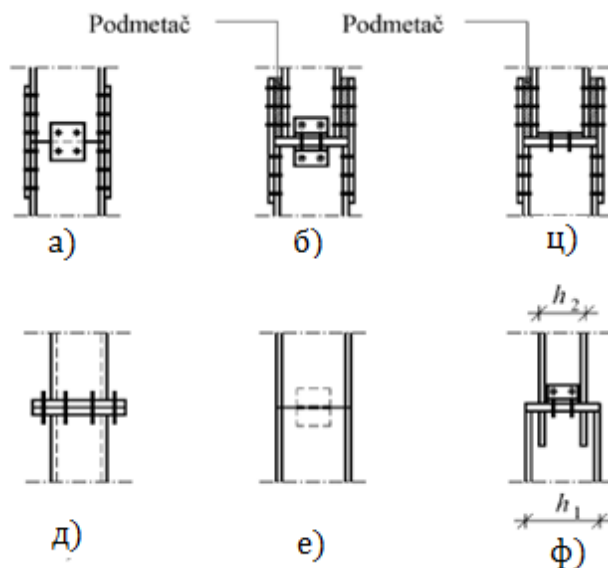


Слика 2.4 - Монтажни наставци штапова

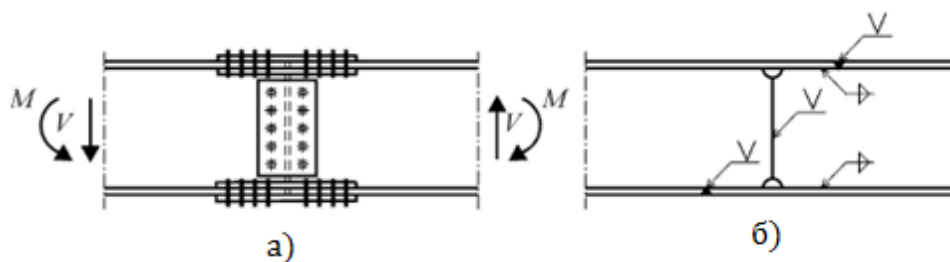
Монтажни наставци штапова (слика 2.4) се, најчешће, изводе заваривањем сучеоним шавовима, или у виду преклопних наставака остварених помоћу подвезица које могу да буду заварене или спојене завртњевима.

Монтажни наставци стубова (слика 2.5) могу да се остваре на више различитих начина. Монтажни наставци могу да буду у потпуности изведени помоћу завртњева (слика 2.5а,б), или заваривањем (слика 2.5е,ф). Мане заваривања на лицу места које су раније истакнуте важе и у овом случају. Осим тога, заварени наставци су неповољнији са становишта монтаже, јер захтевају привремено подупирање или повезивање док се заваривањем не оствари веза. Повезивање се најчешће врши помоћу привремених, монтажних столица од угаоника и завртњева. Осим оваквих типова наставака могу да се примењују и комбиновани наставци (слика 2.5ц,д) који представљају боља решења у погледу монтаже. Код оваквих наставака заваривање стубова за чеоне плоче се врши у радионици, док се на монтажи врши само њихово повезивање помоћу завртњева. У случају промене димензија стуба на месту наставка, треба водити рачуна да чеона плоча, која се у таквим случајевима обавезно поставља, има довољну крутост на савијање (односно дебљину), како би могла да обезбеди пренос силе из једне у другу ножицу. Силе се преносе под углом не мањим од 45° , у односу на хоризонтал (слика 2.5б). Уколико су димензије стубова који се настављају драстично различите, (слика 2.5ф) на ребру доњег, већег стуба треба да се поставе укрућења, како би се обезбедило правилно увођење сила из ножица горњег, ужег стуба и смањило савијање чеоне плоче. Када наставак треба да буде смештен (сакривен) у оквиру дебљине пода, најповољније је решење приказано на слици 2.5д.

Монтажни наставци носача (слика 2.6) се најчешће изводе помоћу завртњева, а могу бити и у завареној изради. Типичан пример монтажног наставка гредног носача I-профила изведен помоћу завртњева, приказан је на слици 2.6а. Када се наставак изводи заваривањем сучеоним шавовима (слика 2.6б), треба обратити пажњу на услове заваривања и наставак изводити, по могућству у хоризонталном положају.

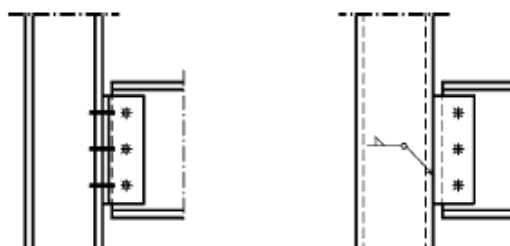


Слика 2.5 - Различите могућности за остваривање монтажних наставака стубова



Слика 2.6 - Монтажни наставци носача: а) помоћу завртњева; б) у завареној изради

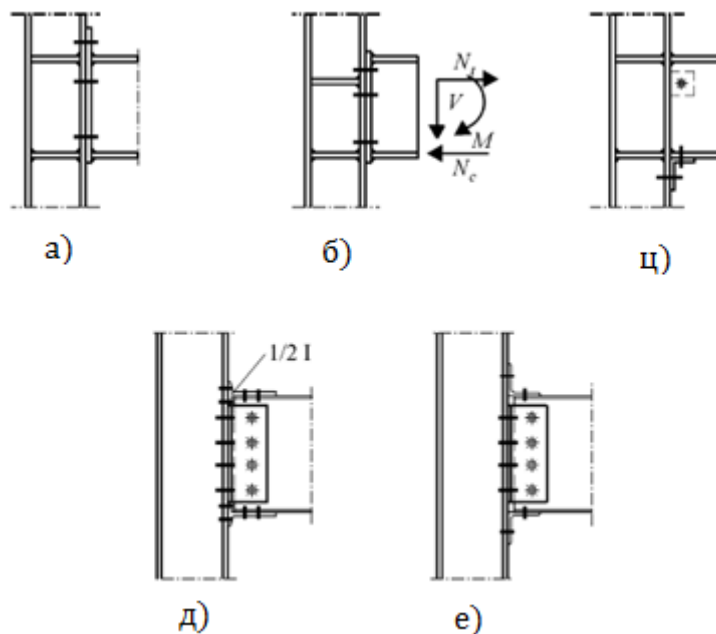
Везе носача са стубовима могу да буду зглобне или круте. Зглобне везе се димензионишу тако да могу да пренесу трансверзалну силу (V), односно ослоначку реакцију (R). Оне се најчешће изводе помоћу прикључних лимова или угаоника и завртњева (слика 2.7). Прикључни угаоници се везују са стубом помоћу завртњева или угаоних шавова, док се прикључни лимови увек заварују за стуб угаоним или $1/2V$ -шавовима.



Слика 2.7 - Зглобне везе носача са стубом

Карактеристични типови крутих веза између носача и стуба приказане су на слици 2.8. Круте везе могу да се остваре помоћу чеоне плоче, која се заварује за носач по читавом његовом обиму, а за стуб се везује преднапругнутим високовредним завртњевима. Чеоне плоче могу да буду са препустом (слика 2.8а) или без препуста (слика 2.8б). Круте везе се могу остварити и заваривањем (слика 2.8ц). Мана овог типа везе је што се заваривање врши на градилишту, па је израда везе компликованија и спорија, а квалитет шавова лошији. При изради оваквих веза неопходно је да се предвиде привремене монтажне столице и ослонци, како би се носач привремено фиксирао пре заваривања. Круте (моментне) везе могу да се остваре и само помоћу

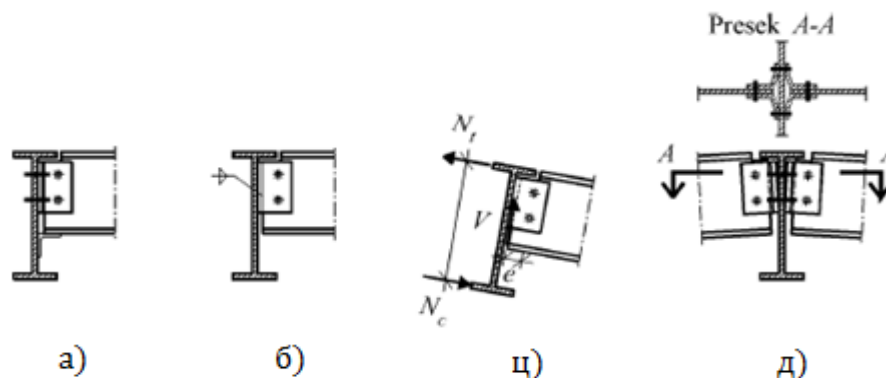
завртњева. Овакве везе захтевају додатне елементе у виду Т или L-ваљаних профила, преко којих се, помоћу завртњева, врши индиректно преношење пресечних сила (слика 2.8д). Предности оваквих веза су брза једноставна монтажа, мањи захтеви у погледу квалификованости радника на монтажи, једноставнија израда у радионици, што битно утиче на укупну цену везе, па и читаве конструкције. Као основни недостаци оваквих веза могу се навести нешто већи утрошак челика (због додатних елемената), као и већа деформабилност везе. Овакве везе имају посебно велику примену у САД.



Слика 2.8 - Примери крутих веза носача и стубова

Круте везе се димензионишу и конструишу тако да могу да пренесу трансверзалну силу V и момент савијања M . Момент савијања M може да се замени спрегом сила који чине сила затезања N_t и сила притиска N_c ($N_t = -N_c = M / h$). Ове силе делују у тежишту притиснуте ножице гредног носача и у тежишту завртњева у затегнутој зони. Што је већи крак сила h то су ове силе мање. Због тога су везе са препуштеном чеоном плочом повољније, јер је код њих крак сила већи у односу на чеоне плоче без препуста. На овај начин се пренос целокупног момента савијања M поверава притиснутој ножици и завртњевима у затегнутој зони, па је потребно да се поставе укрупњења на ребру стуба, због локалног оптерећења које у њему изазивају силе N_t и N_c . При томе се може претпоставити да читаву трансверзалну силу прима ребро, односно елементи и спојна средства (шавови и/или завртњеви) који се на њему налазе. Ножица стуба преко које се врши повезивање са гредом је изложена дејству локалног савијања услед сила у ножицама греде, па је на месту везе често неопходно да се повећа њена дебљина.

Зглобне везе носача под углом (слика 2.9) обезбеђују само преношење реакције секундарног носача на примарни носач. Овакве везе се углавном остварују само преко ребара носача. Најчешће се користе прикључни угаоници (слика 2.9а) или прикључни лим (слика 2.9б). У случају једностране везе (слика 2.9ц), ротацији секундарног носача се одупире примарни носач својом торзионом крутошћу, па веза поседује извесну моменту носивост (еластично укљештење). Код обостране везе (слика 2.9д) до појаве делимичног укљештења долази због континуитета оствареног посредним повезивањем секундарних носача преко ребра примарног. Овакве везе поседују извесну ротациону крутост, али је она, због изражене флексибилности елемената за спајање (угаоници и завртњеви) и мале торзионе крутости I-профила веома мала, па се у пракси занемарује.



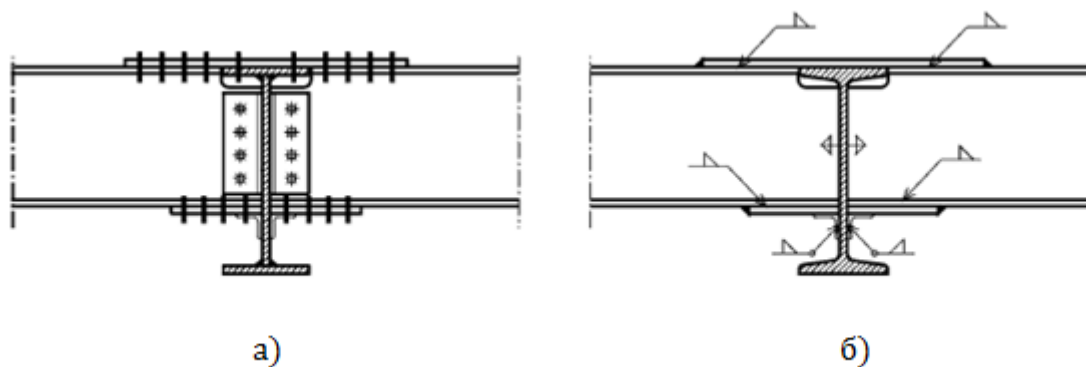
Слика 2.9 - Зглобне везе носача под углом

Круте везе носача под углом обезбеђују континуирање секундарног (подужног) носача, тако да он, на месту везе, може да прихвати и трансверзалну силу и момент савијања. Овакве везе могу да се остваре помоћу завртњева (слика 2.10а) или заваривањем (слика 2.10б). У оба случаја континуитет носача, односно пријем момента савијања се остварује помоћу континуитет ламела, које су у првом случају са ножицом секундарног носача повезане завртњевима, а у другом случају помоћу угаоних шавова. Пријем трансверзалне силе код веза са завртњевима се остварује помоћу обостраних прикључних угаоника, док се код веза у завареној изради врши директно заваривање ребара секундарних носача за ребро примарног носача.

Треба истаћи да приликом димензионисања било крутих било зглобних веза обавезно треба узети у обзир момент услед ексцентричности везе који се јавља у спојним средствима. Тако, на пример, у случају зглобне везе остварене помоћу прикључних угаоника и завртњева, завртњеви на ребру секундарног носача, поред трансверзалне силе V треба да се димензионишу и за дејство момента ексцентричности:

$$M_e = V \cdot e$$

где је e ексцентрицитет везе (слика 2.9ц).



Слика 2.10 - Круте везе носача под углом

3. Спојна средства

3.1. Опште о спојним средствима

Конструкцијски систем неког објекта сачињава више различитих елемената који чине јединствену целину, способну да преноси пројектом предвиђено оптерећење. У случају челичних конструкција, конструкцијски систем није монолитан, већ се састоји од делова одређених димензија, који се појединачно израђују у радионици, а потом међусобно повезују на градилишту. Стога се при изградњи челичних конструкција разликују следеће фазе: израда елемената (делова) конструкције у радионици, њихов транспорт и монтажа на градилишту. Том приликом се примењује низ поступака и операција неопходних за израду елемената конструкције од ваљалничких производа, као и за њихово настављање и међусобно повезивање. Потреба за настављањем елемената произилази из чињеница да димензије конструкцијских елемената често превазилазе стандардне дужине ваљалничких производа и габарите уобичајених транспортних средстава. Настављање и повезивање елемената челичних конструкција може да се оствари помоћу механичких спојних средстава (закивци, завртњеве, чепови итд.), или технолошким поступцима (заваривањем или лепљењем). У зависности од места извођења, постоје две врсте наставака: радионички и монтажни наставци.

Радионички наставци се изводе у радионици, где се припремљени ваљалнички производи међусобно спајају и формирају просте елементе, полусклопове и склопове, чије су димензије мање од габарита предвиђеног транспортног средства. У просте елементе спадају профили који су образовани заваривањем, или спајањем ваљаних производа помоћу закивака. Полусклопови и склопови подразумевају спајање више профила у једну монтажну целину, као што је на пример стуб рама са лежишном плочом и укрућењима, или монтажни сегмент моста. Радионички наставци се најчешће изводе заваривањем, а ређе закивцима или завртњевима. Квалитет и димензије спојева зависе од величине и врсте утицаја које ти спојеви треба да прихвате.

Монтажни наставци се изводе на градилишту. Помоћу њих се повезују радионички сегменти (полусклопови или склопови) тако да образују јединствену конструктивну целину. Избор спојних средстава за израду монтажних наставака зависи од величине и врсте утицаја које наставак треба да прихвати, од начина и брзине монтаже конструкције, као и од услова који владају на градилишту. Данас се монтажни наставци, због брзине извођења, квалитета наставака у градилишним условима и обезбеђења пројектоване геометрије конструкције, најчешће изводе помоћу завртњева, а ређе заваривањем. Помоћу завртњева се изводе монтажни наставци штапова и носача, наставци стубова и ригли код оквирних носача, зглобне и круте везе подужних и попречних носача, везе решеткастих носача са ослоначким конструкцијама, итд. Монтажни наставци у завареној изради, изводе се углавном код статички оптерећених конструкција (у зградарству) за повезивање, слабије или средње напрегнутих, елемената. У мостоградњи се овакви наставци примењују код ортотропних плоча.

3.2. Закивци

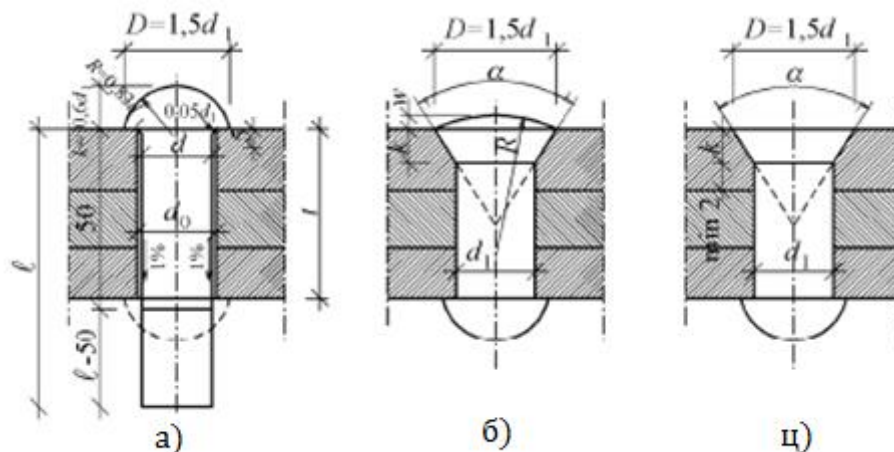
3.2.1. Опште о закивцима

Закивци као спојно средство се примењују од тридесетих година деветнаестог века и до данас су се показали као ефикасно и поуздано спојно средство. Везе изведне закивцима се добро понашају, како при статичком тако и при динамичком напрезању, јер закивци врше равномерни пренос силе дуж везе. Рупе у вези су добро испуњене материјалом закивка, па везе имају мала проклизавања и малу деформабилност. Данас се закивци примењују само за реконструкцију и ојачање постојећих конструкција израђених закивцима и ређе за израду динамички напрегнутих конструкција. Заваривање је последњих деценија, осим у специјалним случајевима, скоро потпуно потиснуло примену закивака за израду радионичких наставака, док су их завртњеве, због брзог и једноставног извођења наставака, заменили код израде монтажних наставака.

3.2.2. Облици и димензије закивака

Закивак се састоји од цилиндричног тела (врата закивка) и главе закивка. У зависности од облика главе, разликују се:

- закивци са полукружном главом (слика 3.1а),
- закивци са полуупуштеном главом (слика 3.1б) и
- закивци са упуштеном главом (слика 3.1ц).



Слика 3.1 - Различите врсте закивака: а) са полукружном главом; б) са полуупуштеном главом; ц) са упуштеном главом

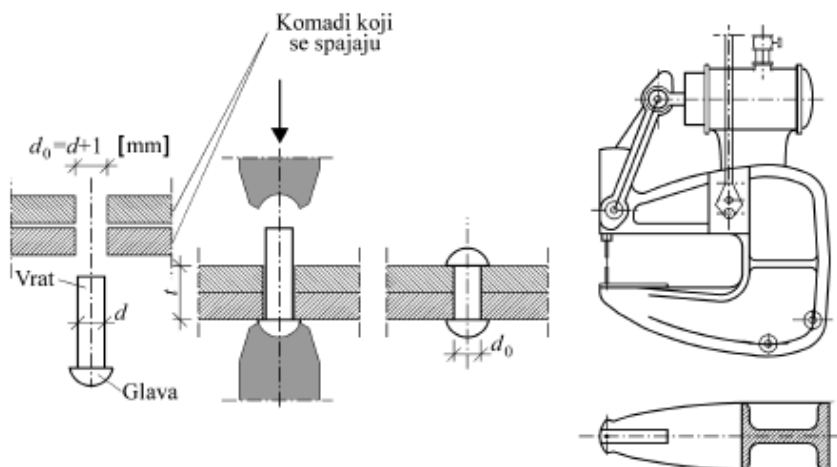
Закивци се израђују машинским путем од округлог челика квалитета Š0255, Š0355 и Š0455, са затезном чврстоћом $f_u=300-400$ МПа, $f_u=380-470$ МПа, $f_u=440-540$ МПа, респективно. Најчешће се примењују закивци са полукружном главом чији је врат конусан на дужини од 50 mm од главе закивка, са нагибом изводнице од 1% (слика 3.1а), а цилиндричан на преосталој дужини. Пречник рупе за уградњу закивака (d_0) је за 1 mm већи од пречника закивка (d), то јест $d_0 = d + 1$.

Дужина врата закивка (l) зависи од пречника закивка (d) дебљине пакета лимова који се спајају (t) и од начина израде друге главе закивка (слика 3.1а):

$$l = t + 4 / 3 \cdot d_0 \text{ за машинско закивање,}$$

$$l = t + 7 / 4 \cdot d_0 \text{ за ручно закивање.}$$

Закивци се уграђују у претходно избушене рупе, загрејани до температуре која је погодна за ковање. Затим се поставља преса за закивање и врши се притисак на главу и врат закивка чиме се прво испуњава рупа у споју, а затим се обликује друга глава (слика 3.2).



Слика 3.2 - Израда друге главе закивка и преса за закивање

Избор пречника закивка зависи од дебљине пакета који се закива, због доброг испуњења рупе и спречавања кривљења усијаног врата закивка. Пракса је показала да дебљина пакета не би смела да пређе вредност:

$t \leq 4,5 d_0$ за закивке са полукружном главом и
 $4,5 d_0 < t < 6,5 d_0$ за закивке са полуупуштеном главом.

3.2.3. Обележавање закивака

На радионичким цртежима се, ради прегледности и избегавања грешака, закивци представљају посебним ознакама. Ознаке су стандардизоване и дате су у табели 3.1, за закивке код којих се и рупа и уградња врше у радионици.

Табела 3.1 - Ознаке закивака

Prečnik d_0	11	13	15	17	19	21	23	25	28	31	34
Oznaka											
Dopunske oznake zakivaka	а)				б)			ц)		д)	

Поред ових ознака уведене су и допунске ознаке, које детаљније дефинишу уграђени закивак. Уколико је рупа за закивак избушена у радионици, а закивак је уграђен на монтажи, тада се стандардној ознаци додаје једна заставица (табела 3.2а). Две заставице се додају основној ознаци уколико се и рупа буши на монтажи (табела 3.2б). У случају закивака са полуупуштеном главом, изнад или испод основне ознаке, додаје се полукруг у зависности од тога да ли је полуупуштена глава горе или доле (табела 3.2ц и д).

На цртежима у размери 1:10 и ситнијој, величина ознаке је једнака пречнику главе закивка ($D = 1,5 \cdot d_0$), а на цртежима у размери 1:5 и крупнијој, величина ознаке одговара пречнику рупе за закивке (d_0).

3.2.4. Рад заковане везе

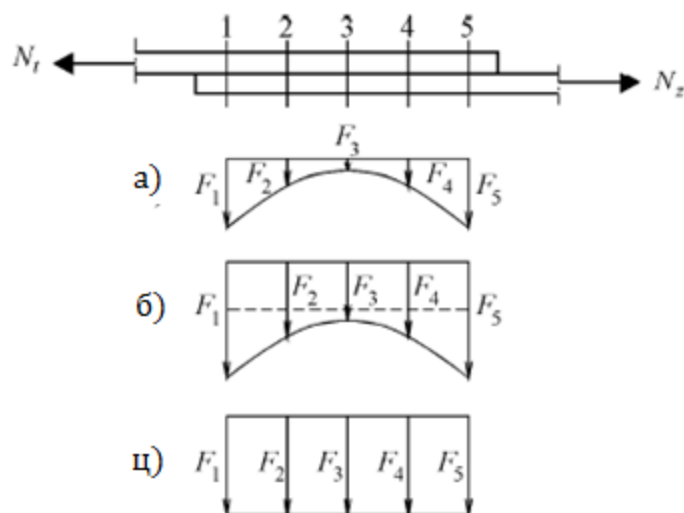
Познавање понашања везе и закивака у њој, под оптерећењем, представља предуслов за одређивање потребног броја закивака у вези и сигурности везе. На рад закивка у вези утиче технолошки поступак уградње закивка. Наиме, када се уграђени, усијани закивак охлади до температуре испод 600 °С, долази до његовог скупљања. Како је пакет лимова нестишљив, то се у закивку јавља значајна сила затезања којом његове главе притискају пакет лимова. Ова сила затезања изазива у закивку напоне веће од границе развлачења. Такође, хлађењем закивка долази до његовог радијалног скупљања, чиме се ствара зазор у рупи између закивка и лимова. Рад закивка је сложен и може да се разматра кроз три фазе.

У првој фази рада везе, при малом оптерећењу, услед силе затезања у закивку јавља се трење између спојних елемената које је веће од силе смицања. Веза ради као монолитна (нема проклизавања), па се јављају само еластичне деформације као последица напрезања лимова. Даље повећање оптерећења проузрокује савладавање трења и појаву померања на рачун зазора између рупе и врата закивка, па долази до директног налагања врата закивка на лимове. Померања су реда величине 1/100 mm. Даљи пренос сила се одвија путем смицања закивка и притиска по омотачу рупе, тако да трење не учествује у укупном капацитету носивости везе.

У другој фази рада везе долазе до изражаја еластичне деформације везе услед савијања и смицања закивка и гњечења лимова у контакту са закивком. Та померања износе око 0,10-0,15 mm. Напрезања закивка у овој фази рада се повећавају све до појаве напона течења у врату закивка.

У трећој фази рада везе долази до знатних деформација у вези услед течења челика у врату закивка, које при лому достижу вредност од око 5-6 mm. Врста лома везе зависи од начина израде рупе и дужине закивка. Ако се рупа израђује бушењем челичних лимова нормалне тврдоће и ако је закивак веће дужине, тада у вези долази до савијања закивка и гњечења ивица лимова по обиму рупе, чиме се ствара знатна сила затезања у закивку, тако да до његовог лома обично долази откидањем главе. Када се рупе изводе пробијањем, ивице лимова су неравне, а челични материјал је претрпео знатна ојачања. У овом случају, услед оптерећења ивица лимова гњече врат закивка и, уколико је он мале дужине, у њему се претежно јављају смичући напони.

На основу претходне анализе може се закључити да је понашање закивака у вези врло сложено и да су они истовремено напрегнути на смицање, савијање, затезање и притисак по омотачу рупе. Сви ови феномени утичу на распоред сила у закивцима у појединим фазама рада везе. У првој фази највеће силе се јављају у крајњим закивцима услед присуства трења у вези и највећих еластичних деформација на том месту (слика 3.3а). Након савладавања трења сви закивци подједнако преузимају силу. Те силе се сабирају са силама из прве фазе (слика 3.3б). Услед великих померања закивака у вези, у трећој фази долази до подједнаког преузимања силе од стране свих закивака, независно од претходне расподеле сила у закивцима (слика 3.3ц). Из тога се види да гранична носивост закивака не зависи од његовог напрезања у претходним фазама.



Слика 3.3 - Распоред сила у закивцима у све три фазе рада везе

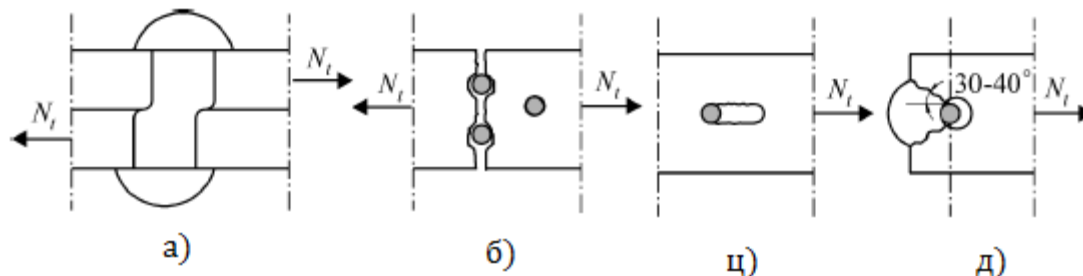
До лома везе остварене закивцима може да дође на четири различита начина.

Лом закивка услед смицања врата закивка настаје исцрпљењем носивости тела закивка на смицање. До лома долази по равни смицања (равни споја елемената) која је управна на осу врата закивка (слика 3.4а).

Код елемената напрегнутих на затезање, уколико је носивост закивака већа од носивости елемената (лимова) који се спајају, долази до лома лимова на месту најслабијег пресека у вези (слика 3.4б).

Ако је пречник врата закивка знатно већи од дебљине спојних лимова, или ако је закивак израђен од квалитетнијег челика него лимови, може да дође до гњечења лимова услед притиска по омотачу рупе. Врат закивка притиска површину лимова на месту рупе и изазива велику концентracију напона. Напрезања у лиму прелазе вредност затезне чврстоће челичног материјала и долази до пластичног течења у зони рупе праћеног пластичним деформацијама, које проузрокују стварање овалне рупе (слика 3.4ц). На тај начин се знатно повећава деформабилност везе тако да наступа гранично стање употребљивости иако још увек није достигнуто гранично стање носивости везе.

Код ивичних завртњева, када је растојање од осе закивка до ивице лима мало, долази до лома смицањем лима (слика 3.4д). Наиме, на делу закивка према спољашњој ивици, у контакту са лимом јавља се напон притиска, а у управном правцу напон затезања. Услед двоосног напрезања лима, под углом од $30-40^\circ$ у односу на правац силе, јављају се и смичући напони. Уколико растојање осе закивка од ивице није довољно, настаје лом у лиму услед смицања по косим равнинама (слика 3.4д).



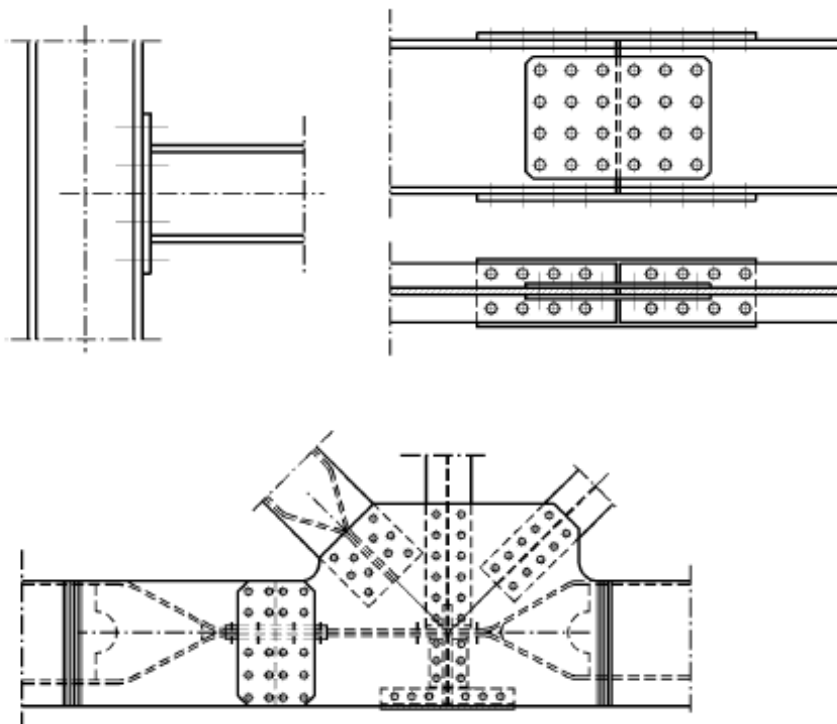
Слика 3.4 - Могући видови лома код веза са закивцима

3.3.Завртњеви

3.3.1. Опште о завртњевима

На самом почетку развоја челичних конструкција, као прва механичка спојна средства коришћени су обични завртњеви. Они су, међутим, убрзо замењени закивцима због, у то време, скупе машинске израде и слабе отпорности на замор. Како је развојем машинске индустрије знатно убрзан и поједностављен процес производње завртњева, они су се поново наметнули као конкурентно механичко спојно средство.

Завртњеви представљају савремено и ефикасно спојно средство за израду, претежно, монтажних наставака у зградарству и мостоградњи (слика 3.5). Њихова примена је омогућила потпуну индустријализацију производње челичних конструкција. Они су данас, због низа несумњивих предности, скоро у потпуности заменили закивке при изради монтажних наставака.



Слика 3.5 - Примена завртњева у зградарству и мостоградњи

Завртњеви се израђују у фабрици машинским путем, а на монтажи се врши само њихова уградња. На тај начин се добија веома уједначен квалитет свих завртњева у конструкцији.

За уградњу завртњева није потребна сложена опрема као за закивке, нити посебно квалификована радна снага. Уградња завртњева је једноставна и изводи је један или два радника. Временски услови не утичу на квалитет изведене везе, за разлику од веза остварених закивцима или заваривањем. Осим тога брзина уградње је већа него код закивака.

Без обзира што је основни материјал за сирови закивак јефтинији од завртња, ипак је, узимајући све наведене трошкове, веза изведена завртњевима јефтинија и контролисанијег квалитета.

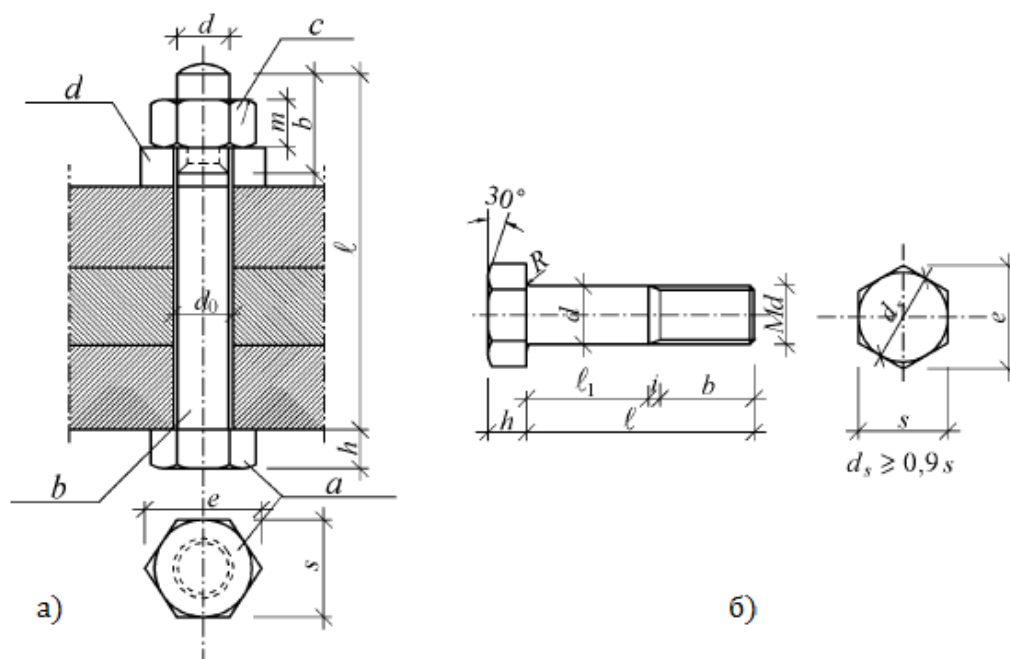
Завртњевима се, као и закивцима, остварује тачкасто спајање елемената конструкције. Кроз два или више елемената који се спајају, буше се рупе, постављају завртњеви и навија навртка, све док се елементи међусобно не споје. Након тога, веза је одмах способна да прихвати све статичке утицаје, при чему у завртњевима може да се јави смицање, притисак по омотачу рупе или затезање.

3.3.2. Облици и врсте обичних завртњева

Један комплет завртња састоји се из следећих делова, (слика 3.6а):

- шестоугаоне главе (а),
- цилиндричног тела које се завршава навојем (b),
- шестоугаоне навртке са отвором у средини и навојем у унутрашњем делу отвора (c) и
- подложне плочице (подлошке) кружног или квадратног облика са отвором у средини

(d).



Слика 3.6 - Делови и ознаке димензија обичних завртњева

Називну меру завртња дефинише дебљина тела завртња на месту навоја (d) па је ознака за завртањ Md . На пример, $M20$ означава завртањ чији је пречник тела на месту навоја $d=20$ mm. Димензије свих делова завртња су стандардизоване према JUS-у M.B1.068. У челичним конструкцијама се употребљавају завртњеви са ISO, односно метричким навојем. Тако, поменута ознака за завртањ Md означава завртањ са метричким навојем. Раније су у употреби били завртњи са Витвортовим навојем у цоловним (") јединицама (нпр. $1/2"$, $5/8"$, $3/4"$, $7/8"$ и $1"$). Основне димензије метричког навоја су приказане на слици 3.7а, где су :

d номинални пречник завртња,

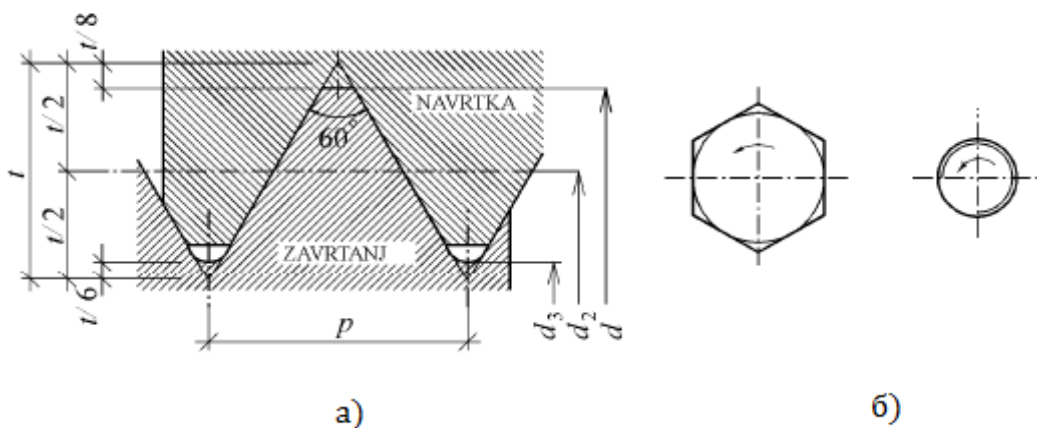
d_2 средњи пречник навоја ($d_2 = d + 2 \cdot t/8 - 2 \cdot t/2 = d - 3/4 \cdot t$),

d_3 пречник језгра завртња ($d_3 = d + 2 \cdot t/8 - 2 \cdot t + 2 \cdot t/6 = d - 17/12 \cdot t$),

p корак навоја који зависи од пречника завртња (нпр. за $M12$ $p=1,75$ mm),

t висина навоја која зависи од корака навоја ($t = p/(2 \cdot \tan 30^\circ) = p \cdot 3/2 = 1,155 \cdot p$).

У пракси се најчешће користе завртњеви са десним навојем. Постоје и завртњеви са левим навојем и они су на глави завртња уочљиво обележени (слика 3.7б).



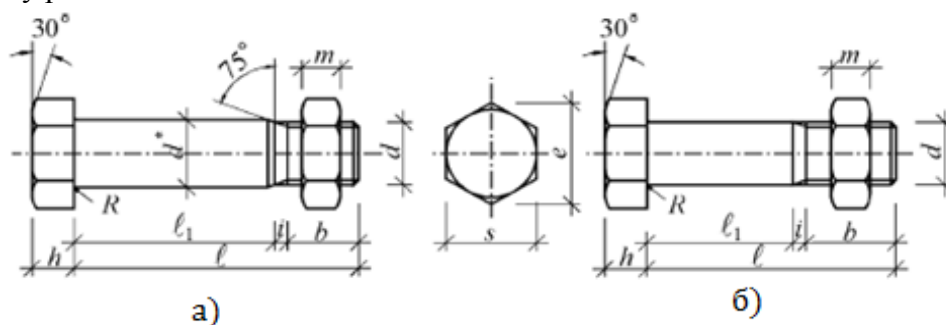
Слика 3.7 - Основне димензије метричког навоја и ознака навоја

Најважнији део завртња је тело завртња. Оно има доминатну улогу у преношењу сила у смичућим спојевима, где је напрегнуто на смицање и притисак по омотачу рупе. Како оваква напрезања зависе директно од ефективног пречника завртња, то није допуштено да се у вези употреби завртањ чији навој улази у пакет који се спаја. Због тога се у грађевинским конструкцијама примењује подложна плочица дебљине 8 mm да би, за завртњеве чија се дужина мења на 5 mm, навој остао изван равни смицања.

Према тачности израде тела завртња, постоје две врсте завртњева:

– *обрађени завртњеве* (или упасовани, или завртњеве са тачним налегањем), код којих се обрадом на стругу постиже разлика између пречника рупе и тела завртња $\Delta d = d_0 - d \leq 0,3\text{mm}$ (слика 3.8а),

– *необрађени завртњеве* (или неупасовани, или завртњеве без тачног налегања) код којих је разлика између пречника рупе и тела завртња $\Delta d = d_0 - d \geq 1,0\text{mm}$ (слика 3.8б). Ово одступање могућава да необрађени завртњеве могу лако да се уграде на монтажи, без претходне предмонтаже у радионици.



Слика 3.8 - Обрађени и необрађени завртњеве

На примеру завртња M20 илустрована је разлика у димензијама обрађених и необрађених завртњева:

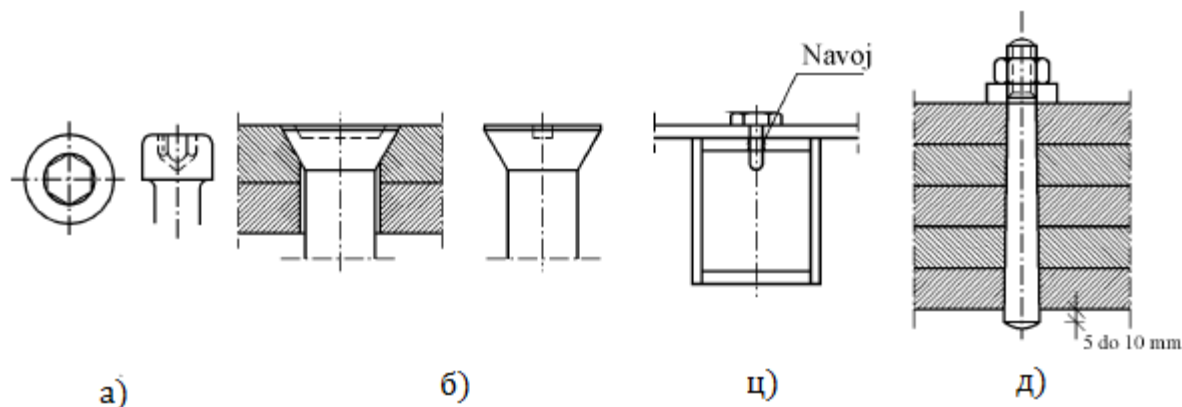
- *обрађени завртањ M20*: номинални пречник $d = 20\text{ mm}$
 пречник тела завртња $d \approx 21\text{ mm}$ (за прорачун)
 пречник рупе $d_0 = 21\text{ mm}$
- *необрађени завртањ M20*: номинални пречник $d = 20\text{ mm}$
 пречник тела завртња $d = 20\text{ mm}$
 пречник рупе $d_0 = 21\text{ mm}$

Према Еврокоду 3 пречник рупе може да буде већи од пречника завртња и више од 1 mm, па тако, овај документ предвиђа следеће вредности за стандардне зазоре у рупи:

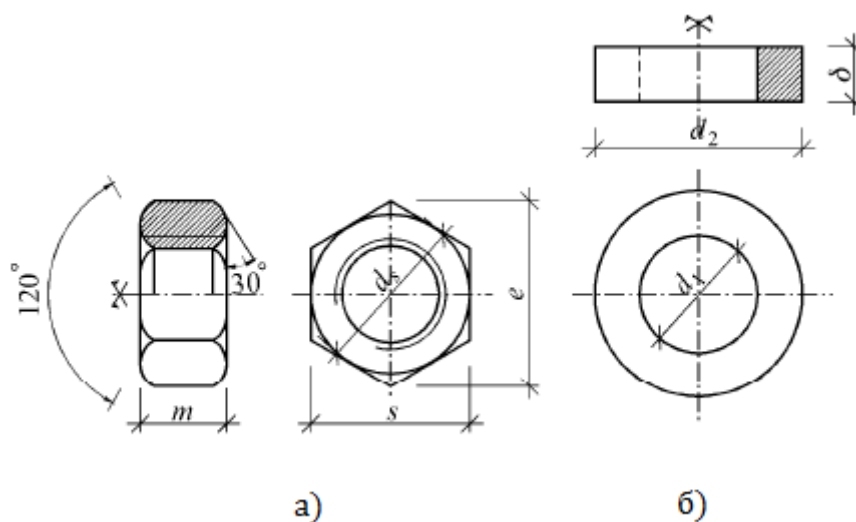
- 1 mm за завртњеве M12 и M14
- 2 mm за завртњеве M16 до M24
- 3 mm за завртњеве M27 и веће.

У посебним случајевима могу да се користе и специјални завртњеве, као што су:

- *Завртњеве са унутрашњом шестоугаоном главом* (слика 3.9а), који се примењују углавном у спојевима код којих не постоји простор за постављање кључа за навијање навртке;
- *Завртњеве са упуштеном главом* (слика 3.9б), у спојевима код којих се захтева да површина споја буде равна;
- *Завртњеве без навртке* (слика 3.9ц), у неприступачним спојевима код којих се не може поставити навртка. У том случају се у елемент споја урезује навој истог типа као и за навртку;
- *Конусни завртњеве* (слика 3.9д), у спојевима са закивцима код којих је дебљина споја већа од допуштене. Тело завртња је конично са нагибом изводнице од 1% и нема главу него се тело испушта 5-10 mm изван споја. Прво се буши цилиндрична рупа, а онда се проширује тако да добије конусни облик. Навртка и подлошка су стандардних димензија.



Слика 3.9 - Специјалне врсте завртњева

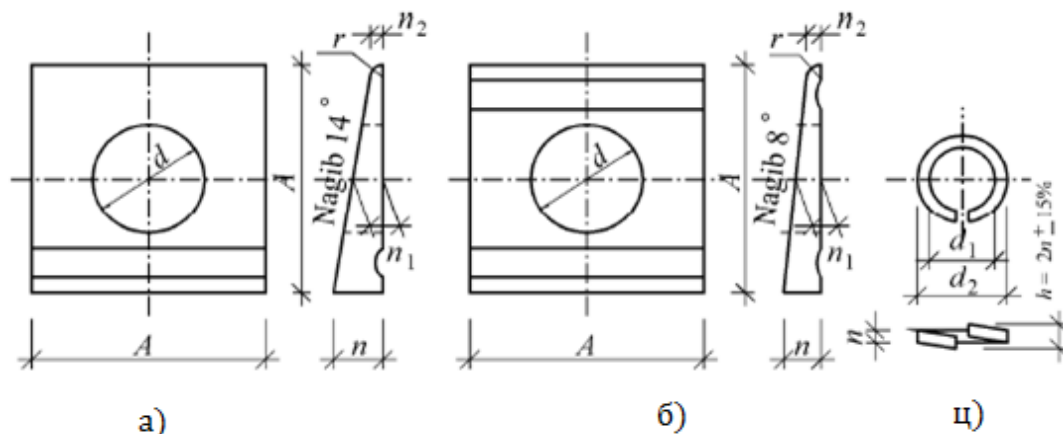


Слика 3.10 - Навртка и подложна плочица за обичне завртњеве

Подложне плочице (подлошке) имају функцију да омогуће боље налегање навртке на спојне елементе, да спрече да се навој нађе у споју и да спрече ослањање навоја на зидове рупе приликом притезања навртке. Оне се увек постављају испод навртке. Израђују се у две класе израде према JUS-у M.B2.015:

- класе А, са грубом израдом, без посебне обраде спољашњих површина и
- класе Б, са средње грубом израдом и са обрадом спољашњих површина.

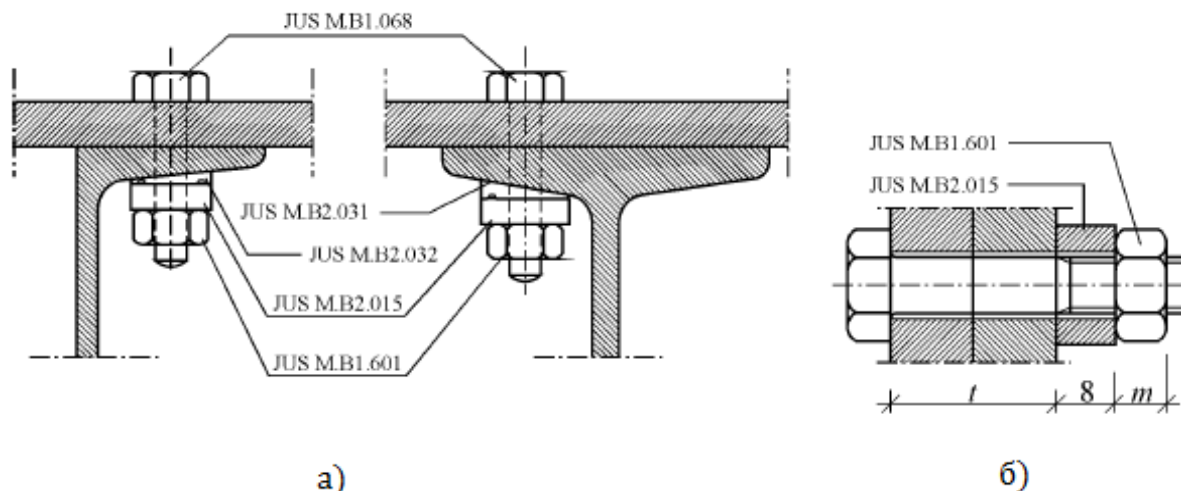
Код ваљаних профила са нагибом унутрашње површине ножица примењују се, поред обичних подложних плочица и косе подложне плочице, да би се обе површине ножица довеле у паралелан положај. Код I профила оне се израђују према JUS M.B2.031 са нагибом од 14%, (слика 3.11а), док код U профила имају нагиб 8% за профиле до U300, односно 5% за профиле U300 и веће, а израђују се према стандарду JUS M.B2.032 (слика 3.11б).



Слика 3.11 - Косе и еластичне подложне плочице

У спојевима код којих је потребно да постоје одређена померања између елемената који се спајају, да би се избегло напрезање завртњева у правцу њихове осе (нпр. у горњем делу везе два кранска носача система просте греде), примењују се еластичне подлошке (слика 3.11ц). Оне се примењују са обичном подлошком, а жељено померање у споју се постиже деформисањем ове подложне плочице. Напомиње се да при монтажи завртњева са еластичном подлошком не треба потпуно притегнути навртку, јер ако се тада деформише, еластична подлошка губи своју функцију.

Треба напоменути да косе подложне плочице служе само да изравнају нагибе на ножицама профила, а да се поред њих постављају и обичне подлошке (слика 3.12а).



Слика 3.12 - Распоред делова завртњева у вези са косим странама

3.3.3. Обележавање завртњева

У техничку документацију се уписује ознака завртња, која треба да садржи:

- врсту навоја (М означава завртањ са метричким, а " завртањ са цоловним навојем),
- пречник завртња на месту навоја (d),
- дужину завртња (l),
- класу чврстоће завртња и
- стандард по коме је израђен.

На пример M20x60...5.6 JUS M.B1.068, означава метрички завртањ са називним пречником од 20 mm, дужине 60 mm, израђен према наведеном JUS-у од челика класе чврстоће 5.6. Навртка се обележава ознаком завртња за који се користи, класом и стандардом по коме је

израђена, нпр. навртка M20 5 JUS M.B1.601. Подложна плочица се означава врстом израде (А или Б), пречником рупе и стандардом по коме је израђена, нпр. подлошка А 22 JUS M.B2.015.

На радионичким цртежима се, ради прегледности и избегавања грешака, завртњеви представљају посебним ознакама. Ознаке су стандардизоване и дате су у табели 3.2. Ознаке завртњева дате у првом реду односе се на необрађене завртњеве. Уколико је пречник рупе другачији од уобичајеног ($d_0 = d+1$), тада поред ознаке завртња мора да се упише захтевани пречник рупе. За обрађене завртњеве се ставља допунска ознака, у виду две црте испод стандардне ознаке, као што је приказано у другом реду табеле. Поред ових ознака уведене су и допунске ознаке које детаљније дефинишу уграђени завртањ, као што су:

- једна заставица уколико је рупа за завртањ избушена у радионици, а завртањ уграђен на монтажи (трећи ред у табели 3.2),
- две заставице уколико се на монтажи и буши рупа и врши уградња завртња (четврти ред у табели 3.2),
- полукруг изнад или испод ознаке, код завртњева са полуупуштеном главом, у зависности да ли је полуупуштена глава горе или доле.

Табела 3.2- Означавање завртњева на цртежима

Nazivni prečnik	M12	M16	M20	M22	M24	M27	M30
Osnovne oznake za zavrtnjeve						²⁸ 	³¹ 
Obradeni zavrtnjevi						²⁸ 	³¹ 
Montažni zavrtnjevi						²⁸ 	³¹ 
Montažne rupe i zavrtnjevi						²⁸ 	³¹ 

Као и код закивака, на цртежима у размери 1:10 и ситнијој, приказује се глава завртња ($\approx 1,5 \cdot d_0$), док на цртежима у размери 1:5 и крупнијој, величина ознаке одговара пречнику рупе (d_0).

3.3.4. Класе чврстоће код завртњева

Завртњеви се израђују од челика који су сврстани у одређене класе чврстоће, према JUS-у M.B1.023. Овим класама се дефинишу особине челика: од механичких својстава до хемијског састава. Од механичких својстава најважнија су:

- f_y називна вредност границе развлачења и
- f_u називна вредност чврстоће на затезање.

Класе чврстоће се означавају са два броја који су одвојени тачком. Обични завртњеви се углавном израђују у следећим класама чврстоће: 4.6, 4.8, 5.6, 5.8, 6.8. Први број у ознаци класе чврстоће представља стоти део називне вредности чврстоће на затезање у МПа ($f_u/100$). Други број означава десетоструки однос називне границе развлачења и чврстоће на затезање ($10 \cdot f_y/f_u$). Тако на пример ознака за завртањ класе 5.6 је добијена на следећи начин:

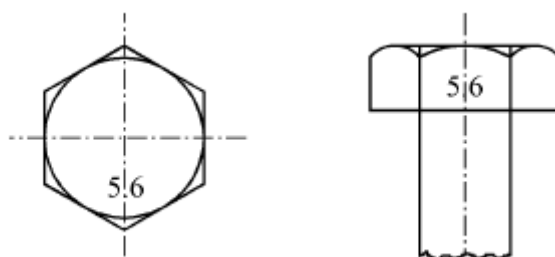
$$\begin{aligned} f_y &= 300 \text{ МПа} & f_u &= 500 \text{ МПа (механичке карактеристике челика)} \\ f_u/100 &= 500 / 100 = 5 & 10 \cdot f_y / f_u &= 10 \cdot 300 / 500 = 6 \end{aligned}$$

На исти начин, на основу ознаке класе чврстоће завртња могу да се одреде поменуте механичке карактеристике челика од кога је израђен завртњак. У табели 3.3 дате су механичке карактеристике за уобичајне класе чврстоће обичних завртњева.

Табела 3.3 - Механичке карактеристике челика за израду обичних завртњева

Klasa čvrstoće	Granica razvlačenja f_y [MPa]	Čvrstoća na zatezanje f_u [MPa]	Izduženje δ_5 [%]
4.6	240	400	22
5.6	300	500	20
6.8	480	600	8

Како класа чврстоће завртња дефинише дозвољена напрезања у завртњу, то је та ознака видно и трајно уграђена на глави завртња (слика 3.13).



Слика 3.13 - Ознака класе чврстоће на глави завртња

3.3.5. Рад веза са завртњевима

Код веза са завртњевима остварује се дисконтинуално спајање елемената конструкције преко одређеног броја тачака. У таквим везама сила се из једног елемента преноси у други помоћу завртњева (слика 3.14а). Равнотежа сила у елементима везе се успоставља напрезањем завртњева на притисак по омотачу рупе. Како су напрезања услед притиска по омотачу рупе управна на осу завртњева и супротних смерова, она на месту промене смера напрезања, односно у равни споја (смицања) изазивају смицање тела завртња.

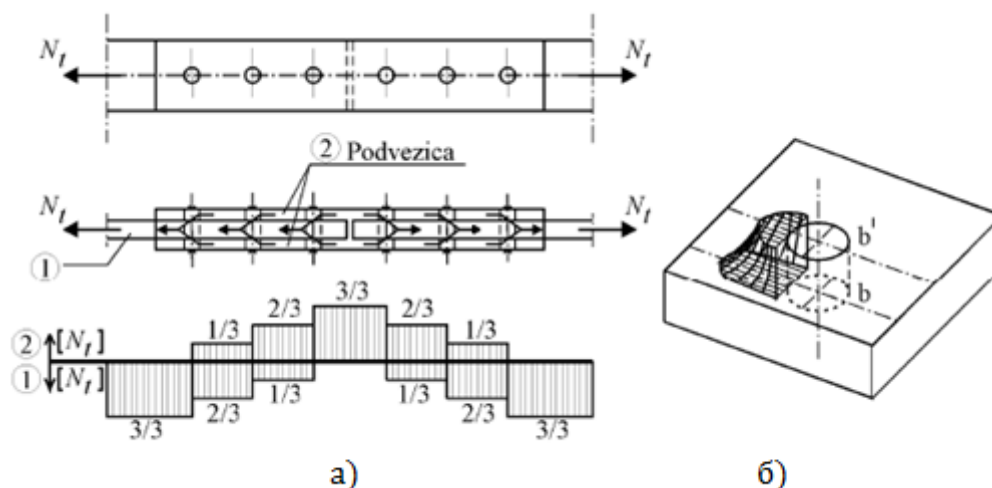
Сила делује у тежишту елемента који се повезује (слика 3.14а). На местима завртњева, она скреће ка тежишту другог елемента у који се преноси смицањем тела завртња. Услед скретања силе, непосредно уз раван споја, долази до повећаног напона притиска по омотачу рупе, који је због тога променљив по дебљини лима. Осим тога, интензитет овог напона је променљив и у радијалном правцу, па стварни дијаграм напона има облик приказан на слици 3.14б.

Ако се посматра један завртњак може се уочити да се преношење силе врши на следећи начин:

– Средњи елемент II врши притисак по омотачу рупе на десном делу тела завртња преко површине а-а (слика 3.15а). Напон притиска је променљивог интензитета дуж завртња (слика 3.15б);

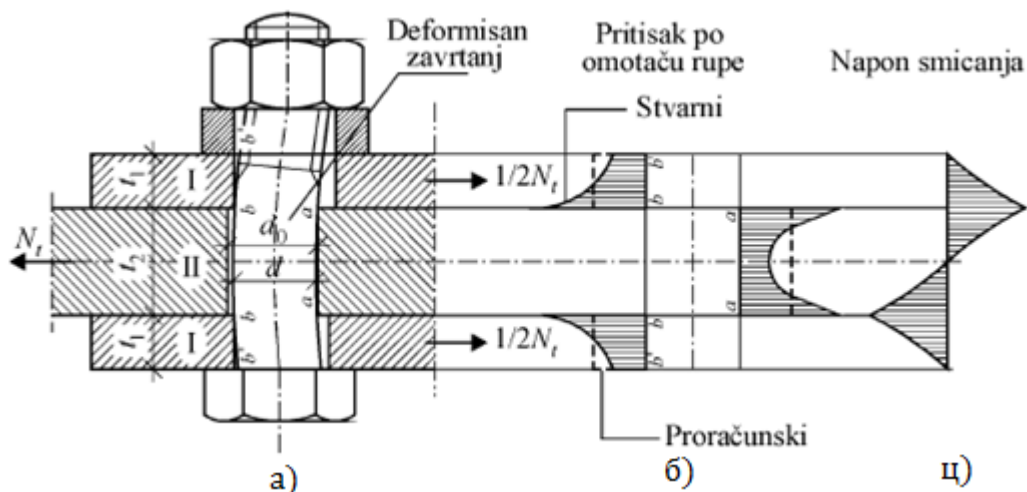
– Сила прелази у елемент И и врши притисак по омотачу рупе на левој страни тела завртња преко површина b-b' (слика 3.15а). Тај притисак је, такође, променљив по висини завртња, а његова максимална вредност је на месту прелаза силе из једног у други елемент (слика 3.15б). Из услова равнотеже се добија да елементи И прихватају исту силу као елемент ИИ, али супротног смера;

– Напрезања дуж завртња проузрокују појаву трансверзалних (смичућих) сила које изазивају смицања у телу завртња (слика 3.15ц). Ове силе су највеће на месту промене смера напрезања, то јест на месту преласка силе из једног у други елемент, односно у равни смицања.



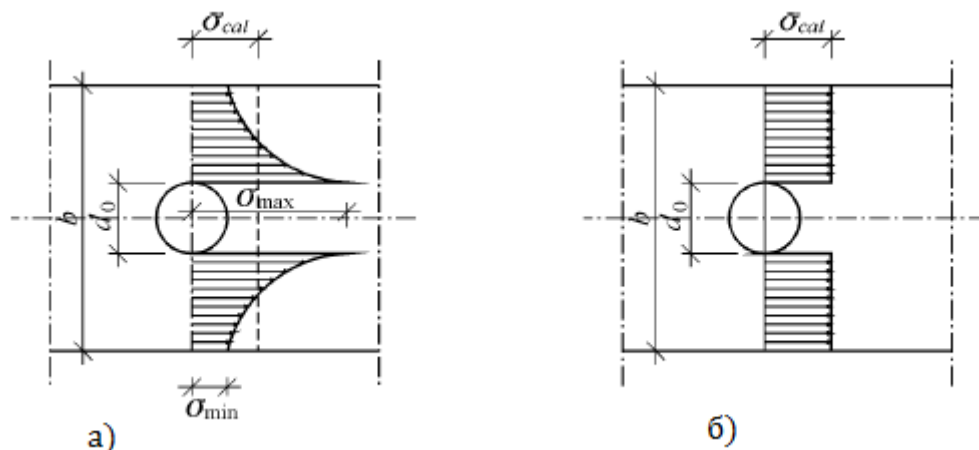
Слика 3.14 - а) Преношење силе у споју; б) Стварни облик дијаграма напона притиска по омотачу рупе

При прорачуну завртњева се, као и у случају закивака усваја констанан распоред напона притиска по омотачу рупе (слика 3.15б), као и константан напон смицања тела завртња у равни смицања. На тај начин се значајно поједностављује прорачун, без битних последица на његову тачност, а самим тим и на поузданост носивости везе.



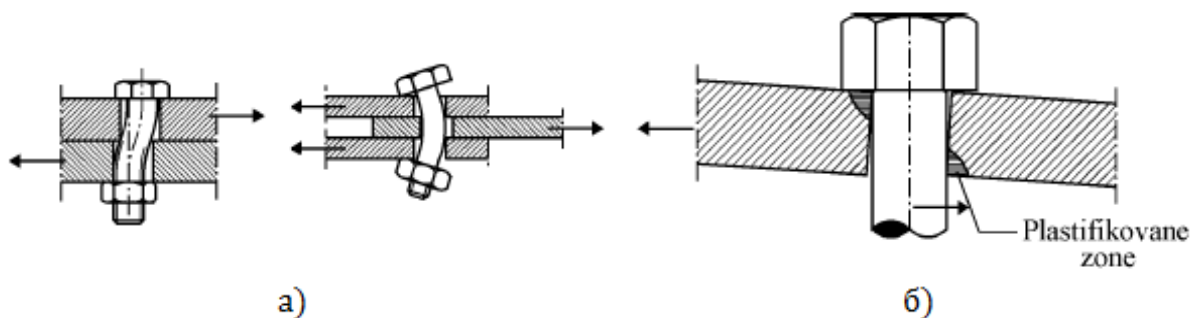
Слика 3.15 - Напрезања завртња у вези

Изван везе, нормални напони у лиму су константни дуж читаве ширине попречног пресека. На месту везе, у пресеку који је ослабљен рупама, долази до појаве концентрације напона у близини рупе (слика 3.16а), који непосредно уз ивицу рупе могу да достигну вредност већу од границе развлачења челика. Како су елементи челичних конструкција углавном израђени од челика са израженим пластичним деформацијама на граници развлачења (тзв. плато пластичности), долази до прерасподеле напрезања у споју и до постепеног ублажавања концентрација напона. При пуној пластификацији попречног пресека, стварни дијаграм напона одговара прорачунском.



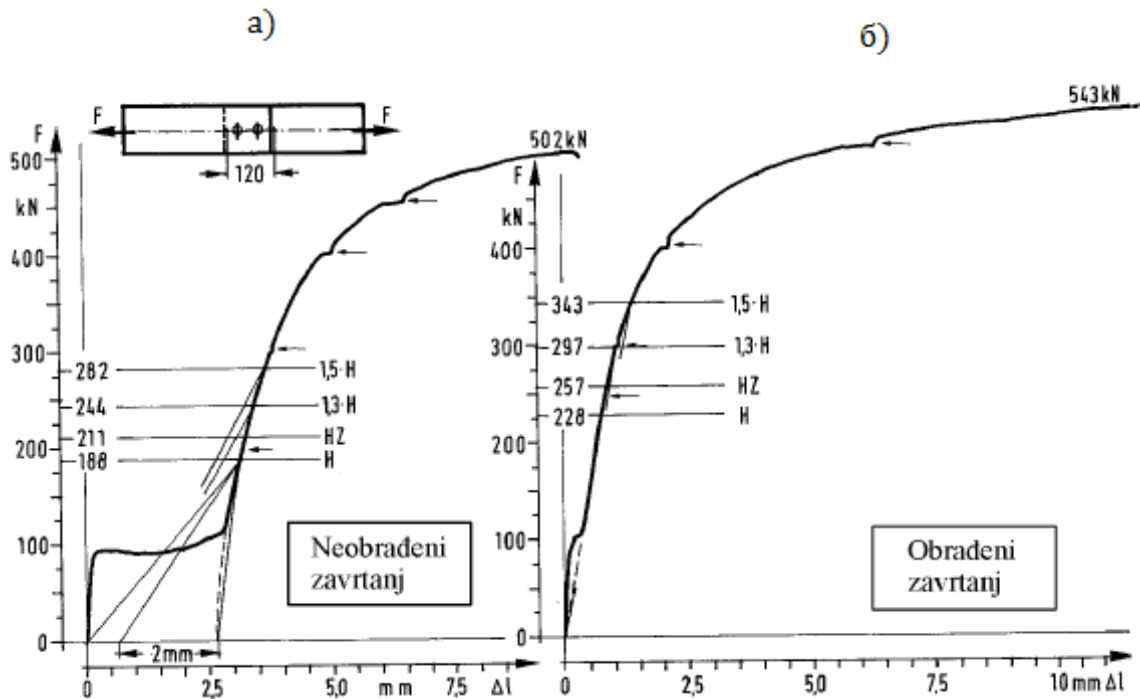
Слика 3.16 - Стварни и прорачунски дијаграми нормалних напона у елементу везе

Код веза изведених необрађеним завртњима, рупа је за 1 или 2 мм већа од тела завртња, што је у складу са толеранцијама за израду и монтажу челичних конструкција, а знатно олакшава поступак монтаже. Због зазора између рупе и тела завртња, сви завртњеве не могу истовремено да остваре контакт са лимовима, услед чега се јавља савијање завртњева у вези (слика 3.17а). Савијање завртњева изазива прераспodelу контактних напона између тела завртња и површине рупе у лиму. На спољашњим површинама лимова јављају се зоне у којима контактни напони достижу вредност границе развлачења челика па долази до њихове пластификације (слика 3.17б). Пластичне деформације лимова омогућавају равномерну прераспodelу сила у вези на све завртњеве.



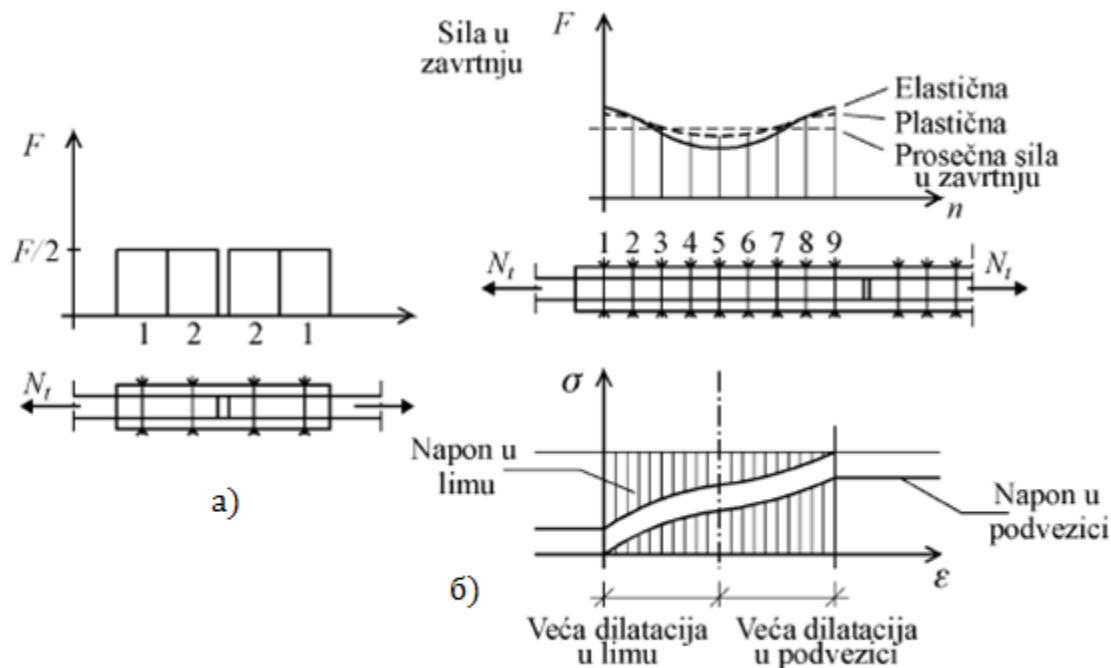
Слика 3.17 - а) Деформације завртњева у везама; б) Пластификација лима у спољашњим зонама

У вези оствареној обрађеним завртњевима оваква деформација завртњева је знатно мања, због малог зазора између завртњева и површине рупе у лиму. У оваквим везама завртњеве, слично закивцима, преузимају подједнак део силе. На слици 3.18 приказани су дијаграми сила-померања ($F - \Delta l$) за везу лимова од челика $\check{C}0562$, остварену са два необрађена (слика 3.18а), односно обрађена завртња (слика 3.18б). Очигледна је разлика у раду везе. Код прве везе уочљива су значајна почетна померања у вези услед савијања завртњева, док су код другог типа везе ова померања занемарљива. Граничне носивости ових веза се разликују само за 10%, али је деформабилност прве везе знатно већа.



Слика 3.18 - Дијаграм $F - \Delta l$ за везу са: а) необрађеним; б) обрађеним завртњевима

Деформација завртњева у вези, издужења елемената везе и број завртњева имају доминантан утицај на расподелу сила у завртњевима. Код веза са два завртња у правцу силе (слика 3.19а) оба завртња су подједнако напрегнута, односно сваки од њих прима по половину силе. Са повећањем броја завртњева у правцу силе, нарушава се равномерна расподела сила по завртњевима. Ако у вези постоји три завртња, крајњи завртњеви примају већи, а средњи мањи део укупне силе. Експериментално је утврђено да је, код веза са већим бројем завртњева, расподела сила неравномерна и симетрична у одосу на средину везе (слика 3.19б). Завртњеви у средини примају мањи део силе од крајњих завртњева. Међутим, услед пластичних деформација у вези долази до прерасподеле сила, па се, за везе које имају највише шест завртњева у реду, може сматрати да сви завртњеви прихватају подједнак део силе. Код веза са већим бројем завртњева, неравномерна расподела сила у завртњевима је знатно израженија (слика 3.19б). Ова појава неравномерне расподеле сила мора да се узме у обзир при одређивању носивости завртњева на смицање.



Слика 3.19 - Расподела сила у завртњевима у зависности од броја завртњева у правцу силе

3.4. Високоведни завртњеви

3.4.1. Опште о високоведним завртњевима

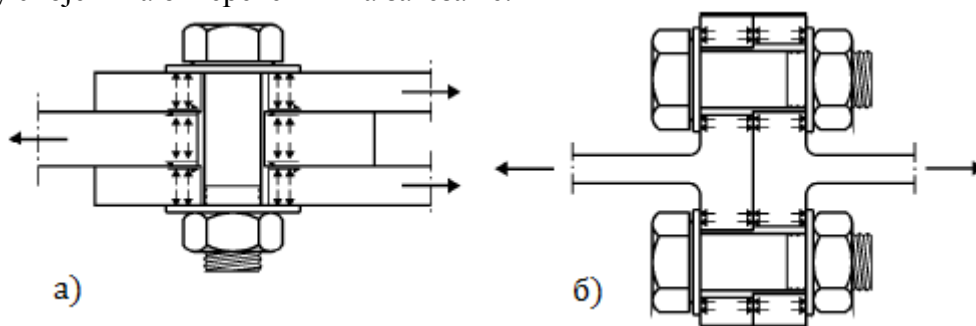
Обични завртњеви су због једноставног извођења и релативно ниске цене нашли веома широку примену у челичним конструкцијама. Међутим, код изузетно напрегнутих спојева, а посебно код спојева изложених дејству динамичког оптерећења, њихова примена није оправдана због следећих недостатака:

- услед деформисања тела завртњева и пластичних деформација елемената споја долази до померања у самом споју, што изазива повећање укупне деформације конструкције,
- услед савијања завртњева долази до значајног смањења њихове носивости, а редукација носивости је највећа код динамички напрегнутих конструкција и конструкција са алтернативним оптерећењем,
- код затегнутих елемената, због бушења рупа за завртњеве, долази до смањења бруто површине попречног пресека, а на ивицама рупа долази до концентрације напона,
- због мале носивости на затезање у правцу осе завртња и велике деформабилности (издужења), обични завртњеви се не могу ефикасно примењивати у затезућим спојевима,
- услед рада везе може да дође до неконтролисаног одвртања навртке завртња, па је неопходна повремена контрола спојева, или уградња додатних осигурача.

Наведени недостаци могу успешно да се отклоне применом завртњева израђених од челика високе класе чврстоће, који се приликом уградње преднапрежу контролисаном силом затезања. Ови завртњеви су у техничкој литератури познати као преднапрегнути високоведни завртњеви. Уношење силе преднапрезања великог интензитета у завртњеве омогућено је употребом челика високог квалитета, са техничком границом развлачења која се, за високоведне завртњеве уобичајених класа чврстоће, креће у опсегу од 640 до 1080 МПа. Сила преднапрезања, која изазива затезање тела завртња, преко навртке, подлошке и главе завртња, врши притезање елемената у споју. Између притиснутих површина се јављају силе трења које преносе смичућу силу у споју (слика 3.20а). Све док је спољашња сила смицања мања од силе трења која се јавља у контактном споју, у везама са преднапрегнутим високоведним завртњевима, међусобна померања елемената везе су занемарљиво мала. На основу овога се

може закључити да се применом преднапрегнутих високовредних завртњева знатно смањује деформабилност везе и повећава отпорност на замор код динамички оптерећених конструкција, наравно, под условом да су завртњеви димензионисани тако да не дође до проклизавања под дејством експлоатационог оптерећења. Осим тога, отпада и могућност неконтролисаног одвијања навртке.

Носивост високовредних завртњева у затежућим спојевима је знатно већа од носивости обичних завртњева, делимично због квалитетнијег материјала од којег су начињени, а делимично због другачијег понашања под дејством спољашње силе затезања. Наиме, до значајног прираста силе затезања код преднапрегнутих завртњева долази тек након савлађивања контактнoг притиска између елемената споја (слика 3.20б). Самим тим деформабилност везе је знатно смањена, па се преднапрегнути високовредни завртњеви, за разлику од обичних, веома успешно користе и у спојевима оптерећеним на затезање.



Слика 3.20 - Пријем сила у спојевима са преднапрегнутим високовредним завртњевима

Према томе, применом претходно напрегнутих високовредних завртњева могу ефикасно да се отклоне сви недостаци уочени код обичних завртњева, па је разумљива њихова велика примена, посебно у одговорним челичним конструкцијама.

Примена високовредних завртњева у челичним конструкцијама започела је у САД-у после другог светског рата приликом замене дотрајалих закивака на мостовима. Године 1948. је изведен први мост на којем су примењени високовредни завртњеви у монтажним наставцима, а 1951. године су издати први прописи о њиховој примени. Први резултати су били задовољавајући у смислу доброг пријема сила у вези. Примена ових завртњева се убрзо показала веома повољном и са економског становишта, јер је укупна цене везе са преднапрегнутим високовредним завртњевима мања у поређењу са везом оствареном закивцима. Осим тога, извођење веза са преднапрегнутим завртњевима је знатно брже и једноставније. У Европи њихова примена почиње 1952. године на замени дотрајалих закивака на мостовима. Код нас се први пут примењују 1964-1965. године при изradi стубова пилона кабл-крана ХЕ "Ћердап" и на мосту преко Прерачице 1966. године. У првим годинама примене ових завртњева, нарочито на мостовима, јављали су се озбиљни проблеми који су изазвали сумњу у квалитет тих спојева. Највећи проблем је представљало проклизавање веза већ при пробном оптерећењу. То проклизавање веза је стварало јаки прасак и има изразито неповољан психолошки ефекат јер се доживљава као катастрофа објекта. Међутим, ови проблеми су успешно отклоњени и данас су преднапрегнути високовредни завртњеви незамењиво спојно средство, како у зградарству тако и у мостоградњи.

Поред већ наведених, несумњивих предности високовредних завртњева, постоје и неки недостаци од којих су најважнији следећи:

- већа цена у односу на обичне завртњеве,
- захтевана посебна обрада и конзервирање тарних површина у споју,
- неопходна стална контрола квалитета завртњева и уређаја за уношење силе преднапрезања, као и коефицијента трења, непосредно на градилишту.

Високовредни завртњеви, такође, могу да се користе и без преднапрезања. У том случају њихово понашање и прорачун у потпуности су исти као и код обичних завртњева. Једина разлика

је у допуштеним напонима који су код високовредних завртњева већи, с обзиром на бољи квалитет челика од кога су израђени. Примењују се у смичућим (СС и ССТ), затежућим (ЗС) и комбинованим спојевима (КС). У зависности од врсте напрезања и начина преношења силе у вези, спојеви са преднапрегнутим високовредним завртњевима могу да се поделе на:

- тарне спојеве (ТС), код који се сила са једног на други елемент преноси помоћу трења између елемената споја,
- тарне спојеве са тачним налегањем (ТСТ), код којих се спољашња смичућа сила преноси трењем и смицањем тела упасованих завртњева,
- затежуће спојеве (ЗС), код којих се пренос силе са једног елемента на други обавља затезањем завртња у правцу његове подужне осе,
- комбиноване спојеве (КС), који представљају комбинацију ТС или ТСТ и ЗС спојева.

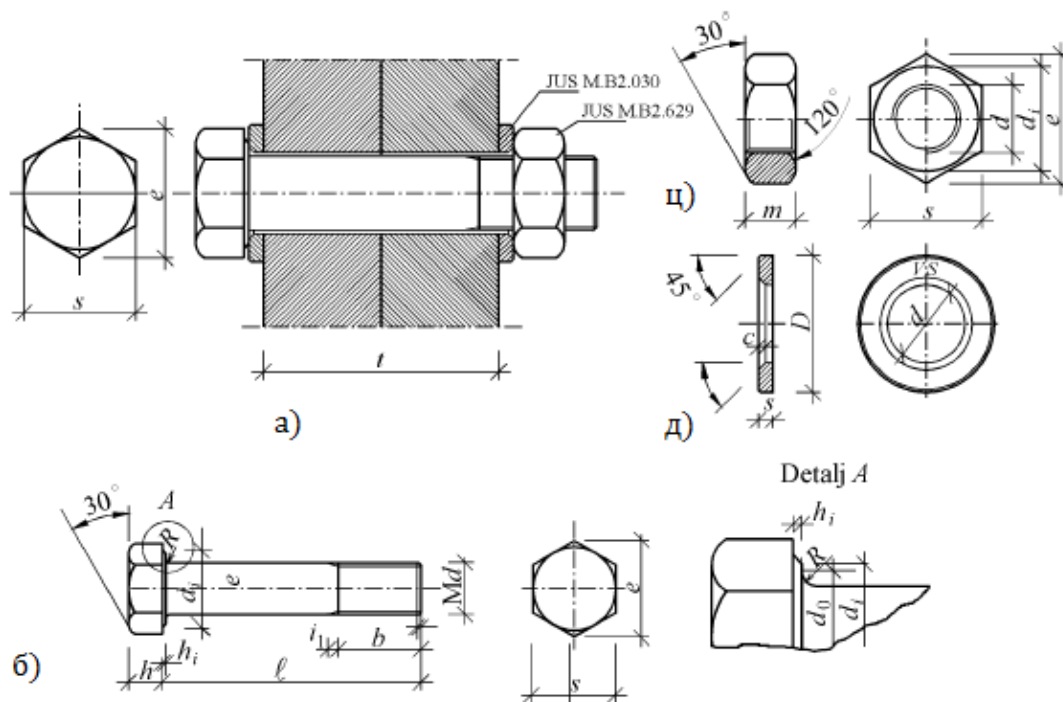
3.4.2. Облик и димензије високовредних завртњева

Један комплет високовредног завртња (слика 3.21а) чине следећи делови:

- цилиндрично тело које се на једном крају завршава шестоугаоном главом, а на другом крају навојем чије су димензијаме дате у ЈУС-у М.В1.066 (слика 3.21б),
- шестоугаона навртка са отвором у средини и навојем у унутрашњем делу отвора, са димензијама према ЈУС-у М.В1.629 (слика 3.21ц) и
- подложне плочице (подлошке) кружног облика са отвором у средини, чије димензије су дате у ЈУС-у М.В2.030 (слика 3.21д).

Димензије свих делова завртња су стандардизоване. За грађевинске конструкције се употребљавају завртњеви са основним димензијама делова датим у табели 3.4.

Подложне плочице имају функцију да спрече ослањање навоја на зидове рупе приликом притезања навртке и да омогуће боље налегање главе завртња која, на том месту, има заобљење. Оне се увек постављају и испод навртке и испод главе високовредних завртњева. Код преднапрегнутих високовредних завртњева дебљина подлошке варира између 3 и 6 mm. У случају високовредних завртњева без силе притезања, као и код обичних завртњева, примењују се подложне плочице дебљине 8 mm. Због великих контактних напона притиска између подлошке и навртке, оне су додатно површински обрађене ради повећања тврдоће.



Слика 3.21 - Високовредни завртња: а) комплетан завртња у вези; б) тело завртња; ц) навртка; д) подлошка

Табела 3.4- Основне димензије делова високовредног завртња

Oznaka dimenzije	M12	M16	M20	M22	M24	M27	M30
<i>b</i>	21-23	26-28	31-33	32-34	34-37	37-39	40-42
<i>e</i>	23,91	29,56	35,03	39,55	45,20	50,85	55,37
<i>h</i>	8	10	13	14	15	17	19
<i>s</i>	22	27	32	36	41	46	50
<i>R</i>	1,2	1,2	1,5	1,5	1,5	2,0	2,0
Navrtka							
<i>m</i>	10	13	16	18	19	22	24
Podloška							
<i>d</i>	13	17	21	23	25	28	31
<i>D</i>	24	30	37	39	44	50	56
<i>s</i>	3	4	4	4	4	5	5

Навој код високовредних завртњева мора да буде направљен ваљањем (сабијањем), а не нарезивањем. Том приликом се материјал само пластично деформише и не долази до пре кида влакана већ до њиховог згушњавања. Такав навој има предности у односу на нарезани навој, јер се штеди сировински материјал, скраћује време производње, смањује коефицијент концентрације напона у корену навоја и добија глатка површина, чиме се смањује коефицијент трења са навојем навртке.

Дужина завртња зависи од укупне дебљине пакета елемената који се спајају (*t*) и од пречника примењеног завртња. Стандардне дужине завртњева се разликују за по 5 mm и дате су у табели 3.5.

Табела 3.5 - Дужине високовредних завртњева у функцији дебљине пакета

Dužina <i>ℓ</i>	M12	M16	M20	M22	M24
	Дебљина веze (<i>t</i>)				
30	6-10				
35	11-15				
40	16-20	10-14			
45	21-23	15-19	10-14		
50	24-28	20-24	15-19	14-18	
55	29-33	25-29	20-24	19-23	
60	34-38	30-34	25-29	24-28	22-26
65	39-43	35-39	30-34	29-33	27-31
70	44-48	40-44	35-39	34-38	32-36
75	49-53	45-47	40-44	39-43	37-41
80	54-58	48-52	45-49	44-48	42-46
85	59-63	53-57	50-54	49-53	47-51
90	64-68	58-62	55-57	54-56	52-53
95	69-73	63-67	58-62	57-61	54-58
100		68-72	63-67	62-66	59-63

Према тачности израде тела завртња и високовредни завртњеви, као и обични могу да буду: обрађени и необрађени. Обрађени завртњеви захтевају финију израду, па се код њих обрадом на стругу постиже да разлика између пречника рупе и тела завртња ($\Delta d = d_0 - d$) не буде већа од 0,3 mm. Код необрађених завртњева разлика између пречника рупе и тела завртња зависи од врсте споја, тако да је:

- код тарних спојева (ТС) $0,3 < \Delta d = d_0 - d \leq 3,0 \text{ mm}$,
- код смичућих спојева (СС) $0,3 < \Delta d = d_0 - d \leq 1,0 \text{ mm}$.

Облици и димензије високовредних завртњева се разликују од обичних завртњева. Код високовредних завртњева је изражено заобљење на прелазу тела завртња у главу завртња, како би се смањила концентрација напона услед силе преднапрезања у телу завртња. Почетак навоја код високовредних завртњева треба да буде у спојном пакету, или да се, у најгорем случају, налази у оквиру подлошке непосредно уз спољшњу ивицу елемента споја, како би могло да се изврши преднапрезање. Подложне плочице имају оборене ивице, да би се остварило што боље налегање.

3.4.3. Обележавање високовредних завртњева

Ознака високовредног завртња која се уписује у техничку документацију треба да садржи следеће податке:

- врсту навоја (М за метрички, односно " за цоловни навој),
- пречник завртња на месту навоја (d),
- дужину завртња (l),
- класу чврстоће челика од којег је завртањ израђен и
- стандард по коме је завртањ израђен.

Ознаком М 20х60...10.9 JUS M.B1.066 се, на пример, представља завртањ са метричким навојем чији је називни пречник 20 mm, а дужина 60 mm и који је израђен према наведеном стандарду од челика класе чврстоће 10.9. Навртка се означава ознаком завртања за који се користи, класом и стандардом по коме је израђена, као нпр. навртка М20 10 JUS M.B1.629. Подложна плочица се означава степеном обраде (нпр. класа А), пречником рупе и стандардом по коме је израђена, као нпр. подлошка А 22 JUS M.B2.030.

На радионичким цртежима се, ради прегледности и избегавања грешака, високовредни завртњеви представљају посебним ознакама. Ознаке су стандардизоване и приказане су у табели 3.6.

Табела 3.6 - Означавање високовредних завртњева на цртежима

Vrsta zavrtnja	Zazor	M12	M16	M20	M22	M24	M27	M30
Zavrtnjevi bez tačnog naleganja	$\Delta d \leq 1,0 \text{ mm}$							
Zavrtnjevi sa tačnim naleganjem	$\Delta d \leq 0,3 \text{ mm}$							
Dodatne oznake								
Montažni zavrtnjevi								
Montažne i rupe i zavrtnjevi								

Основне ознаке завртњева дате су у првом реду и односе се на необрађене завртњеве код којих је зазор $\Delta d \leq 1,0 \text{ mm}$. Уколико се предвиђа другачији зазор тада поред основне ознаке мора да се нагласи захтевани зазор (нпр. $\Delta d=2 \text{ mm}$). Код завртњева са тачним налагањем, испод основне ознаке се додају две паралелне хоризонталне цртице. Овим ознакама могу да се додају и додатне ознаке које прецизније дефинишу начин уградње завртња. Уколико се рупа буши у радионици, а завртањ уграђује на монтажи, тада основној ознаци треба да се дода једна заставица. Уколико се и рупа буши на градилишту, тада се додају две заставице.

Уколико се цртежи раде у размери 1:10, или мањој, тада се на њима црта пречник главе завртња, а уколико се раде у размери 1:5 или у крупнијој, тада се црта пречник рупе за завртњеве.

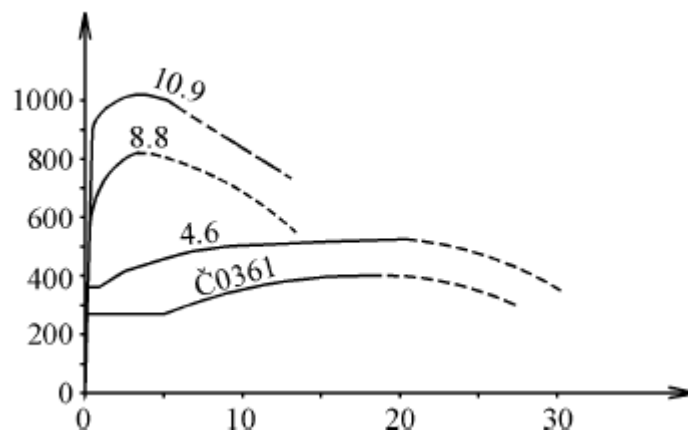
3.4.4. Класе чврстоће

Високовредни завртњеви се израђују од челика високе чврстоће. Процесом производње навоја завртња, ваљањем у хладном стању, долази до ојачања челичног материјала услед делимичне прекристализације. На тај начин се повећава тврдоћа и затезна чврстоћа, а смањује жилавост и дуктилност челика. Овакви челици немају изражену границу развлачења и плато пластичности, па се код њих почетак пластификације може дефинисати техничком (конвенцијалном) границом развлачења, која заправо представља нормални напон при којем заостала, пластична деформација износи 0,2%. Високовредни челици имају мање издужење при лому (δ_5) у односу на меке конструкционе челике (Ћ0361). У носећим челичним конструкцијама се примењују високовредни завртњеви израђени од челика класе чврстоће 8.8, 10.9 и 12.9, чије су механичке карактеристике приказане у оквиру табеле 3.7.

Табела 3.7- Механичке карактеристике челика који се користе за израду високовредних завртњева

Класа чврстоће	Техничка (konvencijalna) granica razvlačenja $f_{0.2}$	Затезна чврстоћа f_u	Издужење δ_5	Ударна жилавост на 0°C
	[MPa]	[MPa]	(%)	[J]
8.8	640	800	12	30
10.9	900	1000	9	20
12.9	1080	1200	8	15

На основу радних $\sigma - \epsilon$ дијаграма за челике класе чврстоће 8.8 и 10.9 (слика 3.22) могу најједноставније да се уоче разлике њихових механичких својстава у односу на меке челике. Како класа чврстоће завртња дефинише дозвољена напрезања у завртњу, то њена ознака мора да буде видно и трајно уграђена на глави завртња.



Слика 3.22 - Поређење радних $\sigma - \epsilon$ дијаграма челика различитих класа чврстоће са меким конструкционим челиком (Č0361)

3.4.5. Уношење силе преднапрезања

Сила преднапрезања (у литератури се користи и израз сила притезања) је један од најважнијих фактора од којих зависи носивост спојева са преднапрегнутим високовредним завртњевима. Остваривање силе преднапрезања, односно притезање спојних елемената се остварује увртањем навртке завртња. При томе се у завртњу, као примарно напрезање, јавља сила затезања услед његовог издужења. Осим аксијалних напона услед силе затезања у завртњу се јављају и смичући напони услед момента торзије који је последица трења између навртке и навоја завртња и између навртке и подлошке. Овај момент торзије је секундарни (нежељени) утицај, мада у неким случајевима његова вредност може да достигне и 40% вредности момента којим се уврће навртка (M_u). Према томе, преднапрегнути високовредни завртњеви се налазе у сложенем напонском стању. Како не би дошло до отпуштања силе преднапрезања, не сме се дозволити да упоредни напон у завртњу, добијен на основу Мизесовог услова пластификације, прекорачи границу еластичности. Анализом напрезања тела завртња утврђена је максимална дозвољена сила преднапрезања која може да се унесе у завртањ, а да он при том остане у еластичној области понашања. Она је дата изразом:

$$F_p = v_1 \cdot f_{02} \cdot A_s$$

где су:

v_1 коефицијент редукције ($v_1 < 1,0$) којим се омогућава да напрезања у завртњу остану у граници еластичности,

f_{02} техничка (конвенционална) граница развлачења челика,

A_s површина испитног пресека завртња.

Вредности силе преднапрезања за високовредне завртњеве класе чврстоће 10.9 су дате у табели 3.8. Сила преднапрезања за завртњеве класе 8.8 и 12.9 може да се одреди множењем вредности из табеле 3.8 фактором $\gamma = 0,7$, односно $\gamma = 1,2$, респективно.

Табела 3.8 - Вредности силе преднапрезања за завртњеве класе чврстоће 10.9

d	A_t	f_{02}	F_p [kN]		M_u [Nm]
[mm]	[mm ²]	[N/mm ²]	$v_1=0,7$	$v_1=0,8$	za $k=0,16$
M12	84,3	900	53	61	102
M16	157		99	113	253
M20	245		154	176	493
M22	303		191	218	672
M24	353		222	254	852
M27	459		289	330	1495
M30	561		353	404	1694
M33	694		437	500	2307

Сила затезања у завртњу, преко главе завртња и навртке, врши притисак на елементе споја, па долази до њиховог притезања (преднапрезања). Од интензитета силе преднапрезања директно зависи носивост и смичућих и затежућих спојева. Због тога поузданости притезања елемената треба обратити посебну пажњу. Приликом окретања навртке и истезања завртња, не постоји могућност да се директно мери сила преднапрезања. Контрола интензитета силе преднапрезања може да се оствари индиректно, мерењем неких других величина. Поступци који се најчешће примењују су:

- мерење величине момента којим је извршено притезање завртња,
- мерење моментног импулса којим се окреће навртка,
- мерење величине угла за који је окренута навртка,
- мерење издужења завртња,
- поступак са индикаторском подлошком.

Код нас се најчешће примењује поступак са мерењем момента увртања навртке. Он се заснива на познавању зависности између момента увртања (M_u) и силе преднапрезања (F_p), која може да се напише у следећем облику:

$$M_u = F_p \cdot d \cdot k$$

где су:

d називни пречник завртња,

F_p остварена сила преднапрезања и

k коефицијент који зависи од стања површина навоја.

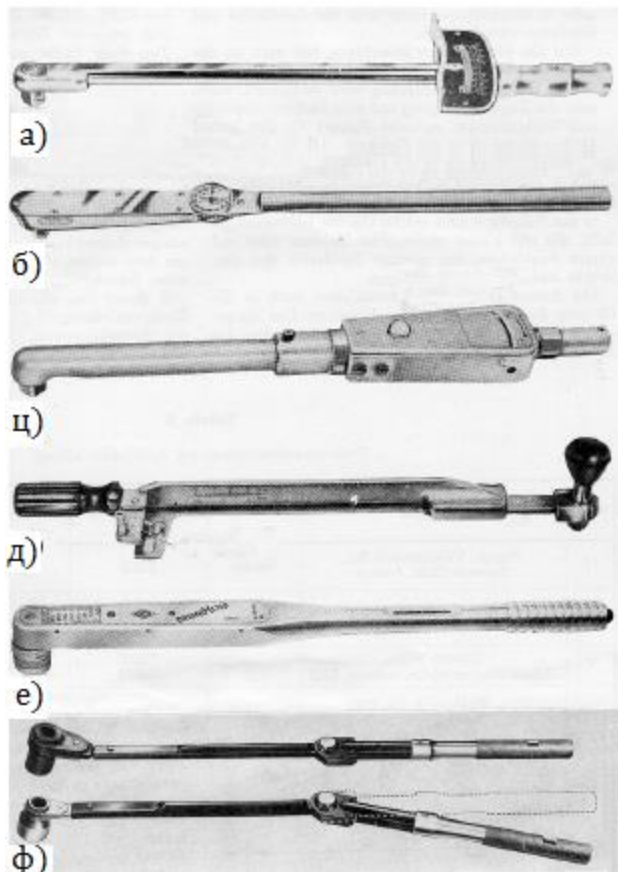
Коефицијент k зависи од трења између навртке и навоја завртња, и између навртке и подложне плочице, као и од димензија подложне плочице и геометрије навоја. Вредности овог коефицијента се крећу у распону од 0,13-0,17, а одређује их произвођач који је дужан да их упише у атестну документацију. Код одговорних конструкција вредност овог коефицијента се одређује лабораторијским испитивањем на лицу места. Што је вредност коефицијента k мања то је потребан мањи момент увртања да би се остварила жељена сила преднапрезања, па се често површине навоја премазују различитим средствима како би се смањио отпор при преднапрезању, што директно утиче на смањење коефицијента k и момента увртања навртке (M_u). Ове површине могу да буду додатно заштићене топлим цинковањем, метализацијом, или премазом молбиден-дисулфида (MoS_2). Начин и време складиштења завртњева, такође, битно утичу на стање површина навоја.

Од тачности коефицијента k директно зависи вредност силе преднапрезања, а индиректно и носивост споја. Уколико је стварна вредност коефицијента k већа од предвиђене, у завртњу ће се остварити мања сила преднапрезања, па је и носивост споја мања. У супротном, ако је вредност

коэффициента k прецењена, може да дође до пластификације и лома завртња при преднапрезању. Од вредности коэффициента k зависи и интензитет секундарних смичућих напона у завртњу изазваних моментом торзије. При прорачуну се то узима у обзир преко вредности коэффициента редукације и то на следећи начин:

$$v_1 = \begin{cases} 0,7 & \text{za } k < 0,14 \\ 0,8 & \text{za } k \leq 0,14 \end{cases}$$

Увртање навртке се изводи помоћу моментних кључева (слика 2.48). Ови кључеви се претходно баждаре у лабораторији, а конструисани су тако да када се оствари захтевани момент увртања, дају светлосни или звучни сигнал, или се пак аутоматски ислучују, како не би дошло до прекомерног напрезања завртња. Вредности момената увртања (M_u) за уобичајену вредност коэффициента k дате су у табели 3.12.

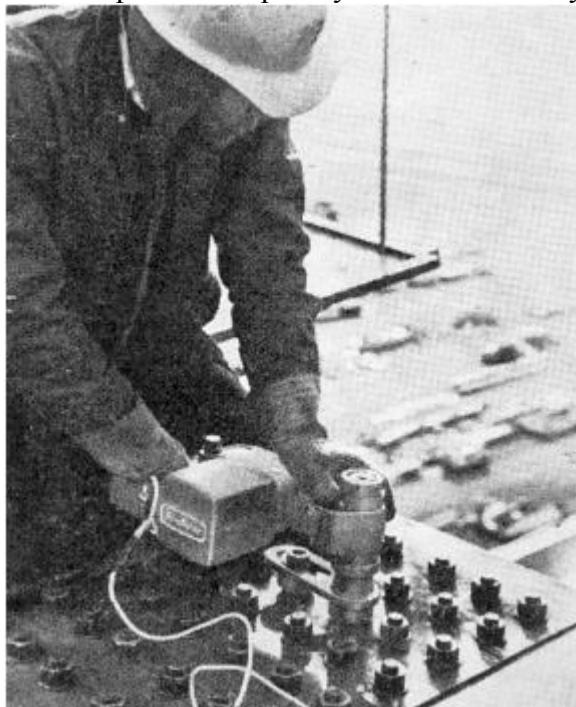


Слика 3.23 - Различити типови моментних кључева: а) и б) са скалом; в) са светлосним сигналом; д) и е) са звучним сигналом; ф) са механичким искључивањем

Поступак са мерењем моментног импулса се заснива на радијалним једновременим ударима супротног смера на ивице навртке. То се постиже помоћу пнеуматских затезача (слика 3.24) са ваздухом под притиском од 5-6 бара. Овај поступак се примењује код мање значајних конструкција, јер су могућа већа одступања добијених резултата. Код значајних конструкција, завртњеви могу прво да се притегну овим затезачем на 70-80% потребне силе, а затим да се до потребне силе дотегну моментним кључем.

Поступак са читавањем угла окретања елиминише утицај коэффициента k на тачност остварене силе притезања. По овом поступку прво се сви завртњеви у споју притегну претходним моментом увртања, чија вредност износи 10% од вредности M_u ($\overline{M_u} = 0,1 \cdot M_u$), да би дошло до доброг налегања елемената у споју. Затим се окреће навртка за одређени угао γ у зависности од дебљине пакета (t). Нумеричке вредности ових величина, за завртњеве класе 10.9, дате су у табели 3.9.

Поступак мерења издужења завртња се примењује у лабораторијским условима и на градилишту уколико се обезбеде услови за тачно мерење издужења завртња. Издужење завртња се мери механичким, или електричним мерним инструментима. Из измереног издужења се Хуковим законом директно добија сила у завртњу. Како завртањ по својој дужини има различите попречне пресеке, то претходно мора да се одреди удео сваког дела у укупном издужењу.

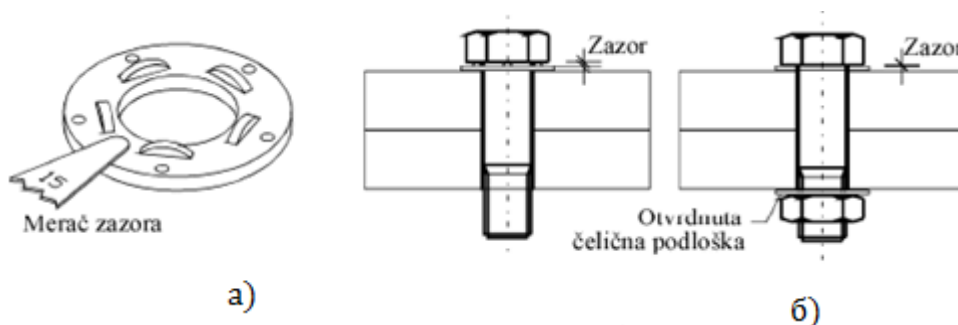


Слика 3.24 - Пнеуматски затезачи

Табела 3.9 - Вредности угла окретања φ

d	$\bar{M}_u$	debljina paketa t		ugao okretanja φ
[mm]	[Nmm]	[mm]		[°]
M12	10	Za sve zavrtnjeve M12-M30	0-50	180°
M16	25			
M20	50			
M22	70		50-100	240°
M24	90			
M27	150			
M30	170		100-240	270°

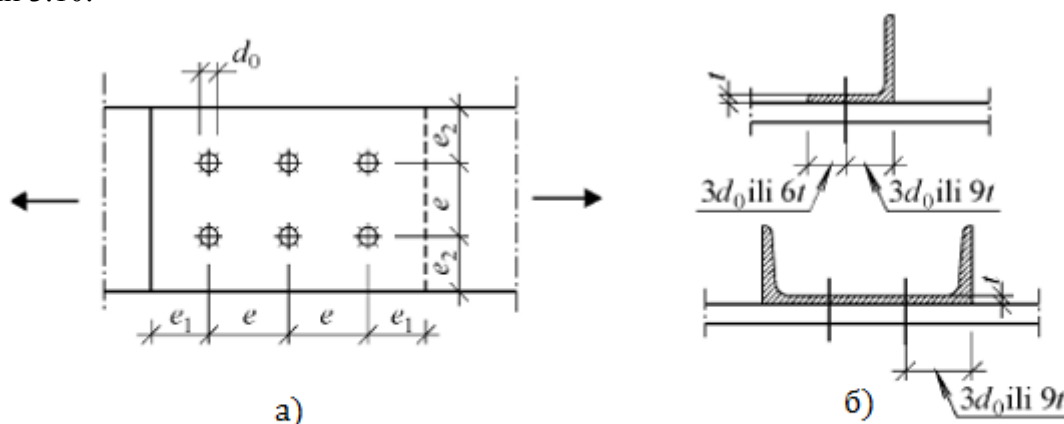
Поступак са индикаторском подлошком се користи у Великој Британији. Подлошка од челика повишеног квалитета приликом производње добија, истискивањем, брадавице одређене висине (слика 3.25а). Њихове димензије су одређене тако да је за њихово утискивање потребна сила која је једнака потребној сили преднапрезања у завртњу. Поступак је врло једноставан за извођење: није потребно баждарење алата за притезање и квалификована радна снага. На градилишту радник врши притезање навртке све док се брадавице не утисну, што се региструје мерењем зазора (слика 3.25б).



Слика 3.25 - Завртњеви са индикаторском подлошком

3.4.6. Распоред закивака и завртњева у вези

При конструисању везе са механичким спојним средствима, треба водити рачуна о њиховом међусобном растојању, као и растојању између ивица елемената који се спајају и спојних средстава. Уколико је растојање између два суседна закивка или завртња мало, тада долази до смицања (цепања) лима, а уколико је много велико, веза је дугачка, па је изражена нелинеарна расподела сила у спојним средствима. Минимална и максимална растојања између завртњева су дефинисана стандардом ЈУС У.Е7.145/1987. Она зависе од пречника завртња и од правца деловања силе (слика 3.28). Вредности минималних и максималних растојања су дате у табели 3.10.



e растојање између два суседна завртња

e_1 растојање између завртња и ивице елемента који се спаја, у правцу деловања силе

e_2 растојање између завртња и ивице елемента који се спаја, управно на правцу деловања силе

Слика 3.28 - Распоред закивака и завртњева у споју

Минимално међусобно растојање између завртњева (закивака) се одређује тако да се омогући њихова несметана уградња и да њихова носивост не буде условљена цепањем (смицањем) лима између суседних спојних средстава (слика 3.29а). Из услова једнакости носивости завртња на притисак по омотачу рупе и носивости лима на смицање, може да се одрази минимално растојање суседних завртњева у правцу деловања силе. Ова једнакост може да се напише у следећем облику:

$$2 \cdot (e - d) \cdot t \cdot \tau_{dop} = d \cdot t \cdot \sigma_{b,dop}$$

Ако се допуштени напони смицања основног материјала ($\tau_{dop} = k_1 \cdot \sigma_{dop}$) и притиска по омотачу рупе ($\sigma_{b,dop} = k_2 \cdot \sigma_{dop}$) изразе у функцији допуштеног напона за основни материјал и уврсте у претходну једнакост добија се:

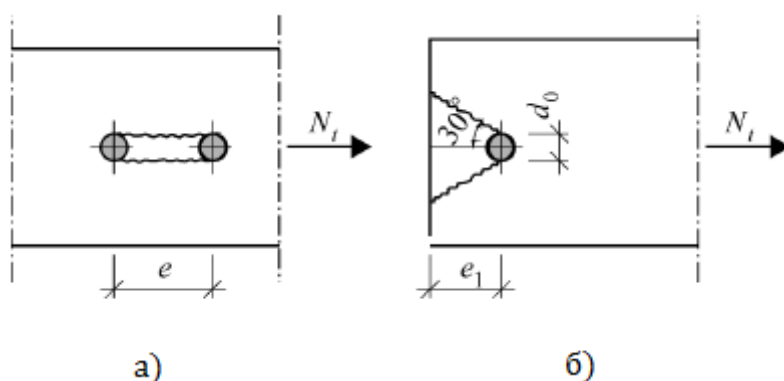
$$2 \cdot (e - d) \cdot t \cdot k_1 \cdot \sigma_{dop} = d \cdot t \cdot k_2 \cdot \sigma_{dop}$$

па је минимално растојање:

$$e = \left(1 + \frac{k_2}{2 \cdot k_1}\right) \cdot d$$

Табела 3.10 - Растојања закивака и завртњева у вези

Opis растојања	Min.	Maksimalno	
Rastojanje između susednih zavrtњева u pravcu i upravno na pravac delovanja sile e	$3d_0$	Za noseće zakivke i zavrtњеve, konstruktivne zakivke i zavrtњеve u pritisnutim štapovima i ukrućenjima rebara	$8d_0$ или $15t$
		Za konstruktivne zakivke i zavrtњеve u zategnutim štapovima i za vezu rebra i nožice izvan nastavka kod limenih nosača	$12d_0$ или $25t$
Rastojanje između zavrtњева i ivice elementa u pravcu delovanja sile e_1	$2d_0$	Kada je ivica ukrućena, odnosno previjena (slika 2.56b)	$3d_0$ или $9t$
		U ostalim slučajevima	$3d_0$ или $6t$
Rastojanje između zavrtњева i ivice elementa upravno na pravac delovanja sile e_2	$1,5d_0$	Kada je ivica ukrućena, odnosno previjena (slika 2.56b)	$3d_0$ или $9t$
		U ostalim slučajevima	$3d_0$ или $6t$



Слика 3.29 - Одређивање минималног растојања у правцу деловања силе: а) између суседних завртњева; б) између завртњева и ивице елемента

Коефицијент k_1 представља количник допушеног напона смицања и допушеног нормалног напона за основни материјал и приближно је једнак $k_1 = 1/\sqrt{3} \approx 0,58$, док коефицијент k_2 дефинише однос између допушеног напона притиска по омотачу рупе и допушеног нормалног

напона и износи 1,7 за обичне, односно 2,0 за обрађене завртњеве. Са овако дефинисаним вредностима коефицијената k_1 и k_2 се добија:

$$e = \begin{cases} 2,47 \cdot d & \text{за neobrađene zavrtњеve} \\ 2,73 \cdot d & \text{за obrađene zavrtњеve} \end{cases}$$

У прописима је усвојено $e = 3 \cdot d_0$. За статичке, носеће закивке и завртње се препоручује примена минималних прописаних растојања, а за конструктивне максималних растојања.

Растојања закивка и завртња од ивице елемената треба да буду што мања како не би дошло до одизања крајева елемената, што је неповољно са аспекта дејства корозије. Међутим, растојање спојног средства од ивице елемената одређено је из услова једнакости носивости везе на притисак по омотачу рупе и носивости лима на смицање. Смицање лима се одвија у две равни које заклапају угао 30° у односу на правац дејства силе (слика 2.57б). Услов једнакости носивости на притисак по омотачу рупе и на смицање лима, у овом случају може да се напише на следећи начин:

$$2 \cdot t \cdot \frac{e_1 - d/2}{\cos 30^\circ} \cdot \tau_{dop} = d \cdot t \cdot \sigma_{b,dop}$$

односно:

$$2 \cdot t \cdot \frac{e_1 - d/2}{\sqrt{3}/2} \cdot k_1 \cdot \sigma_{dop} = d \cdot t \cdot k_2 \cdot \sigma_{dop}$$

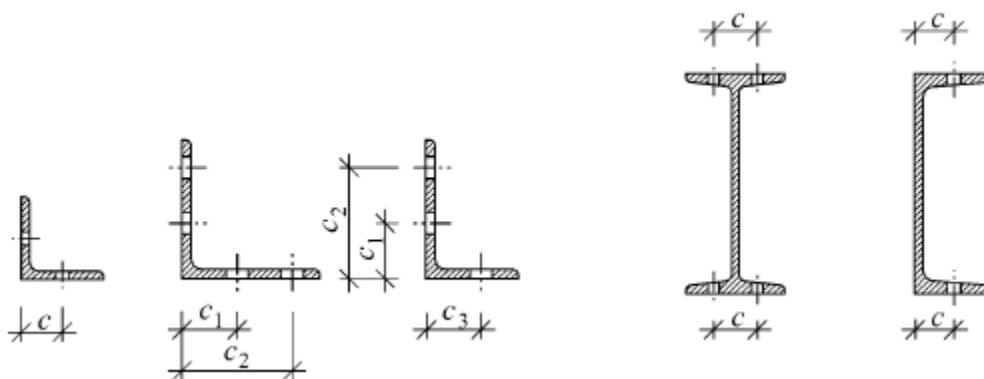
Решавањем претходног израза по непознатом минималном растојању од ивице e_1 добија се:

$$e = \left(\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \frac{k_2}{k_1} \right) \cdot d$$

односно, када се уврсте вредности коефицијената k_1 и k_2 :

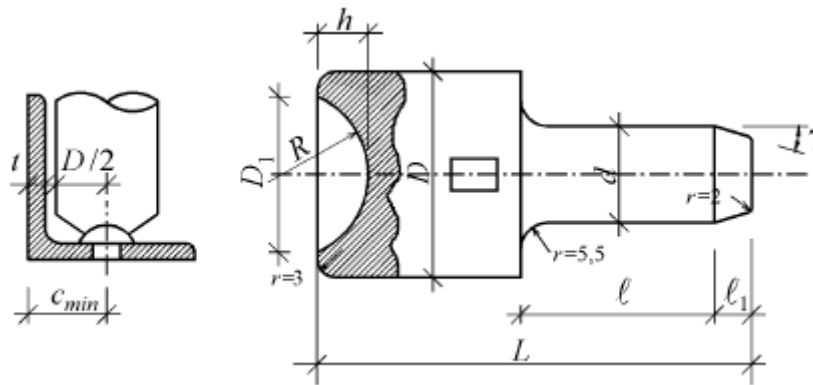
$$e = \begin{cases} 1,77 \cdot d & \text{за необрађене завртнје} \\ 1,99 \cdot d & \text{за обрађене завртнје} \end{cases}$$

Минимално растојање спојних средстава до ивица елемената управно на правац деловања силе је прописано због спречавања корозије у елементима и смицања у правцу ивице и односи се на елементе са ивицама добијеним резањем. Ова растојања не важе за топло ваљане профиле.



Слика 3.30 - Положај рупа код ваљаних профила

Код веза са закивцима мора да се омогући слободан простор како би могао да се постави обликач пресе (слика 3.31). Његове минималне димензије су дате у табели 3.11.



Слика 3.31 - Димензије обликача пресе за закивање

Табела 3.11 - Димензије обликача пресе за закивање закивака

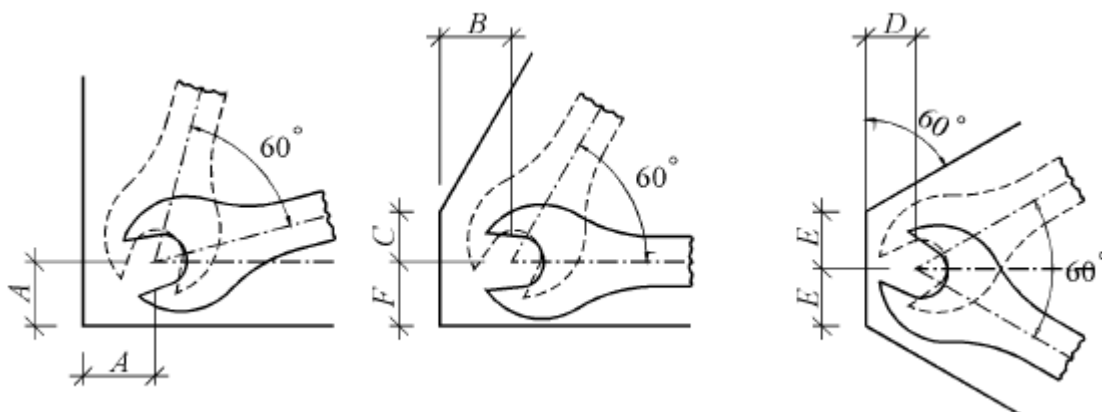
Prečnik zakivka	d_0 [mm]	13	17	21	23	25
Prečnik oblikača	D [mm]	35	40	45	50	55

У везама оствареним завртњевима мора да се остави слободан простор за постављање кључа за увртање навртке (слика 3.32). Најмање захтеване димензије су дате у табели 3.12.

Код уских лимова (ламела) завртњеви (закивци) се распоређују у једном реду. Да би се испоштовало минимално растојање од завртња до ивице ($e_2 = 1,5 \cdot d_0$) минимална ширина лима је $b = 2 \cdot 1,5 \cdot d_0 = 3 \cdot d_0$ (слика 3.33а). Код лимова веће ширине ($b \geq 6 \cdot d_0$) могу да се поставе два или више паралелних редова завртњева (слика 3.33ц). У случају лимова чија је ширина у границама $5 \cdot d_0 \leq b \leq 6 \cdot d_0$ завртњеви (закивци) се распоређују у два смакнута реда (слика 3.33б). При том подужни размак између завртњева не треба да буде већи од:

$$e = e_{max} - 0,5 \cdot a$$

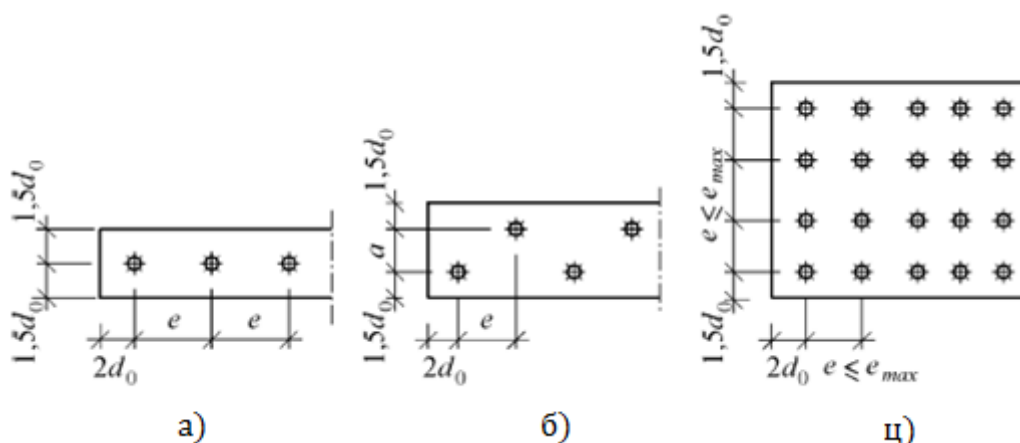
где је e_{max} максималан дозвољени размак између суседних завртњева у истом реду, а растојање a је између смакнутих редова завртњева (слика 3.33б).



Слика 3.32 - Гранични положаји монтажног кључа

Табела 3.12 - Минималне слободне димензије за монтажне кључеве

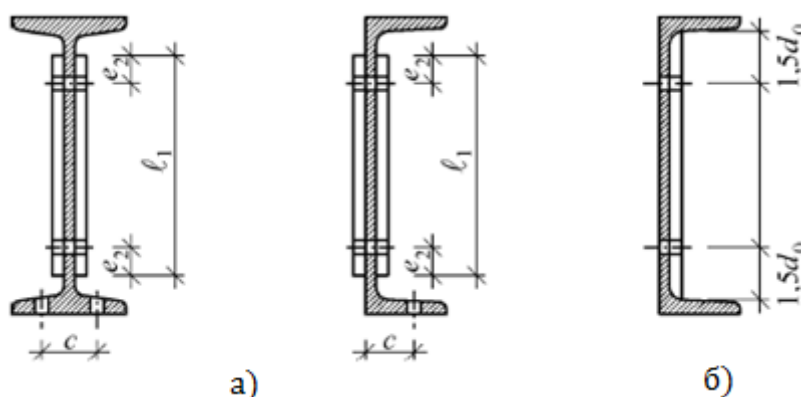
Zavrtnanj	Najmanja veličina [mm]					
	A	B	C	D	E	F
M12	27	24	16	20	22	29
M16	32	28	19	23	27	34
M20	36	32	22	26	30	39
M22,M24	40	36	27	29	35	44
M27	45	40	28	31	38	49
M30	48	42	32	33	40	52



Слика 3.33 - Распоред завртњева и закивака

Код ваљаних угаоника завртњеви (закивци) се постављају у једном реду, за угаонике са краком ширине до 110 мм (слика 3.30). За угаонике са већом ширином кракова, постављају се по два реда.

Код топловаљаних I и U-профила завртњеви се постављају и на ножицама и на ребру. Положај завртњева на ножицама (слика 3.34) је таблично утврђен (табела 3.15), док положај завртњева (закивака) на ребру зависи од ширине елемента за везу (подвезице). Тај елемент може да се постави само дуж слободне висине профила l_1 (слика 3.34а), или пак да буде на крајевима обрађен према радијусу закривљења профила и упасован (слика 3.34б). У оба случаја, положај крајњих завртњева или закивака је на одстојању $e_2 = 1,5 \cdot d_0$.



Слика 3.34 - Положај подвезица и завртњева код ваљаних профила

3.4.7. Извођење спојева са закивцима и завртњевима

Начин извођења, као и конструисање спојева, има велики утицај на понашање завртњева и закивака, па стога извођењу веза са механичким спојним средствима треба посветити дужну

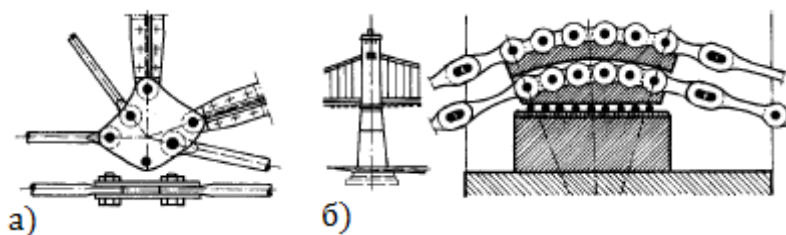
пажњу, како би се она у везама понашала у складу са прорачунским претпоставкама. Нека од основних правила за извођење веза са завртњевима су:

- рупе за закивке и завртњеве се пробијају или буше;
- код статички оптерећених веза, од челика Š0361, рупе могу да се пробијају до дебљине лима од 25 mm, али не веће од пречника закивка или завртња;
- на ивицама рупа не смеју да остану гребени, а у унутрашњости рупа не смеју да се појаве напрстине;
- код затегнутих делова се најпре пробијају рупе које су за 2 mm мање од потребног пречника, па се накнадним бушењем добија потребни пречник, док се код притиснутих елемената одмах пробијају рупе захтеваног пречника;
- да би се умањила грешка при обележавању рупа, бушење рупа се врши кроз претходно направљене шаблоне. Ако се не користе шаблони, тада се прво буше рупе са мањим пречником, па се тек након постављања свих елемената споја, на пробној монтажи, буше рупе дефинитивног пречника. Уколико се рупе истовремено буше на постављеном склопу, тада могу да се буше на дефинитиван пречник.

3.5. Чепови

3.5.1. Опште о чеповима

У почетном периоду развоја челичних конструкција везе штапова са чепом су често примењиване, нарочито у конструкцијама великих распона као што су мостови. У оваквим конструкцијама чепови су углавном коришћени за израду чворова код решеткастих носача (слика 3.35а) и за остваривање веза ланчаница и затега израђених од равних лимова код висећих мостова (слика 3.35б). Тако је још 1854. године изграђен мост преко реке Елбе у Тешену, распона 119 m, а почетком овог века и чувени Ланчани мост преко Дунава у Будимпешти, распона 290 m. Широка примена чепова у носећим челичним конструкцијама је била логична последица једноставног извођења и правилног статичког понашања везе. Везе изведене помоћу чепова су, по свом понашању, веома блиске идеално зглобним везама, јер омогућавају слободну ротацију штапа на месту везе, па су елементи ослобођени дејства секундарних момената савијања. Међутим, овакве везе немају додатну сигурност у погледу носивости, јер отказивањем једног чепа, односно затеге, долази до лома читаве конструкција. Осим тога, преглед и антикорозиона заштита веза су веома отежани.



Слика 3.35 - Примена спојева са чеповима

Нова теоријска сазнања о статичком понашању конструкција и побољшање и убрзање прорачуна применом савремених софтверских пакета, као и развој технологије производње елемената челичних конструкција, као што су каблови, проузроковали су драстично смањење примене чепова за израду веза код носећих челичних конструкција. Међутим, везе са чеповима се примењују и данас, али само у специјалним случајевима, када неки посебни услови диктирају примену веза са потпуно слободном ротацијом. Најчешће се везе са чеповима примењују:

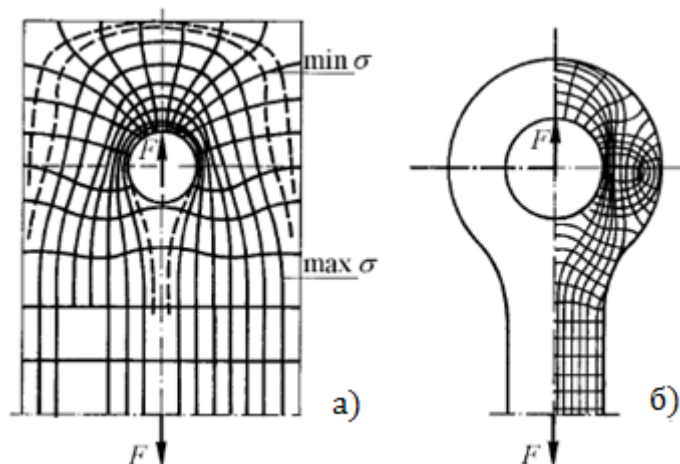
- за израду ослоначких конструкција код стубова код којих се очекују деформације услед слегања темеља (нпр. аероDOMСКА зграда у Кансаиу у Јапану),
- за израду монтажних оплата, скела, покретних мостова и радних платформи,
- за везе затега код висећих мостова,

- за везу кука код кранова и наставака сајли у машинској индустрији,
- код монтажних-демонтажних објеката, као што су мостови у војној индустрији,
- за везу анкер носача код мостова система континуалних носача, код којих се јављају негативне реакције (одизање ослонаца).

3.5.2. Рад веза са чеповима

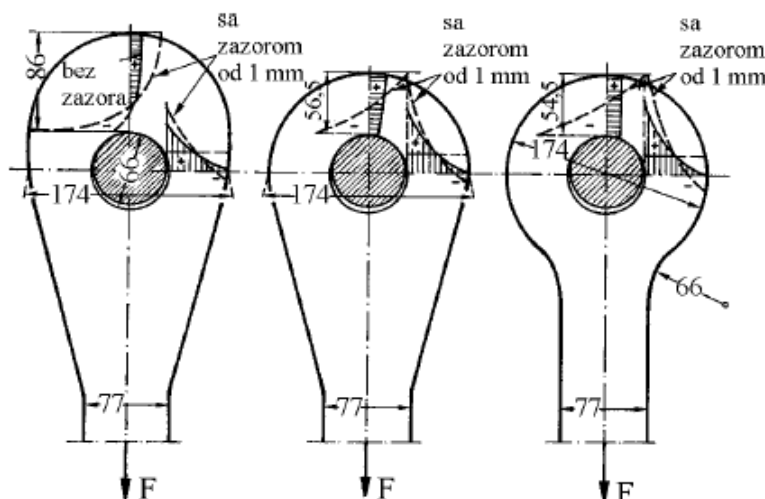
Везе са чеповима се конструишу помоћу окастих штапова и чепова. Понашање оваквих веза је комплексно, јер постоји велики број фактора који утичу на расподелу напона у окастим штаповима и у чепу. Најважнији фактори су: облик и димензије окастог штапа, однос пречника чепа и димензија окастог штапа, зазор између чепа и рупе на окастом штапу и размак између лимова окастих штапова.

Напрезања у окастим штаповима могу да се одреде применом теорије прстенастих носача са великим закривљењем, теорије плоча напрегнутих у својој равни, или применом методе коначних елемената. Осим на основу теоријских анализа, напрезања окастих штапова могу да се одреде и експерименталним методама, најчешће применом напонско-оптичке анализе. Трајекторије напона, за два облика окастих штапова, су приказане слици 3.36. Очигледно је згушњавање трајекторија максималних и минималних напона на ивицама рупа, у правцу и управно на правац дејства силе.



Слика 3.36 - Трајекторије напона код окастих штапова

Зазор између чепа и рупе у окастом штапу има доминантан утицај на расподелу напона. Већи зазор омогућава лакшу уградњу и бољу ротацију штапа, међутим, повећавањем зазора контакт чепа и окастог штапа се приближава линијском ослањању, па се повећавају напони. Ово може да се уочи на слици 3.37 где су пуном линијом приказани напони у окастом штапу без зазора, а испрекиданом линијом напони у случају зазора од 1 мм. Очигледно је драстично повећање напона у пресеку изнад чепа у правцу деловања силе.



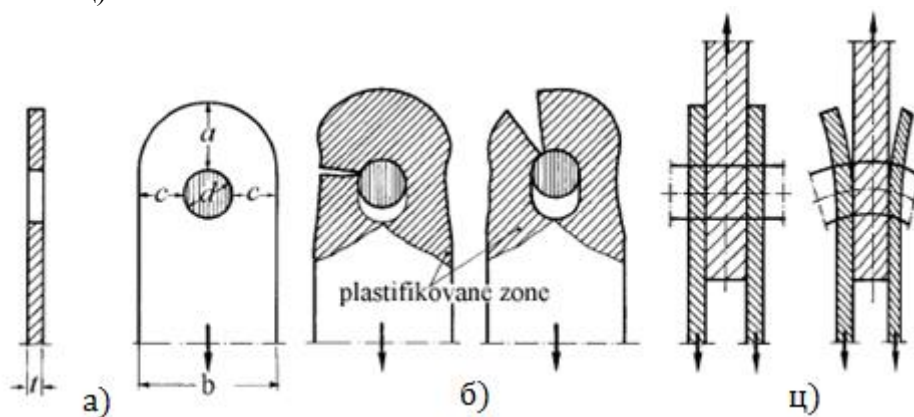
Слика 3.37 - Утицај зазора у рупи на вредности напона у окастом штапу

Оптерећењем окастог штапа до лома могу се извести следећи закључци о понашању окастих штапова:

– услед великог притиска по омотачу рупе долази до издужења рупе на окастом штапу у правцу деловања силе, са стране не коју належе чеп (слика 3.38б);

– цепање лима окастог штапа се врши у два карактеристична пресека: управно и у правцу дејства силе (слика 3.38б), као логична последица концентрације напона која је приказана на слици 3.36;

– савијање чепа проузрокује савијање лимова образних, окастих штапова ка спољашњим странама (слика 3.38ц).



Слика 3.38 - а) Облици окастих штапова; б) Могући видови лома; ц) Савијање чепа и спољашњих лимова

3.6.Заваривање

3.6.1. Опште о заваривању

Заваривање је технолошки поступак за спајање истих или сличних метала. Спајање елемената се остварује уз помоћ високе температуре која изазива топљење додатног и основног материјала на месту споја. Растопи основног и додатног материјала (електроде или жице за заваривање) се међусобно мешају и долази до њиховог физичког и хемијског сједињавања. Након хлађења долази до очвршћавања, чиме се ствара шав, као физички континуитет материјала. На овај начин се остварује континуалан спој елемената који се заварују.

Ради лакшег праћења даљег текста неопходно је да се дефинишу неки основни појмови који су карактеристични за заваривање (слика 3.39).

Основни материјал је материјал од кога су израђени елементи (делови) који се спајају заваривањем.

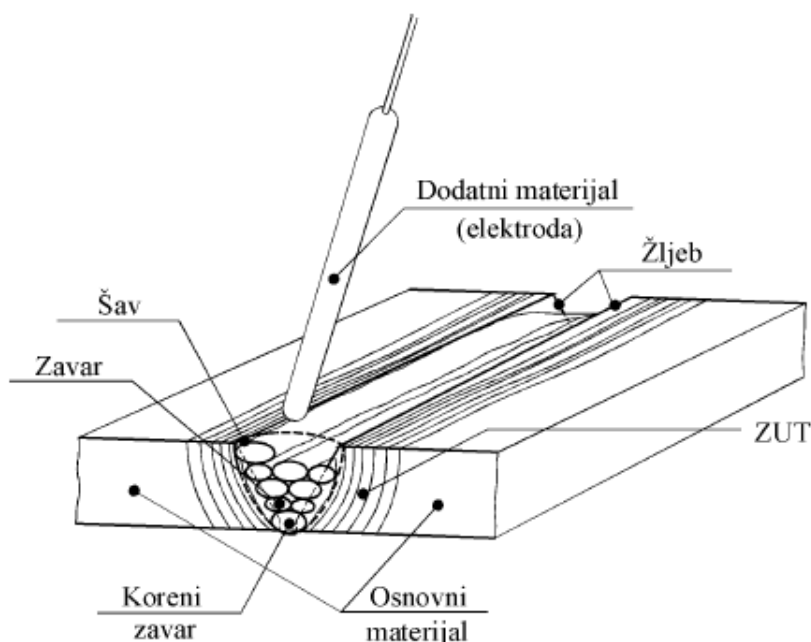
Додатни материјал је материјал (најчешће жица за заваривање или електрода) који се при заваривању топи и, мешањем са растопљеним металом основног материјала у зони шав, образује растоп који, након хлађења и очвршћавања, формира шав. Додатни материјал мора да се изабере на адекватан начин како би се омогућило што боље и брже попуњавање жљеба И добро сједињавање са основним материјалом. Поред тога, он мора да поседује и елементе за легирање растопа чија је функција да створи услове за заштиту шав од гасова из атмосфере и да омогући постепено хлађење растопљеног метала.

Спој одређује међусобни положај делова који се спајају.

Шав је материјализовано место спајања, односно материјал између делова који се спајају добијен топљењем додатног и основног материјала на месту споја.

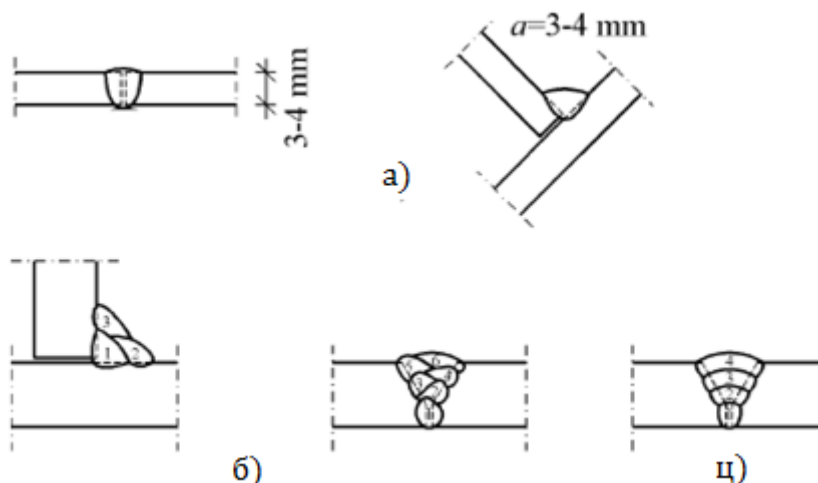
Зона утицаја топлоте (ЗУТ) је зона у основном материјалу непосредно уз шав у којој је, услед високих температура (преко 600 °Ц) које настају у растопу приликом заваривања, дошло до структурних промена.

Жљеб је простор предвиђен за депоновање додатног материјала приликом заваривања. Његов облик зависи од врсте споја и дебљине елемената који се спајају. Основна функција жљеба је да се омогући правилно растапање по дебљини основног материјала и добро испуњавање споја растопом. Код сучеоних шавова жљеб се формира обарањем ивица елемената који се спајају, док код угаоних шавова нису потребни никакви припремни радови, већ жљеб формирају ивице елемената који се спајају



Слика 3.39 - Основни појмови

Завар је део шав добијен топљењем додатног материјала у једном пролазу. Код сучеоних спојева танких елемената, дебљине 3-4 mm, као и код угаоних шавова мањих димензија ($a=3-4$ mm) шав може да се изведе само једним заваром (слика 3.40а). У случају сучеоних спојева дебљих елемената и угаоних шавова већих димензија, шавови се изводе из више завара. Завар који се прво изводи назива се корени завар. Остали завари могу да се изводе паралелно са осом жљеба, (слика 3.40б) или управно на њу (слика 3.40ц).



Слика 3.40- Поступак израде шавова: а) из једног завара; б) из више завара паралелних са осом жљеба; ц) из више завара управних на осу жљеба

Заварљивост је способност материјала да може да се завари. Разликују се:

- оперативна заварљивост, као могућност да се оствари материјални континуитет између елемената који се спајају без појаве грешака,
- металуршка заварљивост, као услов добијања шавова захтеваног квалитета и
- конструктивна заварљивост, као способност формираног шавова да се под оптерећењем понаша као и основни материјал.

3.6.2. Врсте спојева и шавова

У зависности од међусобног положаја елемената који се заварују, разликују се следеће врсте спојева:

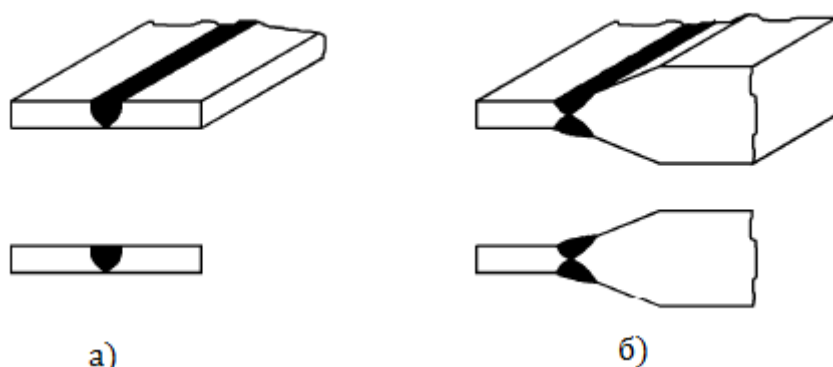
- сучеони спојеви,
- угаони или Т - спојеви,
- преклопни спојеви.

Поменути спојеви могу да се остваре помоћу различитих врста шавова. У савременим металним конструкцијама углавном се примењују следеће врсте шавова:

- сучеони шавови са пуном пенетрацијом,
- сучеони шавови са делимичном пенетрацијом,
- угаони шавови,
- шавови у рупама (кружним или елиптичним),
- чеп шавови и
- ужљебљени шавови.

Који ће се шав применити зависи од врсте споја, врсте и величине напрезања, дебљине елемената који се спајају и технолошког поступка који се примењује при заваривању. Такође треба истаћи да се не могу користити сви типови шавова за све три врсте спојева. Прегледни приказ врста спојева и шавова дат је у оквиру табеле 3.20.

Сучеони спојеви су спојеви код којих елементи који се спајају леже у истој равни. Ови спојеви могу да се изведу помоћу сучеоних шавова са пуном или делимичном пенетрацијом. Могу да се користе за спајање елемената исте (слика 3.42а), или различите дебљине (слика 3.42б).

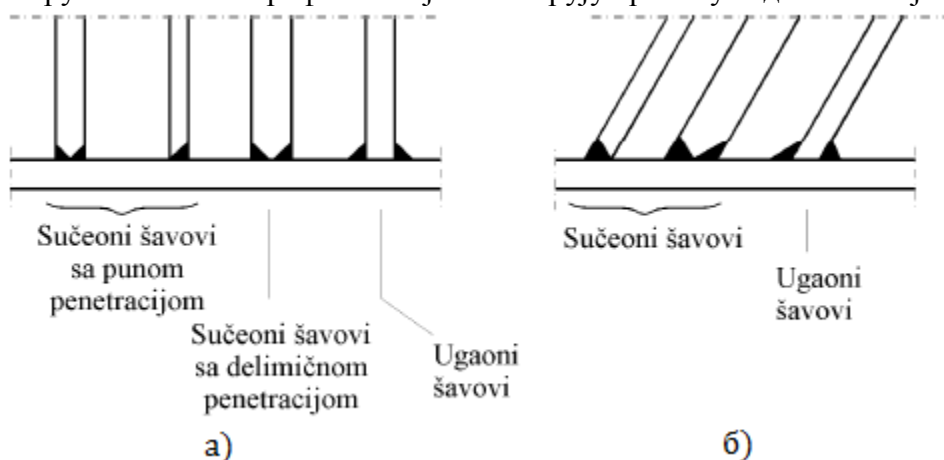


Слика 3.42 - Сучеони спојеви елемената: а) исте дебљине; б) различите дебљине

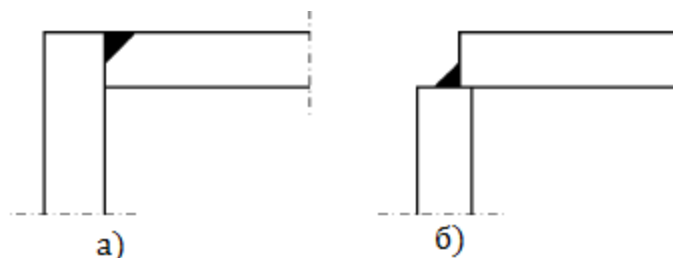
Угаони спојеви се изводе између елемената који међусобно заклапају одређени угао, различит од 180°. Најчешће се елементи који се спајају налазе под правим углом (слика 3.43а), али тај угао може да буде и кос (слика 3.43б), у ком случају се угаони спојеви називају коси угаони спојеви. Угаони спојеви могу да се изведу помоћу сучеоних шавова са пуном или делимичном пенетрацијом или помоћу угаоних шавова.

Када се један од елемената који се спајају не прекида на месту споја (слика 3.43) спој се назива *непрекинути угаони спој*. Уколико се оба елемента прекидају на месту споја (слика 3.44) такви спојеви се називају *прекинути угаони спојеви*. Прекинуте спојеви могу да буду отворени (слика 3.44а) и затворени (слика 3.44б). Код отворених спојева елементи који се спајају су смакнути један у односу на други, тако да се њихове везе изводе помоћу угаоних шавова. Код затворених спојева површине елемената су у истој равни тако да се изводи сучеони спој.

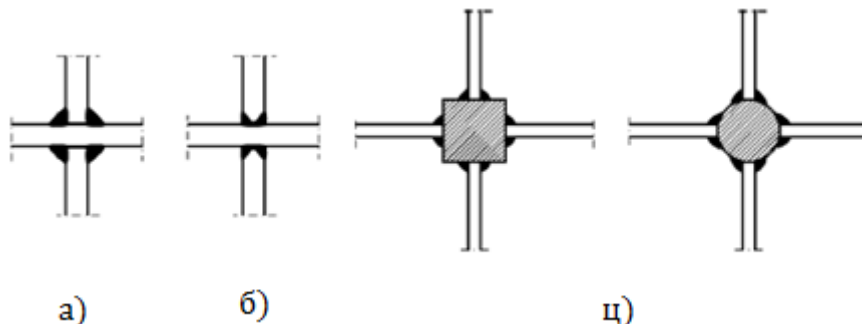
Крстасти спојеви представљају посебан вид угаоних спојева код којих елементи који се спајају образују крст (слика 3.45). Спој се остварује помоћу угаоних (слика 3.45а) или сучеоних шавова (3.45б), или њиховом комбинацијом. Овакви спојеви су неповољни, јер због нагомилавања шавова на једном месту долази до концентрације напона. При заваривању шавова са друге стране, долази до поновног загревања већ изведених шавова и основног материјала, што може да изазове прекристализацију основног материјала. Ово је посебно опасно код лимова мале дебљине. Због тога се крстасти спојеви избегавају код лимова тањих од 7 мм. Уколико је неопходно да се овакав спој изведе код изузетно оптерећених елемената, тада се прибегава посебном конструкционом обликовању. Сви елементи се прекидају на месту споја и умеће се квадратни или округли челични профил за који се заварују прекинути делови споја (слика 3.45ц).



Слика 3.43 - Угаони спојеви са сучеоним и угаоним шавовима: а) прави; б) коси



Слика 3.44 - Прекинути угаони спојеви: а) отворени; б) затворени



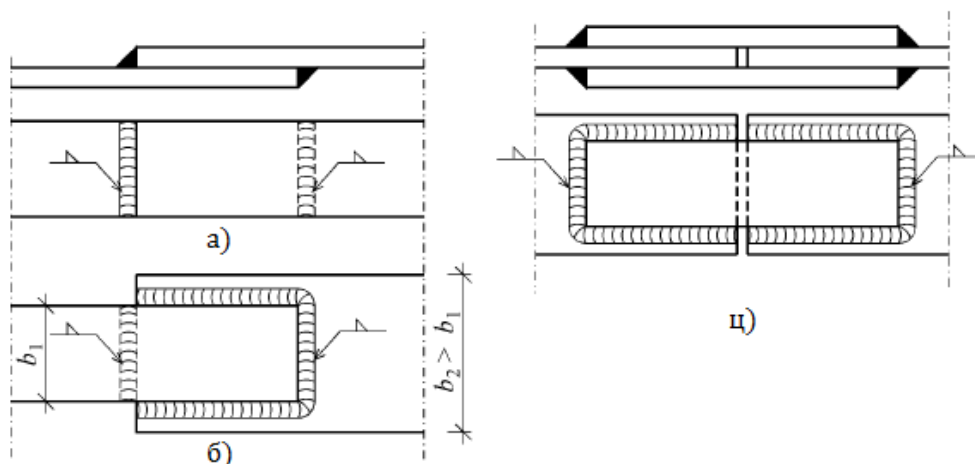
Слика 3.45 - Крстасти спојеви: а) са угаоним шавовима; б) са сучеоним шавовима; са уметнутим округлим или квадратним челичним профилем

Преклопни спојеви су спојеви између преклопљених елемената који леже у две паралелне равни. Постоје две врсте преклопних спојева:

- директни преклопни спојеви и
- преклопни спојеви са подвезицама.

Директни преклопни спојеви се јављају код елемента који су међусобно преклопљени на одређеној дужини. Спој се изводи помоћу угаоних шавова. Уколико су елементи који се спајају исте ширине, тада се изводе само чеони угаони шавови са обе стране (слика 3.46а). Ако је један елеменат ужи од другог, тада се изводе и бочни (подужни) и чеони угаони шавови (слика 3.46б).

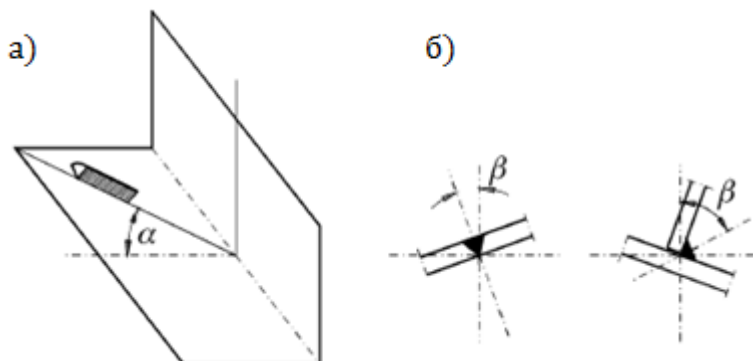
Преклопни спојеви са подвезицама се изводе када се елементи који се спајају налазе у истој равни. Са обе стране ових елемената се постављају подвезице, које треба да буду уже од основних елемената како би се омогућило њихово заваривање за елементе споја помоћу угаоних шавова по читавом обиму (слика 3.46ц). Примена оваквих спојева је, са становишта напрезања шавова и самих елемената, повољнија, јер се избегава ексцентрично напрезање. Међутим, неопходни су додатни елементи (подвезице) за остваривање везе, чиме се повећава утрошак материјала.



Слика 3.46 - Преклопни спојеви: а) и б) директни преклопни спојеви; ц) преклопни спојеви са подвезицама

3.6.3. Положаји заваривања

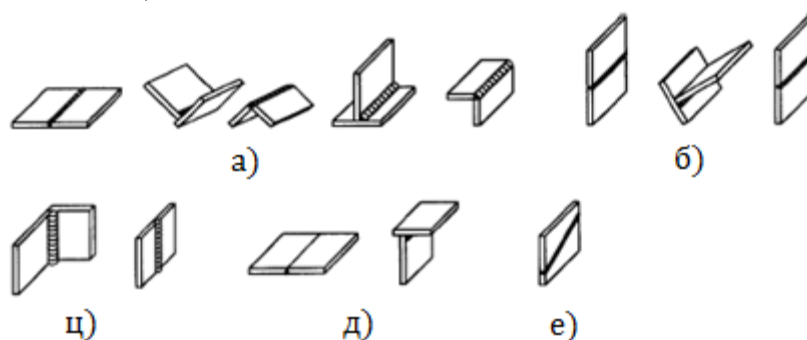
Од положаја при заваривању у великој мери зависи производност и квалитет заваривачких радова. Осим тога он утиче на избор поступка за заваривање и смер заваривања. Положај заваривања је дефинисан углом нагиба α , (слика 3.47а) и углом заокрета β (слика 3.47б).



Слика 3.47 - Дефиниција положаја заваривања

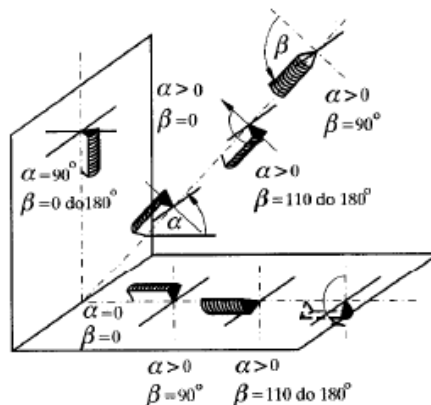
Према JUS C.T3.001 разликују се следећи положаји заваривања:

- хоризонталан или положен (слика 3.48а),
- хоризонтално-вертикалан (слика 3.48б),
- вертикалан (слика 3.48ц),
- изнад главе (слика 3.48д) и
- нагнут (слика 3.48е).



Слика 3.48 - Положаји при заваривању: а) хоризонталан или положен; б) хоризонтално-вертикалан; вертикалан; д) изнад главе и е) нагнут

Углови нагиба α и заокрета β који су карактеристични за поједине положаје заваривања приказани су на слици 3.49.



Слика 3.49 - Углови нагиба (α) и заокрета (β) карактеристични за уобичајене положаје заваривања

Најнеповољнији положај за заваривање је изнад главе. При овом положају долази до одвајања капљица растопа из жљеба, отежаног испуњења жљеба, слабог уваривања основног материјала и проваривања корена шави. Стога се у овом положају не могу применити сви поступци заваривања, а посебно не полуаутоматски и аутоматски. Такође, долази до бржег замарања радника, па су неопходни добри и извежбани заваривачи.

Све наведене тешкоће и недостаци су отклоњени код хоризонталног или положеног положаја заваривања, који је уједно најповољнији положај који се примењује како за ручно тако и за полуаутоматско и аутоматско заваривање

4. Пример прорачуна и конструкција монтажног наставка аксијално оптерећеног штапа

Димезионисати штап, прорачунати и конструисати монтажни наставак затегнутог штапа I-профила оптерећеног силм затезања услед претежно мирног оптерећења $F=2500\text{kN}$. Наставак извести обичним обрађеним ("ОТ") заврњевима класе чврстоће 4.6. Основни материјал узети Č0371 и I случај оптерећења. Допуштени напони су:

- За основни материјал $\sigma_{dop}^I = 160\text{ MPa}$
- За спојно средство $\tau_{dop}^I = 170\text{ MPa}$, $\sigma_{bdop}^I = 320\text{ MPa}$

Решење:

- Димензионисање штапа

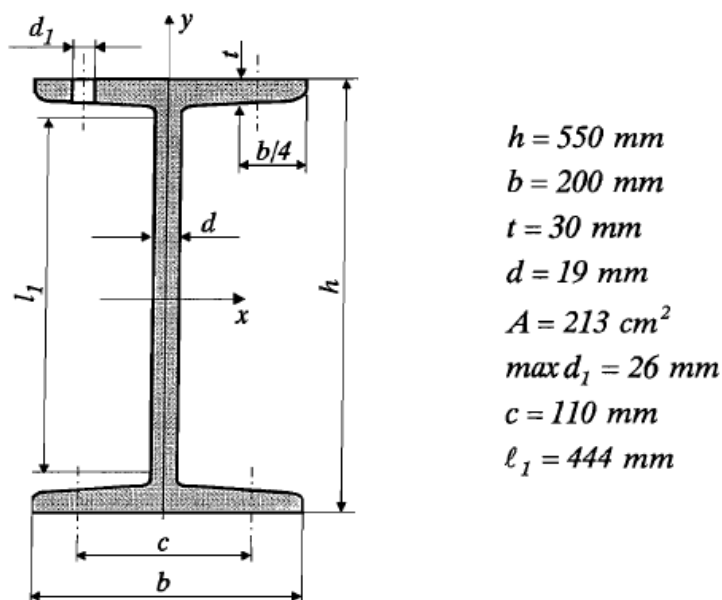
Димензионисање штапа се врпи на основу услова:

$$A \geq A_{pot}$$

Где је:

$$A_{pot} = 1.25 \frac{F}{\sigma_{dop}^I} = 1.25 \frac{2500}{16} = 195.3\text{ cm}^2$$

Усваја се профил I55 са површином попречног пресека $A=213\text{ cm}^2$, приказан на слици 4.1.



Слика 4.1 – Попречни пресек штапа

- Контрола напона ван наставка

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{2500}{213} = 11.7 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 117\text{ MPa} < \sigma_{dop}^I = 160\text{ MPa}$$

- Расподела силе затезања

$$A_{nož} = b \cdot t = 20 \cdot 3 = 60 \text{ cm}^2$$

$$F_{nož} = F \cdot \frac{A_{nož}}{A} = 2500 \cdot \frac{60}{213} = 704 \text{ kN}$$

$$A_{reb} = A - 2A_{nož} = 213 - 2 \cdot 60 = 93 \text{ cm}^2$$

$$F_{reb} = F \cdot \frac{A_{reb}}{A} = 2500 \cdot \frac{93}{213} = 1092 \text{ kN}$$

- Прорачун наставка ножице

- Одређивање броја завртњева

- ✓ Код стандардних профила максимални пречник завртњева и закивака се узима из рабница профила. За I-профил код кога су стопице дебље од ребра за пречник завртњева или закивака, се узима пречник за један мањи или исти као и за стопицу, или се може одредити према обрасцу:

$$\max d_1 = \sqrt{5 \cdot t_{s \min}} - 0.2, \text{ u [cm]}$$

Где:

$t_{s \min}$ представља минималну девијину ребра или подвезе, у см. Овај образац се код нестандардних профила обавезно користи.

- ✓ За неодређене завртњеве се при прорачуну подвеза и провери напона у ослабљеном пресеку користи пречник $d_1 = d + 1 \text{ mm}$, где је d пречник стабла завртња.
- ✓ За неодређене завртњеве се при прорачуну броја завртњева користи називни пречник завртњева.
- ✓ За одређене завртњеве се при прорачуну подвеза, броја завртњева и провери напона у ослабљеном пресеку, користи пречник $d_1 = d + 1 \text{ mm}$.
- ✓ За закивке се при прорачуну подвеза, броја закивака и провери напона у ослабљеном пресеку користи називни пречник закивка.

С обзиром на то да је $\max d_1 = 26 \text{ mm}$ усваја се “ОТ” завртњеви М24х1 класе чврстоће 4.6, за које је $d_1 = 25 \text{ mm}$.

- Моћ ношења једносечног ОТ завртња се према критеријуму смицања:

$$F_{\tau} = \frac{d_1^2 \cdot \pi}{4} \cdot \tau_{dop}^I = \frac{(2,5)^2 \cdot \pi}{4} \cdot 17 = 83.4 \text{ kN}$$

- Моћ ношења једносечног ОТ завртња према критеријуму контактеног притиска између стабла и зида отвора:

$$F_{\sigma_b} = d_1 \cdot t_{\min} \cdot \sigma_{bdop}^I = 2.5 \cdot 3 \cdot 32 = 240 \text{ kN}$$

За одређивање броја завртњева меродавна је мања вредност моћи ношења, у овом случају F_{τ} , односно:

$$n = \frac{F_{nož}}{F_{\tau}} = \frac{704}{83,4} = 8.44 \text{ kom}$$

Усваја се паран број завртњева, дакле $n=10$ комада М24х1 класе чврстоће 4.6.

- Контрола напона у ослабљеној ножици

$$A_{nož}^{neto} = (b_{nož} - 2d_1) \cdot t_{nož} = (20 - 2 \cdot 2.5) \cdot 3 = 45 \text{ cm}^2$$

$$\sigma = \frac{F_{nož}}{A_{nož}^{neto}} = \frac{704}{45} = 15.16 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 151.6 \text{ MPa} < \sigma_{dop}^I = 160 \text{ MPa}$$

Дакле напон задовољава.

- Прорачун подвеза

$$b_p = b + 10[mm] = 210 \text{ mm}$$

$$(b_p - 2d_1)t_p\sigma_{dop}^I \geq F_{nož}$$

$$(21 - 2 \cdot 2,5) \cdot t_p \cdot 16 \geq 704, \quad t_p \geq 2,75 \text{ cm}$$

Према томе, за подвезе ножица усваја се $\neq 210 \times 28 \times l$.

- Прорачун наставка ребра
- Одређивање пречника завртњева

$$\max d_1 = \sqrt{5 \cdot t_{s \min}} - 0,2 = \sqrt{5 \cdot 1,25} - 0,2 = 2,25 \text{ cm}$$

Усваја се да је $t_{s \min} = 12 \text{ mm}$ дебљина подвезе.

Усвајају се ОТ завртњеви М20хl класе чврстоће 4.6. Отвор за ОТ завртњеви М20 је: $d_1 = 21 \text{ mm}$.

- Прорачун подвеза

$$2 \cdot (b_r - 6d_1) \cdot t_r \cdot \sigma_{dop}^I \geq F_{reb}$$

$$2 \cdot (44 - 6 \cdot 2,1) \cdot t_r \cdot 16 \geq 1029, \quad t_r \geq 1,09 \text{ cm}$$

Усвајају се подвезе ребра $2 \neq 440 \times 12 \times l$.

- Одређивање броја завртњева

- Моћ ношења двосечног ОТ завртња према смицању:

$$F_\tau = \frac{d_1^2 \cdot \pi}{2} \tau_{dop}^I = \frac{(2,1)^2 \pi}{2} 17 = 117,7 \text{ kN}$$

- Моћ ношења двосечног ОТ завртња према критеријуму контактнoг притиска између стабла и зида отвора:

$$F_{\sigma_b} = d_1 \cdot t_{\min} \cdot \sigma_{bdop}^I = 2,1 \cdot 1,9 \cdot 32 = 127,7 \text{ kN}$$

За одређивање броја завртњева меродавна је мања вредност моћи ношења, у овом случају F_τ , односно:

$$n = \frac{F_{reb}}{F_\tau} = \frac{1092}{117,7} = 9,28 \text{ kom}$$

Усваја се паран број завртњева, дакле $n=10$ комада М20хl класе чврстоће 4.6.

- Контрола напона у ослабљеном ребру

У пресеку I-I:

$$A_{reb}^{neto}(I-I) = (h - 2t - 4d_1)d$$

$$A_{reb}^{neto}(I-I) = (55 - 2 \cdot 3 - 4 \cdot 2,1) \cdot 1,9 = 77,1 \text{ cm}^2$$

$$\sigma(I-I) = \frac{4}{10} \frac{F_{reb}}{A_{reb}^{neto}(I-I)} = \frac{4}{10} \frac{1092}{77,1} = 5,66 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 56,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma(I-I) = 56,6 \text{ MPa} < \sigma_{dop}^I = 160 \text{ MPa}$$

У пресеку II-II:

$$A_{reb}^{neto}(II-II) = (h - 2t - 6d_1)d$$

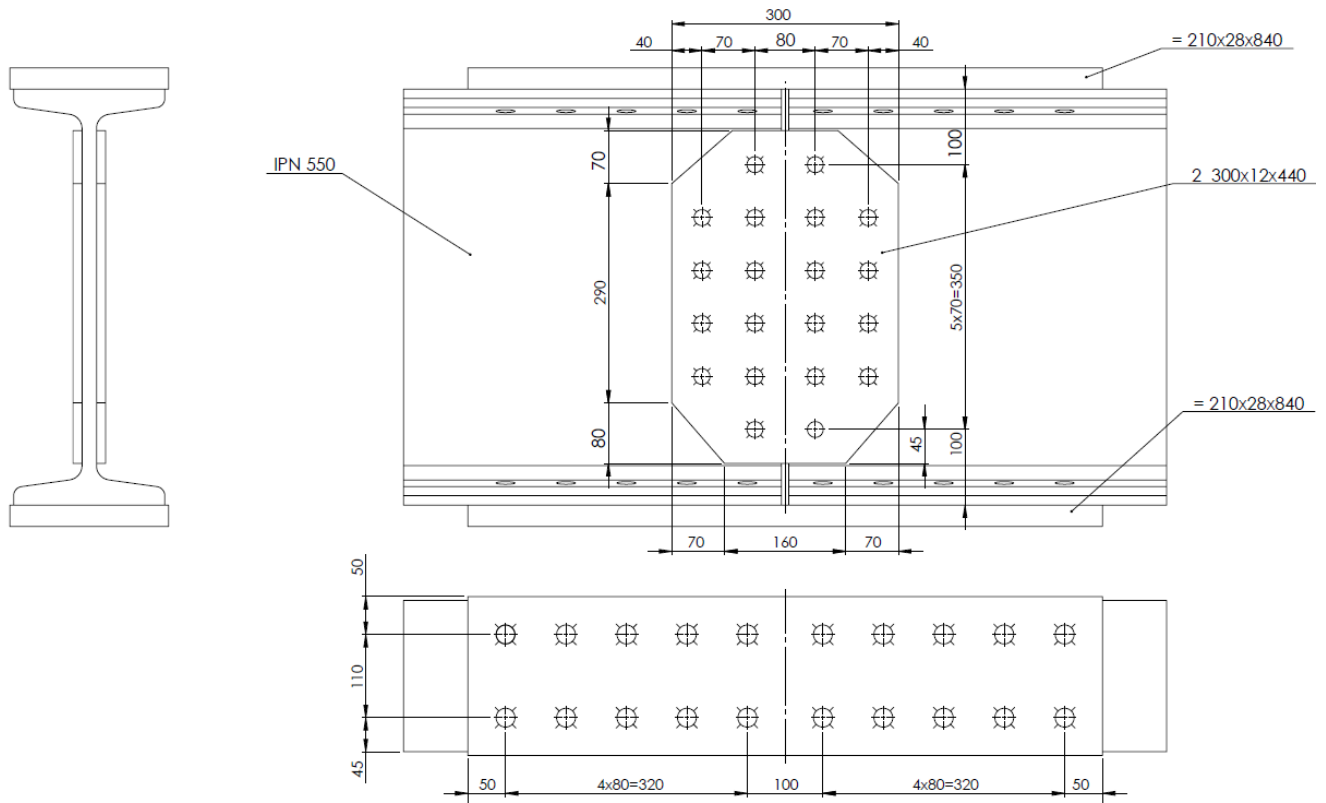
$$A_{reb}^{neto}(II-II) = (55 - 2 \cdot 3 - 6 \cdot 2,1) \cdot 1,9 = 69,2 \text{ cm}^2$$

$$\sigma(II-II) = \frac{4}{10} \frac{F_{reb}}{A_{reb}^{neto}(II-II)} = \frac{4}{10} \frac{1092}{69,2} = 9,47 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 94,7 \text{ MPa}$$

$$\sigma(II - II) = 94.7 \text{ MPa} < \sigma_{dop}^I = 160 \text{ MPa}$$

Напони су мањи од допуштених, значи да су димензије добро изабране.

○ Конструкција монтажног наставка



Слика 4.2 – Монтажни наставак са ОТ завртњевима

5. Закључак

У оквиру рада представљени су спојеви у металним конструкцијама који се данас највише примењују. Представљене су различите могућности остваривања спојева. Описани су најважнији саставни елементи и њихове могуће варијације у зависности од тога какво оптерећење треба да пренесу. Наведени су спојна средства која се најчешће користе у спојевима. Укратко су описани процеси спајања како радионичких тако и монтажних наставака.

У даљем раду акценат је стављен на спојним средствима која се навише користе при конструисању наставака. У зависности да ли се наставак обавља на градилишту или у радионици, да ли је потребно да конструкција има одређену крутост или еластичност, зависи да ли ће конструкција трпети додатна оптерећења, на основу тога се одабира спојно средство које ће се користити за спајање наставака.

Највећу примену у настављању стандардних профила имају спојеви остварени закивцима, спојеви остварени завртањским везама и спојеви остварени методом заваривања. У радионичким условима највише се примењују спојеви остварени методом заваривања и спојеви остварени закивцима. Док се спојеви остварени завртњевима могу конструисати и у радионици и на градилишту.

Представљени су најчешћи узроци оптерећења. Начини повезивања наставака такви да се то оптерећење смањи. Узроци који доводе до разарања везе, лома спојног средства итд.

У финалној фази рада представљен је пример прорачуна и конструкција наставка аксијално оптерећеног штапа. У примеру је представљено димензионисање штапа и конструкционо решење монтажног наставка, наставак је изведен помоћу обичних обрађених завртњева класе 4.6. Кроз пример је детаљно објашњен поступак димензионисања штапа, распоред сила затезања, прорачун наставка ножице, прорачун наставка ребра.

6. Литература

1. Милосављевић, М., М. Радојковић и Б. Кузмановић, Основи челичних конструкција, Градјевинска књига, Београд, 1986.
2. Петковиц, З. и Д. Остојић, Металне конструкције у машиноградњи И, Институт за механизацију, Машински факултет, Београд, 1996.
3. Николић, Р. и Ј. Вељковић, Металне конструкције, Скрипта, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац, 2007.
4. Николић, Р. и В. Марјановић, Металне конструкције – приручник за прорачуне, Крагујевац, 1998.
5. Буђевац, Д., З. Марковић, Д. Боговац и Д. Тошић, Металне конструкције, основе прорачуна и конструисања, Завод за графичку технику Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду, 1999.
6. Николић, Р., Ј. Вељковић, В. Марјановић, Металне конструкције, збирка решених задатака, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, САД лабораторија, 2013.