

Сәулет, қала құрылысы және құрылыс  
саласындағы мемлекеттік нормативтер  
**ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ**  
**НОРМАТИВТІК-ТЕХНИКАЛЫҚ ҚҰРАЛЫ**

---

Государственные нормативы в области  
архитектуры, градостроительства и строительства  
**НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ**  
**РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

**БОЛАТ КОНСТРУКЦИЯЛАРДЫ ЖОБАЛАУ**  
**Илем қалыңдығы бағытындағы материалдың**  
**соққылық тұтқырлығы мен беріктік қасиеттері**  
**бөлімі**

---

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**  
**Часть. Вязкость материала и прочностные свойства**  
**в направлении толщины проката**

**ҚР НТҚ 03-01-10.1-2012(1993-1-10: 2005/2011 ҚР ҚН EN-ге)**  
**НТП РК 03-01-10.1-2012 (к СН РК EN 1993-1-10: 2005/2011)**

Ресми басылым  
Издание официальное

Қазақстан Республикасы Ұлттық экономика министрлігінің Құрылыс,  
тұрғын үй-коммуналдық шаруашылық істері және жер ресурстарын  
басқару комитеті

Комитет по делам строительства, жилищно-коммунального хозяйства и  
управления земельными ресурсами  
Министерства национальной экономики Республики Казахстан

Астана 2015

## АЛҒЫ СӨЗ

1. **ӘЗІРЛЕГЕН:** «ҚазҚСҒЗИ» АҚ, «Астана Строй-Консалтинг» ЖШС
2. **ҰСЫНҒАН:** Қазақстан Республикасы Ұлттық экономика министрлігінің Құрылыс, тұрғын үй-коммуналдық шаруашылық істері және жер ресурстарын басқару комитетінің Техникалық реттеу және нормалау басқармасы
3. **ҚАБЫЛДАНҒАН ЖӘНЕ ҚОЛДАНЫСҚА ЕНГІЗІЛГЕН МЕРЗІМІ:** Қазақстан Республикасы Ұлттық экономика министрлігінің Құрылыс, тұрғын үй-коммуналдық шаруашылық істері және жер ресурстарын басқару комитетінің 2014 жылғы 29-желтоқсандағы № 156-НҚ бұйрығымен 2015 жылғы 1-шілдеден бастап
4. **ОРНЫНА:** Алғашқы рет

## ПРЕДИСЛОВИЕ

1. **ПОДГОТОВЛЕН:** АО «КазНИИСА», ТОО «Астана Строй-Консалтинг»
2. **ПРЕДСТАВЛЕН:** Управлением технического регулирования и нормирования Комитета по делам строительства, жилищно-коммунального хозяйства и управления земельными ресурсами Министерства национальной экономики Республики Казахстан
3. **ПРИНЯТ И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ:** Приказом Комитета по делам строительства, жилищно-коммунального хозяйства и управления земельными ресурсами Министерства Национальной экономики Республики Казахстан от 29.12.2014 № 156-НҚ с 1 июля 2015 года
4. **ВЗАМЕН:** Впервые

Осы мемлекеттік нормативті Қазақстан Республикасының сәулет, қала құрылысы және құрылыс істері жөніндегі Уәкілетті мемлекеттік органының рұқсатынсыз ресми басылым ретінде толық немесе ішінара қайта басуға, көбейтуге және таратуға болмайды.

Настоящий государственный норматив не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Уполномоченного государственного органа по делам архитектуры, градостроительства и строительства Республики Казахстан.

## МАЗМҰНЫ

КІРІСПЕ .....	IV
1 ҚОЛДАНЫЛУ САЛАСЫ.....	1
2 НОРМАТИВТІК СІЛТЕМЕЛЕР .....	3
3 ТЕРМИНДЕР, АНЫҚТАМАЛАР, БЕЛГІЛЕР ЖӘНЕ ҚЫСҚАРТУЛАР .....	4
4 ОМЫРЫЛҒЫШ БҰЗЫЛУДЫ БОЛДЫРМАУ ҮШІН МАТЕРИАЛДАРДЫ ТАҢДАУ .....	6
4.1 Жалпы ережелер .....	6
4.2 Материал қасиеті .....	7
4.2.1 Жалпы ережелер .....	7
4.2.2 Болаттың негізгі механикалық қасиеттері .....	7
4.2.3 Негізгі технологиялық қасиеттер .....	12
4.2.4 Болатты термиялық өңдеу тәсілдері .....	13
4.2.5 Болаттың қорғаныш жабынын салу әдістері .....	15
4.3 Материалдарды таңдау рәсімі .....	21
1 МЫСАЛ Болаттың маркасын іріктеу бойынша есеп және ең жоғары рұқсат етілетін қалыңдық.....	26
2 МЫСАЛ ҚР ҚН EN 1993-1-10 нормативінің талаптарын есепке ала отырып топсалы болаттың дәнекерлеген бағанының есебі .....	28
4.4 Бұзылу механикасын пайдалана отырып бағалау .....	33
3 МЫСАЛ Есептік температураны дәнекерленген арқалықтық әлеуетті бұзылу орнында анықтау бойынша есеп $T_{Ed}$ соққылы әсердің әрекетіне ұшыратылған.....	34
5 ПРОКАТ ҚАЛЫҢДЫҒЫ БАҒЫТЫНДА ҚАСИЕТТЕРІ БОЙЫНША МАТЕРИАЛДЫ ТАҢДАУ .....	36
5.1 Жалпы ережелер .....	36
5.2 Есеп рәсімі .....	38
4 МЫСАЛ Дәнекерлеу арқалығы торабының қабатталу есебі.....	41
А ҚОСЫМШАСЫ( <i>ақпараттық</i> ) Отандық болат маркаларының аналогтары .....	44

## КІРІСПЕ

Осы нормативті-техникалық құралды «Астана Құрылыс-Консалтинг» ЖШС-і «Қазақ құрылыс және сәулет ғылыми-зерттеу және жобалау институты» Акционерлік қоғамымен («ҚазҚСҒЗИ» АҚ) жасаған келісімшарт бойынша дайындаған.

Осы нормативтік-техникалық құрал «Болат құрылымдарды жобалау» - 1-10 бөлім «Прокат қалыңдығының бағытында материалдың тұтқырлығы мен беріктік қасиеттері» ҚР ҚН EN 1993-1-10 ережелерін дамытуға байланысты жасалды және болат прокатының қалыңдығы бағытында болаттың соққы тұтқырлығы мен қасиеттері бойынша талаптарды ескере отырып материалды таңдауға арналған.

Осы нормативтік-техникалық құрал 3-Еврокодқа ұқсас ҚР ҚН EN 1993 Қазақстан Республикасының құрылыс нормаларына нормативтік-техникалық құралдар тобының бір бөлігі болып табылады.

ҚР ҚН EN 1993 стандартына нормативтік-техникалық құралдар тобы – нормативтік-техникалық құжаттардың тізбесі, онда мыналар берілген: ҚР ҚН EN 1993 Жобалау Принциптері мен Қағидаларына сәйкес болат құрылымдарын есептеу мен құрылымдауға ұсынымдар; нормативтік сілтемелік ақпараттың түсіндірулері; сандық есеп мысалдары; қосымша анықтамалық ақпарат.

ҚР ҚН EN 1993 стандартына нормативтік-техникалық құралдардың ережелері тек болат құрылымдардың көтергіш қабілеті, пайдалану жарамдылығы, ұзақ мерзімділігі мен отқа төзімділігі бойынша талаптарды ғана қамтиды. Басқа талаптар ҚР ҚН EN 1993 стандартына нормативтік-техникалық құралдарда көрсетілмеген.

ҚР ҚН EN 1993 нормативтік-техникалық құралдарын мынадай нормативтік-техникалық құжаттармен бірлесе пайдаланған жөн:

- ҚР ҚН EN 1990 НТҚ;

- ҚР ҚН EN 1991 НТҚ;

- ҚР ҚН EN 1992 - ҚР ҚН EN 1999 НТҚ, болат құрылымдары немесе олардың элементтерін есептеу тікелей қозғалатын бөліктерінде;

- EN, ETAG, ETA стандарттары және болат құрылымдарына жатқызылатын құрылыс бұйымдарына басқа да сәйкес стандарттар.

ҚР ҚН EN 1993 «Болат құрылымдарды жобалау» құрылыс нормаларының 20 бөлігінен басқа ҚР ҚН EN 1993 құрылыс нормаларына нормативтік-техникалық құралдарды әзірлеу кезіндегі негізін қалаушы құжаттар болып ҚР ҚН EN 1990, ҚР ҚН EN 1991 және EN 1090 табылады.

ҚР ҚН EN 1993 нормативтік-техникалық құралдар тобы 19 құралдан тұрады:

- ҚР ҚН EN 1993-1 нормативтік-техникалық құрал (12 құрал);

- ҚР ҚН EN 1993-2 нормативтік-техникалық құрал (1 құрал);

- ҚР ҚН EN 1993-3 нормативтік-техникалық құрал (1 құрал);

- ҚР ҚН EN 1993-4 нормативтік-техникалық құрал (3 құрал);

- ҚР ҚН EN 1993-5 нормативтік-техникалық құрал (1 құрал);

- ҚР ҚН EN 1993-6 нормативтік-техникалық құрал (1 құрал).

ҚР ҚН EN 1993-1 нормативтік-техникалық құралдардың кіші тобы 12 құралдан тұрады:

- ҚР ҚН EN 1993-1-1 нормативтік-техникалық құрал;
- ҚР ҚН EN 1993-1-2 нормативтік-техникалық құрал;
- ҚР ҚН EN 1993-1-3 нормативтік-техникалық құрал;
- ҚР ҚН EN 1993-1-4 нормативтік-техникалық құрал;
- ҚР ҚН EN 1993-1-5 нормативтік-техникалық құрал;
- ҚР ҚН EN 1993-1-6 нормативтік-техникалық құрал;
- ҚР ҚН EN 1993-1-7 нормативтік-техникалық құрал;
- ҚР ҚН EN 1993-1-8 нормативтік-техникалық құрал;
- ҚР ҚН EN 1993-1-9 нормативтік-техникалық құрал;
- ҚР ҚН EN 1993-1-10 нормативтік-техникалық құрал;
- ҚР ҚН EN 1993-1-11 нормативтік-техникалық құрал;
- ҚР ҚН EN 1993-1-12 нормативтік-техникалық құрал.

ҚР ҚН EN 1993-1 нормативтік-техникалық құралдарында арнайы болат ғимараттар мен құрылыстарға қатысы бар ҚР ҚН EN 1993 бөліктеріне қолданылатын болат құрылымдарды жобалау бойынша нұсқаулықтар берілген.

- ҚР ҚН EN 1993-2;
- ҚР ҚН EN 1993-3;
- ҚР ҚН EN 1993-4;
- ҚР ҚН EN 1993-5;
- ҚР ҚН EN 1993-6.

ҚР ҚН EN 1993-1-10 осы нормативтік-техникалық құралда мыналар берілген:

- ҚР ҚН EN 1993-1-10 құрылыс нормасында қамтылған болат прокаттың қалыңдығы бағытында болаттың соққы тұтқырлығы мен беріктігі бойынша талаптарды ескере отырып материалды таңдау ережесі;

- ҚР ҚН EN 1993-1-10 құрылыс нормасында берілген Принциптер мен Қағидаларды дамытатын ережелер;

- ҚР ҚН EN 1993-1-10 құрылыс нормасында берілген Принциптер мен Қағидаларды толықтыратын ұсынымдар;

- жобалау тәжірибесінде ҚР ҚН EN 1993-1-10 құрылыс нормаларының ережелерінің қолданылуын сипаттайтын сандық есеп мысалдары.

Осы нормативтік-техникалық құралды әзірлеу кезінде ҚР ҚН EN 1993-1-10 ережелерінен басқа мыналар ескерілді:

- ҚР ҚН EN 1993-1-10 Ұлттық Қосымша ережелері;
- ҚР ҚН EN 1990 тиісті ережелері;
- ҚР ҚН EN 1991 тиісті ережелері.

Осы нормативтік-техникалық құрал 5 бөлімнен тұрады. Осы нормативтік-техникалық құралдың 1 бастап 5-бөлімдері ҚР ҚН EN 1993-1-10 нормативінің құрылымын қайталайды:

- 1-бөлім: Қолдынылу саласы;
- 2-бөлім: Нормативтік сілтемелер;
- 3-бөлім: Терминдер, анықтамалар, белгілер және қысқартулар;

## **ҚР НТҚ 03-01-10.1-2012**

- 4-бөлім: Омырылғыш бұзылуды болдырмау үшін материалдарды таңдау;
- 5-бөлім: Прокат қалыңдығы бағытында қасиеттері бойынша материалды таңдау.

Осы нормативтік-техникалық құралда ҚР ҚН EN 1993-1-10 тармақтарының нөмірлері жақша ішінде берілген.

Осы нормативтік-техникалық құрал жобалау ұйымдарының инженер-техникалық жұмысшыларына, ғылыми қызметкерлерге, жобалау өнімінің тапсырыс берушілеріне, жоғары оқу мекемелерінің оқытушылары мен студенттеріне арналған.

**ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ  
НОРМАТИВТІК-ТЕХНИКАЛЫҚ ҚҰРАЛЫ  
НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
БОЛАТ КОНСТРУКЦИЯЛАРДЫ ЖОБАЛАУ.**

---

**Илем қалыңдығы бағытындағы материалдың соққылық тұтқырлығы мен  
беріктік қасиеттері бөлімі**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ.  
Часть. Вязкость материала и прочностные свойства в направлении толщины  
проката**

---

**Енгізілген күні - 2015-07-01**

**1 ҚОЛДАНЫЛУ САЛАСЫ**

1.1 ҚР ҚН EN1993-1-10 осы құрал дайындалу кезінде созылуға байланысты елеулі жіктелу тәуекелі бар болат прокаттың қалыңдығы бағытында соққы тұтқырлығы мен беріктігі бойынша талаптарды ескере отырып материалды таңдау бойынша талаптарды белгілейді.

1.2 Осы құрал ҚР ҚН EN 1993-1-10 берілген S235 бастап S700 дейінгі маркалы болат прокатының қалыңдығы бағытында болаттың соққы тұтқырлығы мен беріктігі бойынша талаптарды ескере отырып материалды таңдау принциптері мен қағидаларынан тұрады және дамытады.

1.3 Осы құралда прокат қалыңдығы бағытында бұзылу тұтқырлығы (сондай-ақ дәнекерленген біріктіру элементтерінің тұтқырлығы) мен беріктігі бойынша болат материалын таңдау бойынша ұсынымдар берілген. Осы ереже жалпы жобалау ережелерін пайдалана отырып бірлесе жобалау мүмкіндігін қамтамасыз етеді:

- ҚР ҚН EN 1993-1-1;
- ҚР ҚН EN 1993-1-2;
- ҚР ҚН EN 1993-1-3;
- ҚР ҚН EN 1993-1-4;
- ҚР ҚН EN 1993-1-5;
- ҚР ҚН EN 1993-1-6;
- ҚР ҚН EN 1993-1-7;
- ҚР ҚН EN 1993-1-8;
- ҚР ҚН EN 1993-1-9;
- ҚР ҚН EN 1993-1-10;
- ҚР ҚН EN 1993-1-11;
- ҚР ҚН EN 1993-2;
- ҚР ҚН EN 1993-3-1;
- ҚР ҚН EN 1993-3-2;

**Ресми басылым**

---

- ҚР ҚН EN 1993-4-1;
- ҚР ҚН EN 1993-4-2;
- ҚР ҚН EN 1993-4-3;
- ҚР ҚН EN 1993-5;
- ҚР ҚН EN 1993-6.

## **2 НОРМАТИВТІК СІЛТЕМЕЛЕР**

Осы құралды қолдану үшін мынадай нормативтік сілтеме құжаттар қажет:

а) Қазақстан Республикасының құрылыс нормалары (негізгі сілтемелер):

- ҚР ҚН EN 1990:2002+A 1:2005/2011 Күш түсетін конструкцияларды жобалаудың негіздері;

- ҚР ҚН EN 1991 Күш түсетін конструкцияларға әсер ету;

- ҚР ҚН EN 1993-1-1 :2005/2011 Болат конструкцияларды жобалау. 1-1 бөлімі.

Жалпы ережелер және ғимараттарға арналған ережелер;

- ҚР ҚН EN 1993-1-9:2005/2011 «Болат конструкцияларды жобалау. 1-9 бөлімі. Қажу беріктігі;

- ҚР ҚН EN 1998 Сейсмикаға төзімді конструкцияларды жобалау;

- ҚР ҚН EN 1999 Алюминий конструкцияларды жобалау.

б) болат стандарттары, болат дайындамалары, болат бұйымдар мен шығыс дәнекерлеу материалдары (қайталама сілтемелер):

- EN 1011-2 «Дәнекерлеу. Метал материалдарды дәнекерлеу бойынша ұсынымдар. 2-бөлім. Феррит болатты доғалы дәнекерлеу»;

- EN 10002 «Металдар. Созылуға сынақтар»;

- EN 10025 «Құрылымдық болаттан жасалған ыстықтай жұқартылған бұйымдар»;

- EN 10045-1 «Метал материалдар. Шарпи бойынша соққы майысуға сынақтар. 1-бөлім. Сынақтар әдісі»;

- EN 10155 «Атомосфералық коррозияға жоғары кедергімен құрылымдық болаттар. Жеткізудің техникалық шарттары»;

- EN 10160 «6 мм тең немесе артық табак прокатын ультрадыбысты тестілеу» (көрсетілген толқындар әдісі»);

- EN 10164 «Прокат қалыңдығы бағытында жақсартылған деформация қасиеттерімен болат бұйымдар. Жеткізудің техникалық талаптары»;

- EN 10210-1 «Легирленбеген ұсақ түйіршікті құрылымдық болаттардан жасалған ыстықтай жұқартылған тұйық профильдер. 1-бөлім. Жеткізудің техникалық талаптары»;

- EN 10219-1 «Легирленбеген ұсақ түйіршікті құрылымдық болаттардан жасалған салқын қалыптанған тұйық профильдер. 1-бөлім. Жеткізудің техникалық талаптары».

## **3 ТЕРМИНДЕР, АНЫҚТАМАЛАР, БЕЛГІЛЕР ЖӘНЕ ҚЫСҚАРТУЛАР**

3.1 Осы нұсқаулықта тиісті анықтамалардан тұратын келесі терминдер қолданылады:

- ҚР ҚН EN 1990 1.5 Тармағымен;



- ҚР ҚНЕН 1993-1-11.5 Тармағымен;
- ҚР ҚНЕН 1993-1-21.5 Тармағымен;
- ҚР ҚНЕН 1993-1-3 1.3 Тармағымен;
- ҚР ҚНЕН 1993-1-4 1.5 Тармағымен;
- ҚР ҚНЕН 1993-1-5 1.3 Тармағымен;
- ҚР ҚНЕН 1993-1-6 1.3 Тармағымен;
- ҚР ҚНЕН 1993-1-7 1.3 Тармағымен;
- ҚР ҚНЕН 1993-1-8 1.4 Тармағымен;
- ҚР ҚНЕН 1993-1-9 1.3 Тармағымен;
- ҚР ҚНЕН 1993-1-10 1.3 Тармағымен;
- ҚР ҚНЕН 1993-1-11 1.3 Тармағымен;
- ҚР ҚНЕН 1993-2 1.5 Тармағымен;
- ҚР ҚНЕН 1993-3-1 1.5 Тармағымен;
- ҚР ҚНЕН 1993-3-2 1.5 Тармағымен;
- ҚР ҚНЕН 1993-4-1 1.5 Тармағымен;
- ҚР ҚНЕН 1993-4-2 1.5 Тармағымен;
- ҚР ҚНЕН 1993-4-3 1.5 және 1.8 Тармақтармен;
- ҚР ҚНЕН 1993-51.5 және 1.8 Тармақтармен;
- ҚР ҚНЕН 1993-6 1.5 Тармағымен.

3.2 Осы нұсқаулықта тиісті анықтамалардан тұратын келесі рәміздер қолданылады:

- ҚР ҚНЕН 1990 1.6 Тармағымен;
- ҚР ҚНЕН 1993-1-1 1.6 Тармағымен;
- ҚР ҚНЕН 1993-1-2 1.6 Тармағымен;
- ҚР ҚНЕН 1993-1-3 1.4 Тармағымен;
- ҚР ҚНЕН 1993-1-4 1.6 Тармағымен;
- ҚР ҚНЕН 1993-1-5 1.4Тармағымен;
- ҚР ҚНЕН 1993-1-6 1.4 Тармағымен;
- ҚР ҚНЕН 1993-1-7 1.4Тармағымен;
- ҚР ҚНЕН 1993-1-8 1.5 Тармағымен;
- ҚР ҚНЕН 1993-1-9 1.4 Тармағымен;
- ҚР ҚНЕН 1993-1-10 1.4 Тармағымен;
- ҚР ҚНЕН 1993-1-11 1.4 Тармағымен;
- ҚР ҚНЕН 1993-2 1.6 Тармағымен;
- ҚР ҚНЕН 1993-3-1 1.6 Тармағымен;
- ҚР ҚНЕН 1993-3-2 1.6 Тармағымен;
- ҚР ҚНЕН 1993-4-1 1.6,1.7 және 1.8 Тармақтармен;
- ҚР ҚНЕН 1993-4-2 1.6,1.7 және 1.8 Тармақтармен;
- ҚР ҚНЕН 1993-4-3 1.6 және 1.7 Тармақтармен;
- ҚР ҚНЕН 1993-5 1.6 Тармағымен;
- ҚР ҚНЕН 1993-61.6 Тармағымен.

## 4 ОМЫРЫЛҒЫШ БҰЗЫЛУДЫ БОЛДЫРМАУ ҮШІН МАТЕРИАЛДАРДЫ ТАҢДАУ

### 4.1 Жалпы ережелер

4.1.1 Осы құралдың 4-бөлімі соққы тұтқырлығы бойынша талаптарды ескере отырып болат материалын таңдау бойынша ҚР ҚН EN 1993-1-10 қолдану ережелерін сипаттайды және толықтырады.

4.1.2 Осы құрал S235 бастап S690 дейінгі болат маркасымен болатты таңдау үшін қолданылады.

4.1.3 Осы құралдың ережесі жаңа құрылыс құрылымдары үшін ғана материалды таңдауға қолданылады. Осы ережелер жаңа құрылыс құрылымдарына арналған. Осы ережелер әлдеқашан пайдаланудағы құрылымдарды, болат материалдарын бағалауға арналған.

4.1.4 Осы құрал ережелері EN 1090 стандарттарының нұсқауларына сәйкес дайындалған және құрастырылған құрылымдардың болат материалдарын таңдауға қолданылады.

4.1.5 Осы құрал ережелері болат құрылымдардың созылған немесе майысатын элементтеріне қолданылады. Белгі ауыспалы босаңсу жүктемелеріне ұшыраған дәнекерлеу құрылымдарына да осы құрал қолданылады.

4.1.6 Осы құрал ережелерін құрылымның сығымдалған элементтері үшін қолданбауға болады.

4.1.7 Осы құрал ережелері EN 10025 және EN 10210 стандарттарының талаптарына сәйкес келетін болатқа қолданылады.

1 ЕСКЕРТПЕ EN 10025 және EN 10210 талаптарына (осы құралдың А қосымшасын қараңыз) сәйкес келетін отандық болат маркаларын (ҚР ҚНМЕ 5.04-23-2002 51-Кестесін қараңыз) қолдануға рұқсат етіледі.

2 ЕСКЕРТПЕ EN 10025 және EN 10210 бойынша болат маркаларының физикалық-механикалық қасиеттері осы құралдың 4.1 және 4.2 Кестелерінде берілген.

3 ЕСКЕРТПЕ EN 10025 стандарты құрылымдық қуыс профильдер мен құбырларды қоспағанда ыстық жұқартылған құрылым болаттан жазық және ұзын өлшеуішті өнімді жеткізудің техникалық шарттарын анықтайды.

Құрылым болаттарына қойылатын ерекше талаптар мынадай бөлімдерде берілген:

а) EN 10025-2 бөлімі: Легирленбеген құрылым болаттары үшін жеткізудің техникалық шарттары.

б) EN 10025-3 бөлімі: Қалыптандырылған/ дәнекерлеуге жарамды жұқартылған ұсақ түйірлі құрылым болаттарын жеткізудің техникалық шарттары.

в) EN 10025-4 бөлімі: Дәнекерлеуге жарамды термомеханикалық жұқартылған ұсақ түйірлі құрылым болаттарын жеткізудің техникалық шарттары.

г) EN 10025-5 бөлім: Атмосфералық коррозияға жақсартылған кедергімен құрылымдық болат үшін жеткізудің техникалық шарттары.

д) EN 10025-6 бөлім: Шыныққан және шығаралған күйдегі жоғары тұрақсыздық шегімен құрылым болаттарынан жасалған жалпақ прокат үшін жеткізудің техникалық шарттары.

EN 10025 стандарттарымен анықталған болат бұрандалар мен тойтармада дәнекерлеу құрылымдарында пайдалануға арналған.

4 ЕСКЕРТПЕ EN 10210-1 стандарты ыстық қалыптау, дөңгелек, квадратты және тікбұрышты қима әдісімен дайындалған қуыс құрылымды профильдерге жеткізудің техникалық шарттарын белгілейді және кейіннін термиялық өңдеумен немесе онсыз ыстық қалыптау әдісімен дайындалған қуыс профильдерге, сондай-ақ ыстық қалыптау әдісімен дайындалған өнім қасиеттеріне тең бағалы металлургиялық қасиеттерді қамтамасыз ету үшін дайындағаннан кейін термиялық өңдеуден өткен салқын қалыптау әдісімен дайындалған қуыс профильдерге қолданылады.

Рұқсат етулер, көлемдері мен сипаттамаларына қойылатын талаптар EN 10210-2 стандартында беріледі.

## **4.2 Материал қасиеті**

### **4.2.1 Жалпы ережелер**

4.2.1.1 Болат құрылымдарды жобалау кезінде материалды таңдау кезінде болаттың механикалық және технологиялық қасиетін, болатты термиялық өңдеу тәсілін және болатқа қорғаныш жабынын енгізу әдісін ескеру қажет.

4.2.1.3 Болаттың негізгі механикалық қасиеттері:

- беріктігі (4.2 Кестені қараңыз);
- икемділік (4.3 Кестені қараңыз);
- салыстырмалы ұзарту (4.4 Кестені қараңыз).

4.2.1.4 Негізгі технологиялық қасиеттер

- дәнекерленгіштігі (4.2.3 Тармақты қараңыз);
- қалыптылығы;
- коррозиялық төзімділігі.

4.2.1.5 Болатты термиялық өңдеу тәсілдері:

- термиялық тәсіл (4.2.4.1 Тармақты қараңыз);
- термомеханикалық (4.2.4.2 Тармақты қараңыз).

4.2.1.6 Болаттың қорғаныш жабынын салу әдістері:

- ыстық әдіс (4.2.5.1 Тармақты қараңыз);
- металдандыру (4.2.5.2 Тармақты қараңыз);
- химиялық тұндыру (4.2.5.3 Тармақты қараңыз);
- электрохимиялық тұндыру (4.2.5.4 Тармақты қараңыз);
- диффузиялық тәсіл (4.2.5.5 Тармақты қараңыз);
- жалату (4.2.5.6 Тармақты қараңыз);
- химиялық-термиялық өңдеу тәсілі (4.2.5.7 Тармақты қараңыз).

### **4.2.2 Болаттың негізгі механикалық қасиеттері**

4.2.2.1 Осы құралда ҚР ҚН EN 1993-1-1 берілген негізгі көтергіш және қосалқы болат құрылымдарды дайындау үшін механикалық прокат болаттарға қойылатын негізгі талаптар баяндалған.

Еуропалық Болат прокаты EN10025 орындалған болат бөліністеріне сәйкес 5 топқа бөлінген:

- а) құрылымдық болат (см. EN10025-2);
- б) төмен қосындыланған қалыптандырылған дәнекерленетін ұсақ түйірлі болат (EN10025-3 қараңыз);
- в) төмен қосындыланған термиялық жақсартылған дәнекерленетін ұсақ түйірлі болат (EN10025-4 қараңыз);
- г) конструкциялық атмосфераға төзімді болат (EN10025-5 қараңыз);
- д) шынықтырумен және жұмсартылған жоғары төзімділікті болаттың табақ прокаты (EN10025-6).

Топтар бойынша болаттардың шартты бөлінісі 4.1. Кестеде берілген.

**4.1 Кесте – Топтар бойынша болаттардың шартты бөлінісі**

Тобы	Стандарт	Болат прокат	Беріктік маркасы
1	EN10025-2	Көміртекті болат	S235 бастап S355 дейін
2	EN10025-3	Төмен қосындыланған қалыптандырылған болат	S275 бастап S460 дейін
3	EN10025-4	Төмен қосындыланған термиялық жақсартылған болат	S275 бастап S460 дейін
4	EN10025-5	Атмосфералық төзімді болат	S235 бастап S355 дейін
5	EN10025-6	Жоғары тұрақсыздық шегімен болат	S460 бастап S620 дейін

4.2.2.2 Осы құралда болат құрылымдарының есептерінде физикалық-механикалық сипаттамалардың мынадай мәндерін қабылдаған жөн:

- а) серпімділік модулі, мынаған тең:

$$E = 210 \text{ кН/мм}^2;$$

- б) серпімді сатыдағы Пуассон коэффициенті мынаған тең:

$$\nu = 0,3;$$

- в) ығыстыру модулі мынаған тең:

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} = \frac{210}{2 \cdot (1 + 0,3)} = 81 \text{ кН/мм}^2;$$

- г)  $\alpha$  сызықтық термиялық кеңею коэффициенті (Кельвиннен 100 градустан төмен температура кезінде) мынаған тең:

$$\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ К}^{-1};$$

- д) рболат тығыздығы мынаған тең:

$$\rho = 7850 \text{ кг/м}^3.$$

4.2.2.3  $f_t$  тұрақсыздық және  $f_u$  уақытша кедергінің номиналды мәндеріне ерекше көңіл бөлу талап етіледі. ҚР ҚН EN 1993-1-13.1(1) Тармағына сәйкес, есептеу кезінде тұрақсыздық мәнінің номиналды мәні мен уақытша кедергіні нормативті ретінде қабылдаған жөн.

4.2.2.4 Тұрақсыздық шегі (S460 дейінгі болат маркасы үшін) – болат түрінің өзгеру кестесінде төменгі жай-күйге жауап беретін механикалық кернеу, одан кейін болат үлгісінің серпімді түрін өзгертуі (жүктемені алғаннан кейін жоғалатын) пластикалық түрін өзгертуге (қайтымсыз) ауысады. S460 жоғары маркалы тұрақсыздық шегі (тұрақсыздық алаңы жоқ) – үлгінің қалдық ұзартылуы 0,2 % -ға жететін кернеу (4.1 Суретті қараңыз).

4.2.2.5 Уақытша кедергі – механикалық сынақтар кезінде болат үлгісінің үзілуі (бұзылуы) алдындағы барынша көп күшке сәйкес келетін механикалық кернеу (4.1 Суретті қараңыз).

4.2.2.6 Жоғары төзімділікті құрылым болаты үшін  $f_y$  тұрақсыздық шегі және  $f_u$  уақытша кедергінің номиналды мәнін мынаған тең деп қабылдаған жөн:

а) тікелей EN 10025-6 және EN 10149-2 стандарттары бойынша:

$$\begin{aligned} f_y &= R_{eH}, \\ f_u &= R_m; \end{aligned} \quad (4.1)$$

мұнда  $R_{eH}$  – прокатқа стандарт бойынша тұрақсыздық шегі;

$R_m$  – прокатқа стандарт бойынша уақытша кедергі.

б) осы құралдың 4.2 және 4.3 Кестелері бойынша.

в) осы құралдың 4.1.7. Тармағының 1-Ескертпесін ескере отырып, тікелей Қазақстан Республикасының МемСТ бойынша:

$$\begin{aligned} f_y &= \sigma_T, \\ f_u &= \sigma_B; \end{aligned} \quad (4.2)$$

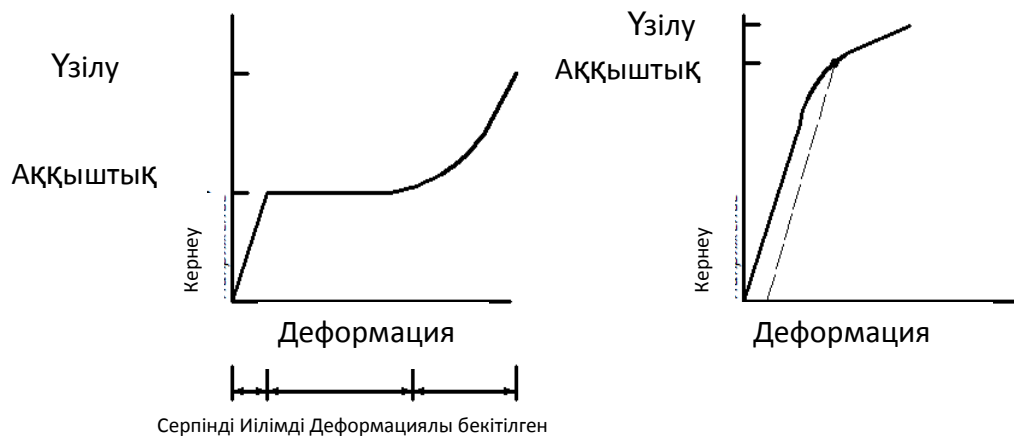
#### 4.2 Кесте - Ыстық жұқартылған құрылымдық болаттың созылуына $f_y$ тұрақсыздық және $f_u$ уақытша кедергінің номиналды мәндері

Стандарт және болат маркасы	t элементінің номиналды қалыңдығы, мм			
	t ≤ 40 мм		40 мм < t ≤ 80 мм	
	$f_y$ [Н/мм <sup>2</sup> ]	$f_u$ [Н/мм <sup>2</sup> ]	$f_y$ [Н/мм <sup>2</sup> ]	$f_u$ [Н/мм <sup>2</sup> ]
<b>EN 10025-2</b>				
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	510	335	470
S 450	440	550	410	550
<b>EN 10025-3</b>				
S 275 N/NL	275	390	255	370
S 355 N/NL	355	490	335	470
S 420 N/NL	420	520	390	520
S 460 N/NL	460	540	430	540

**4.2 Кесте - Ыстық жұқартылған құрылымдық болаттың созылуына  $f_y$  тұрақсыздық және  $f_u$  уақытша кедергінің номиналды мәндері(жалғасы)**

Стандарт және болат маркасы	t элементінің номиналды қалыңдығы, мм			
	t ≤ 40 мм		40 мм < t ≤ 80 мм	
	$f_y$ [Н/мм <sup>2</sup> ]	$f_u$ [Н/мм <sup>2</sup> ]	$f_y$ [Н/мм <sup>2</sup> ]	$f_u$ [Н/мм <sup>2</sup> ]
<b>EN 10025-4</b>				
S 275 M/ML	275	370	255	360
S 355 M/ML	355	470	335	450
S 420 M/ML	420	520	390	500
S 460 M/ML	460	540	430	530
<b>EN 10025-5</b>				
S 235 W	235	360	215	340
S 355 W	355	510	335	490
<b>EN 10025-6</b>				
S 460 Q/QL/QL1	460	570	440	550
<b>EN 10210-1</b>				
S 235 H	235	360	215	340
S 275 H	275	430	255	410
S 355 H	355	510	335	490
S 275 NH/NLH	275	390	255	370
S 355 NH/NLH	355	490	335	470
S 420 NH/NHL	420	540	390	520
S 460 NH/NLH	460	560	430	550
<b>EN 10219-1</b>				
S 235 H	235	360		
S 275 H	275	430		
S 355 H	355	510		
S 275 NH/NLH	275	370		
S 355 NH/NLH	355	470		
S 460 NH/NLH	460	550		
S 275 MH/MLH	275	360		
S 355 MH/MLH	355	470		
S 420 MH/MLH	420	500		
S 460 MH/MLH	460	530		

ЕСКЕРТПЕ Бұрын құрылымдық болат атауын белгілеу үшін уақытша кедергі мәні пайдаланылды, яғни, St 52 (Германия) болат маркасы 52 кг/мм<sup>2</sup> тұрақсыздық шегіне ие. Бүгінгі таңда, халықаралық нормаларды келіскеннен кейін европалық болат атаулары болат тұрақсыздығы шегінің мәнінен шығады, яғни, S 355 маркалы болат (бұрынғы St 52) 355 Н/мм<sup>2</sup> тұрақсыздық шегіне ие.



а) S235 – S460 сыныпты шағын көміртекті болат

б) S460-S700 жоғары төзімді болат

#### 4.1 Сурет

4.2.2.7 Осы құралды пайдаланушы статикалық есептеу кезінде икемділікті ескеруі қажет.

4.2.2.8 Болат құрылымдардың есебі сипаттамалары осы құралдың 4.2 Кестесінде берілген болаттар үшін не болмаса осы құралдың 4-бөлімінің барлық талаптарына жауап беретін болаттар үшін орындалуы тиіс.

4.2.2.9 Осы құралдың ережелеріне сәйкес болат құрылымдарды жобалау кезінде болат мынадай мәндерге ие болуы тиіс:

а)  $f_y$  тұрақсыздық шегінің мәніне  $f_u$  уақытша кедергінің номиналды мәнінің арақатынасы 1,1 қарағанда үлкен болуы тиіс (4.3 Кестені қараңыз):

$$\frac{f_u}{f_y} > 1,1;$$

#### 4.3 Кесте – EN 10025 бойынша дайындалған болат икемділігі

Тобы	Болат прокаты	Барынша аз мәні $f_u/f_y$
1	Көміртекті болат (EN 10025-2)	1,3
2	Төмен қосындыланған қалыптандырылған болат (EN 10025-3)	1,2
3	Төмен қосындыланған термиялық жақсартылған болат (EN 10025-4)	1,2
4	Атмосфералық төзімді болат (EN 10025-5)	1,3
5	Жоғары тұрақсыздық шегімен болат (EN 10025-6)	1,1

б)  $\varepsilon_y$  серпімді түрін өзгертуге  $\varepsilon_{ш}$  шекті түрін өзгерту мәнінің арақатынасы 15,0 артық болуы тиіс:

$$\frac{\varepsilon_u}{\varepsilon_y} > 15,0;$$

в) болат үлгісінің салыстырмалы ұзартылуы  $5,65 \cdot \sqrt{A_0}$  үлгінің бастапқы ұзындығы кезінде кемінде 15%, мұнда  $A_0$  – болат үлгісінің көлденең қимасының бастапқы ауданы (4.4 Кестені қараңыз).

#### 4.4 Кесте – EN10025 бойынша болаттан дайындалған үлгілерді салыстырмалы ұзарту

Тобы	Болат прокат	Үзілуден кейін $l_f = 5,65 \cdot \sqrt{A_0}$ ұзындықты үлгіні ұзартудың барынша аз пайызы, %					
		Беріктік маркасы					
		S235	S275	S355	S420	S460	>S460
1	Көміртекті болат (EN 10025-2)	24	20	20	-	-	-
2	Төмен қосындыланған қалыптандырылған болат (EN 10025-3)	-	23	21	18	17	-
3	Төмен қосындыланған термиялық жақсартылған болат (EN 10025-4)	-	24	22	19	17	-
4	Атмосфералық төзімді болат (EN 10025-5)	24	-	20	-	-	-
5	Жоғары тұрақсыздық шегімен болат (EN 10025-6)	-	-	-	-	-	15

#### 4.2.3 Негізгі технологиялық қасиеттер

Прокаттың дәнекерленгіштігі 4.5 Кестеде берілген мәндерден аспауы тиіс CEV көміртекті балама арқылы дәнекерленгіштігі бағалануы тиіс.

#### 4.5 Кесте – EN 10025 бойынша дайындалған болаттың көміртекті баламасының мәні

Тобы	Болат прокат		CEV көміртекті баламаның шекті мәндері			
1	Прокат қалыңдығы, мм		≤30	>30 ≤40	>40 ≤ 150	> 100 ≤250
	Көміртекті болат (EN 10025-2)	S235	0.35	0.35	0.38	0.40
		S275	0.40	0.40	0.42	0.44
		S355	0.45	0.47	0.47	0.47
2	Прокат қалыңдығы, мм		≤40	>40 ≤63	>63 ≤100	> 100 ≤250



**4.5 Кесте – EN 10025 бойынша дайындалған болаттың көміртекті баламасының мәні (жалғасы)**

Тобы	Болат прокат		CEV көміртекті баламаның шекті мәндері			
	Төмен қосындыланған қалыптандырылған болат (EN 10025-3)	S275	0.40	0.40	0.40	0.42
		S355	0.43	0.43	0.45	0.45
		S420	0.48	0.48	0.50	0.52
		S460	0.53	0.53	0.54	0.55
3	Прокат қалыңдығы, мм		≤40	>40≤63	>63 ≤ 120	>120 ≤150
	Төмен қосындыланған термиялық жақсартылған болат (EN 10025-4)	S275	0.34	0.35	0.38	0.38
		S355	0.39	0.40	0.45	0.45
		S420	0.45	0.46	0.47	0.47
		S460	0.46	0.47	0.48	0.48
5	Прокат қалыңдығы, мм			≤50	> 50 ≤100	> 100≤150
	Жоғары тұрақсыздық шегімен болат (EN 10025-6)	S460		0.47	0.48	0.50
		S500		0.47	0.70	0.70
		S550		0.65	0.77	0.83
		S620		0.65	0.77	0.83
1 ЕСКЕРТПЕ Кестедегі көміртекті баламалы мәндер мынадай формула бойынша анықталды: $CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + M_0 + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}.$						
2 ЕСКЕРТПЕ Күкірт және фосфор мөлшері бойынша шектеу: а) күкірт – мөлшері 0,03%-дан аспайды (күкірт төзімділік пен дәнекерленгіштікті төмендетеді); б) фосфор мөлшері 0,025%-дан аспайды (фосфор икемділік пен тұтқырлықты төмендетеді).						

#### 4.2.4 Болатты термиялық өңдеу тәсілдері

##### 4.2.4.1 Термиялық өңдеу

4.2.4.1.1 Болатты термиялық өңдеуге мынадай үрдістер жатқызылады: бірінші және екінші бағытты күйдіру; шынықтыру; жұмсарту.

4.2.4.1.2 Бірінші бағытты күйдіру болат құрамына байланысты нақты температураға дейінгі (A<sub>1</sub> нүктесінен төмен) қыздыруға, бірнеше сағат бойында ұстауға, және кейіннен жай баяу салқындатуға негізделген. Илемді түрін өзгерту кезінде қалың болдырмау үшін қолданылатын күйдіру (қайта кристалдану) көбінесе, 450-650 °C температура кезінде орын алады; қалдық температураны алу үшін күйдіру (құюдан бастап, дәнекерлеу, кесумен өңдеу) көбінесе, 550-680 °C температура кезінде орын алады.

4.2.4.1.3 Екінші бағыттағы күйдіру A<sub>1</sub> және A<sub>3</sub> температураларынан жоғары температураға дейін қыздыруға, бірнеше сағат ішінде ұстауға және кейіннен жай баяу салқындатуға негізделген, оның нәтижесінде болатқа фазалық айналуы орын алады және болат феррит+перлит құрылымына ие болады. Күйдіргеннен кейін болат төмен қаттылық және беріктікке ие болады, түйір ұсақталады. Толы күйдіруді A<sub>c3</sub>30-50 °C-қа жоғары температурамен жүргізеді, мұнда ұсақ түйірлермен аустенит түзіледі. Егер температура

жоғары болса, түйір өсе бастайды және болат қасиеті нашарлайды. Ұстау уақыты 0.5-1 сағат. Салқындату қосындыланған болат үшін 10-100 град/сағ. және көміртектілері үшін 150-200 град/сағ. жылдамдықпен жүреді. Толық емес күйдіруді ішкі кернеулерді алу үшін  $A_{c1}$  нүктесінен бірнеше жоғары температурамен және кесу арқылы өңдеуді жеңілдету үшін жүргізеді. Төмен күйдіру немесе жоғары жұмсартуды прокаттың артық қаттылығын алу үшін қолданады және  $A_c$  нүктесінен бірнеше төмен 650-680 °C температура кезінде орындайды. Қалыптандыру күйдіру немесе қалыптандыру  $A_{c3}$  нүктесінен 50 – 60 °C жоғары болатты қыздыруға, созылмалы емес ұстау мен ауада салқындатуға негізделген. Қыздыру фазалық қайта кристалдандыруды туғызады және нәтижесінде, құю немесе илемдеу кезінде алынатын ірі түйірлі құрылымды жояды. Ауада жылдамдатылған салқындату аустениттің ыдырауына әкеледі, бұл ферритті-цементті қоспаның майдалылығын жоғарылатады және перлит көлемін көбейтеді. Бұл күйдірілгенмен салыстырғанда қалыпты болаттың беріктіктігі мен қаттылығын 10-15%-ға жоғарылатады.

4.2.4.1.4 Шынықтыру осы температура кезінде  $A_{c3}$ -дан 30-50 °C жоғары температураға дейін болатты қыздыру және жылдам салқындатудан тұрады. Бұл жағдайда  $A_{c3}$  нүктесінен жоғары құралған аустенит жылдам салқындату кезінде мартенситке айналады. Шынықтырудан кейін  $A_{c1}$ –  $A_{c3}$  температура аралығында болатты қыздыру кезінде мартенситпен қатар феррит учаскелері қалады. Мұндай болаттың беріктігі мен қаттылығы төмен. Салқындататын шынықтыру қоспалары ферритті-цемент қоспасына аустениттің ыдырауын болдырмау үшін әсіресе 650-550 °C температура диапазонында жоғары салқындату жылдамдығын қамтамасыз етуі тиіс, бірақ бұл ретте мартенситті айналу аймағындағы 300- 200 °C салқындату жылдамдығы жоғары ішкі кернеулерді болдырмау үшін жоғары болмауы тиіс. Салқындатушылар ретінде әдетте суды, судағы 10% NaCl ерітіндіні және минералды майды қолданады. Судағы салқындатуға қарағанда майдағы салқындату жылдамдығы 20-25 есеге баяу, ал қайнау температурасы 250 - 300°C. Майдағы шынықтыру ақаулардың түзілуін азайтады және ішкі кернеулердің деңгейін төмендетеді.

4.2.4.1.5 Шынықтырылған болатты жұмсарту  $A_{c1}$  жоғары емес қыздыруға және тапсырылған жылдамдықпен салқындатуға негізделген. Жұмсарту – термиялық өңдеудің түпкілікті кезеңі. Бұл ретте болат талап етілетін механикалық қасиетті алады. Жұмсарту кезінде шынықтырылғаннан кейінгі қалдық кернеу айтарлықтай азайтылады. Төмен температуралы жұмсартуды 250 °C температура кезінде жүргізеді. Болат құрылымы – жұмсарту мартенситі. Бұл ретте болат қаттылықты азайтпастан ішкі кернеуді төмендету есебінен нығайтылады. Орташа температуралық жұмсартуды 350-500 °C температура кезінде орындайды. Мұндай жұмсарту серпімділіктің біршама жоғары шегін қамтамасыз етеді және тұтқырлықты біршама жоғарылатады. Жұмсартудан кейінгі болат құрылымы - HRC40-50 қаттылықпен жұмсартуды жіңішкертеді. Жоғары температуралы жұмсартуды 500-680 °C температура кезінде орындайды. Мұндай жұмсарту соққы тұтқырлығын айтарлықтай жоғарылатады және ішкі кернеуді толығымен алады. Беріктік пен қаттылық төмендейді, бірақ, қалыптандырудан кейін әлі де біршама жоғары болады. Жұмсартудан кейінгі болат құрылымы – жұмсартуды сіңіреді. Шыныққан кейін болат және жоғары температуралы жұмсарту термиялық жақсартылған болып аталады.

#### 4.2.4.2 Термомеханикалық өңдеу

Термомеханикалық өңдеу оны шынықтырумен аустенитті күйде икемді түрін өзгертудің үйлесімділігіне; жоғары температуралық термомеханикалық өңдеуге (ЖТТӨ) -  $A_{c3}$  температурасынан жоғары оны қыздыру кезінде болат түрінің өзгеруіне негізделген, бұл кезде болат аустенитті құрылымға ие. Төмен температуралы термомеханикалық өңдеу (ТТМӨ) қайта салқындатылған аустенит аймағында 400-600°C температура кезінде болат түрінің өзгеруіне (75-95%) негізделген. Шынықтыруды түрін өзгертуден кейін орындайды. Екі жағдайда да шынықтырылғаннан кейін 100-300°C температура кезінде төмен температуралы жұмсарту орын алады. ТТМӨ ұшыраған болат беріктігі  $\delta = 6-8\%$  жақсы икемділік пен  $KCU = 50-60$  Дж/см<sup>2</sup> тұтқырлық кезінде  $\sigma_u = 2200-3000$  МПа мәнге жетуі мүмкін, ал  $\delta = 6-8\%$  жақсы икемділік пен  $KCU = 50-60$  Дж/см<sup>2</sup> тұтқырлық кезінде, сол болаттың жай шынықтырылуынан кейін  $\sigma_u = 2000-2200$  МПа,  $\delta = 3-4\%$  мәнге жетуі мүмкін.

#### 4.2.5 Болаттың қорғаныш жабынын салу әдістері

##### 4.2.5.1 Жалпы ережелер

Болаттың қорғаныш метал жабындары әртүрлі тәсілдермен салынуы мүмкін – ыстық, меал, химиялық, электр химиялық, конденсациялық, диффузиялы, байланысты. Оларды салу әдістеріне байланысты жабын әртүрлі сипаттамалара ие болады, бірақ жабын қабілетіне салу әдісі негізгі металдың коррозиялы қорғаныш көрсетуі болмашы ғана әсер етеді.

##### 4.2.5.2 Ыстық тәсіл

4.2.5.2.1 Жабынға арналған метал балқытылған күге дейін қыздырылады, ал негізгі метал балқытылған металмен ваннаға салынады (ыстық жүктеу үрдісі) не болмаса балқытылған метал құйылады не болмаса қандай да басқа жолмен бұйымның үстіңгі қабатына түседі (дәнекерлеу үрдісі).

4.2.5.2.2 Жабын метал бұйымның үстіңгі қабаты бойынша толығымен таралуы үшін және жеткілікті адгезияға ие болуы үшін бұйымнан тотықты үлдірді алып тастау қажет. Бұған флюс арқылы қолжеткізіледі. Ыстық тәсілмен жабынды салу үрдісінің жүйелілігі мынадай түрде ұсынылуы мүмкін: металды беру => ерітіндіге салу=> жуу және кептіру => флюсқа салу=> балқытылған металға жүктеу=> ағу және кептіру.

4.2.5.2.3 Ыстық тәсілмен жабылатын бұйым үлкен көлемге ие болуы мүмкін. Ванналардың ұзындығы 18 м дейін болуы мүмкін. Үлкен көлемнің бөлшектері алдымен біреуін, содан кейін екінші ұшын ваннаға сала отырып жабады. Табақтарды, лента және сымды айдау флюсімен және жабын ерітіндісімен ванна арқылы өткізе отырып автоматтандырылған тоғын линиясымен өңдеуге болады, содан кейін қажетті ұзындықтағы орамға айналдыруға болады.

4.2.5.2.4 Болатты ыстық мырыштау біршама кең таралған. Тотты, қабыршақты кетіру және үстіңгі қабатын біршама кедір-бұдыр ету үшін алдымен болатты тұзды қышқыл ерітіндісіне салады. Желінуден кейін металды хлорлы алюминиймен флюстеуді мырышталған ваннаның үстіңгі қабатындағы балқытылған флюс арқылы өткізумен жүзеге асырады (кейбір жағдайда екі әдісті де қолданады). 430° бастап 470 °С дейінгі температураға ие мырышты ваннаға жүктеу кезінде темірмен мырышты балқыту қабаттары түзіледі. Бұл балқыма әдетте үш құрауыштан тұрады: 6.25%  $\xi$ -фаза, 11%  $\delta$ -фаза, 22%  $\gamma$ -темір фазасы. Темірдің барынша көп мөлшері жабынның төменгі қабаттарында болады, ал ең азы мырыш жабынының үстіңгі қабатында болады. 480 °С жоғары температура кезінде интерметаллидтің аса қалың қабаттарының түзілуі темірмен мырыш балқымасының біршама сынғыштығына байланысты жабынның омырылғыштығына әкеледі. Мырышты балқымаға аз ғана мөлшердегі алюминийді (0.1-0.2%) қосу балқыманың түзілу қарқындылығын төмендетеді және жабынның икемділігін жоғарылатады. Ваннада әрқашан дросс түзіледі (құрамында 3-7% темір бар мырыш балқымасы), ол ваннаның түбіне тұнады. 40 мкм қалыңдықпен жабын шамамен 1 м<sup>2</sup>-ге 250 грамды құрайды.

4.2.5.2.5 Ыстық мырыштау коррозиядан болат құрылымдарын қорғау үшін артықшылықты. Ыстық мырыштауға қосалқы құрылымдарда (көпір төсемінің элементтері), оның ішінде арқанды элементтердің жоғары төзімді сымдары да ұшырайды.

4.2.5.2.6 Болатты ыстық алюминдеу ыстық мырыштау үрдісін, бірақ біршама күрделі үрдісті толығымен қайталайды. Бұл – балқытудың біршама жоғары температурасымен - 700 °С және алюминий тотығын түзудің үлкен жылдамдығымен байланысты. Жоғары температура есебінен темір мен алюминий арасында лезде реакция жүреді, бұл омырылғыш интерметаллидтің түзілуіне әкеледі. Ваннаның үстіңгі қабатын жабатын алюминий тотығы жабынның түзілуіне кедергі келтіреді. Осы себептерге байланысты ванна флюс қабатымен жабылған, ол ауаның алюминиймен байланысын болдырмайды. Темір мен алюминий қоспаларының мөлшерін азайту үшін ваннаға 6-7% кремнийді қосады. 25 мкм қалыңдықпен алюминий жабыны шамамен 1 м<sup>2</sup>-ге 250 грамды құрайды.

### **4.2.5.3 Меттализация**

4.2.5.3.1 Тозандатылған метал жабынды жабын металын балқыту және оны металлизаторда тозандатылған бөлшектерге айналдырумен алынады. Балқытылған бөлшектер үстіңгі қабатқа 100-150 м/с жылдамдықпен салынады. Үстіңгі қабатқа түскен кезде ол жайылады және онымен бекітіледі, Түсу кезінде немесе одан бұрын балқытылған бөлшектердің қатаюы орын алатындығы айқын емес. Жабын қалыңдығы металлизатордың қозғалыс жылдамдығымен, үстіңгі қабаттан алшақтығымен және қабаттар санымен анықталады. Қатайған бөлшектер таза механикалық жүктеулер есебінен негізгі металдың үстіңгі қабатына жабысады, және екі метал арасында химиялық әрекеттесу орын алмайды. Тозанданған бөлшектер бір-біріне соғыла отырып ішінара дәнекерленеді және осылайша берік жабынды түзеді, ол көптеген кеуекке ие. Бірақ, кеуектілігіне және ішіндегі жоғары тотыққа қарамастан, жабынның ішкі өткізгіштігі өте жоғары. Осының арқасында жабын жақсы анодты қорғанышқа ие. Бірақ, жабынның кеуекті сипаты жабын қабатының

ішіндегі коррозияның пайда болуына әкеледі. Сондықтан, тозаңданатын жабын лак-бояу материалдарын пайдалана отырып кеуекті жою бойынша кейіннен өңдеуді талап етеді. Нақты жағдайларда жабын термиялық өңдеуге ұшырауы мүмкін, бұл жабын мен негізгі металдың диффузиялы балқымасының түзілуіне әкелуі мүмкін. Мұндай жабын коррозияға айтарлықтай кедергі болуы мүмкін.

#### 4.2.5.3.2 Металдандырудың үш негізгі тәсілі бар:

а) жалынды металдану металлаторға жабын үшін метал берілгенде және оттегі-пропанды немесе оттегі-ацетиленді жалынмен балқыған кезде орындалады, Сығымдалған ауа, қыздырылған жалын әсерімен балқытылған метал бөлшектері металлатор шүмегінен бұйымға түседі. Осы екі жағдайдағы жабындар сапасының болмаша ғана айырмашылығы бар. Ұнтақты тозаңдану кезінде жабынның кедір-бұдырлығы артады, ал кеуектілігі 10-15% құрайды, ал негізгі металмен беріктігі 7 МПа. Ұнтақты тозаңдану кезінде тотық мөлшері өседі, және ұнтақты жүктеу үшін үрдісті ұзу талап етіледі. Сымды тозаңдану кезінде үрдіс тек сымды орам сыйымдылығымен ғана шектелген, сондықтан іс жүзінде үзілмейді. Ымды тозаңданудың артықшылықтарына тозаңданатын металдың ластану қаупінің жоқ екендігін және металлатордың үлкен ықшамдылығын жатқызуға болады.

б) Электр доға тәсілімен металдандыру жабын металының тұрақты ток және кернеудің электр доғасының әсерімен балқытылуына негізделген. Жабынға арналған метал байланысу нүктесінде электр доғасы түзелетін жұқа көтергіш электродтар болып табылатын диаметрі 2-3 мм екі сым түрінде беріледі. Балқытылған метал газ ағысы арқылы тозаңданады, ол электродтардың артында орналасқан шүмек арқылы үрленеді. Электр доғасына шілтерді алмастыру біршама ықшам құрал-жабдықты және біршама жоғары балқыту температурасын алуға мүмкіндік береді. Негізгі металмен жабын байланысының беріктігі 10 МПа құрайды.

в) Плазмалық металдану электр доғалық металдануға ұқсас. Бұл жағдайда доға сумен салқындатылатын иондаушы газ плазмасын білдіреді. Осы үрдістегі электродтар жұмсалмайды. Плазмалық металлатордағы сумен салқындатылатын вольфрамды катод мыс анодының суымен салқындатылатын, шүмек тәрізді негізге концентриялы орнатылған. Электродтар арасында берілетін газ иондалады және доғаны құрайды. Газ ағыны шүмек тесігіне доғаны итереді, мұнда шиыршықты ағын плазмалық доға ортасында жылу концентрациясын жасайды, Доға ортасындағы температура 20 000 °C жетеді. Жабын ұнтағы газ ағындарымен бірге беріледі және плазмалық доғаға түседі, мұнда бір сәтте балқытылады. Плазмалық металлаторда аргон біршама жиі қолданылады, бірақ құнды төмендету үшін азот пайдаланылуы мүмкін. Температураны көбейту үшін сутегі қосылуы мүмкін, ал егер сутекті үлкейту қауіптілігі болса, оны гелий алмастыруы мүмкін. Плазмалық металданудың негізгі артықшылығы жабынның кеуектілігін азайту және негізгі металға адгезияның айтарлықтай көбеюі болып табылады. 1-10% кеуектілікті, ал шамамен 30 МПа адгезияны алу өте жеңіл.

4.2.5.3.3 Металдандыру жабындары ретінде әдетте мырым және алюминий пайдаланылады. Атомосфералық әсерлерден қорғау үшін қабат қалыңдығы 50-150 мкм құрайды. Бұрандалық қоспалардың байланыс қабаттарына мырыш және алюминий

жабындарының тозандануы 0,45-0,55 үйкеу коэффициентін алуға мүмкіндік береді, ал алюминийдің тозандану кезінде ол 0,7 дейін көбейеді.

#### **4.2.5.4 Химиялық тұндыру**

Химиялық тұндырудың ең қарапайым мысалы – мыс купоросының ерітіндісіне салынған темірдегі мысты тұндыру. Бұл үрдіс темір иондарының мы иондарымен қарапайым алмасуымен байланысты. Бірақ, ол үлкен тәжірибелік қолдануға ие емес, өйткені, темір толығымен мыспен жабылғанда тұндыру тоқтатылады. Жабын өте жұқа, кеуекті және негізгі металмен нашар байланыстырылып алынады. Химиялық тұндыру тек екі жағдайда ғана пайдаланылады:

- 1) болат бұйымдардың декоративті жабыны үшін;
- 2) болат табактар немесе сымдарды уақытша қорғау үшін және созбалап өңдеу кезінде жақсы сырғуыды қамтамасыз ету үшін.

#### **4.2.5.5 Электрохимиялық тұндыру**

4.2.5.5.1 Жабын енгізілген метал жолбасшы болып табылады, ол осы металдың тұзын қамтитын электр өткізгіш ерітіндіге салынады. Катод болып негізгі метал, анод болып жабын металының өзекшесі немесе табағы табылады. ЭДС әсерімен катодта тұндыру орын алғаннан кейін, осылайша ерітіндідегі жабын металы иондарының тұрақты концентрациясын сақтай отырып жабын металы тұзды ерітіндіге өтеді.

4.2.5.5.2 Электр химиялық тұндыру кезіндегі метал жабынды алу сұлбасы мынадай: негізгі металл => өңдеу=> майсыздандыру=> химиялық тазарту => жуу => жүктеу және жуу => электр тұндыру => жуу және кептіру. Жабын мен негіз арасындағы аралық балқымалардың қабаттарын құрмастан үстіңгі қабатта жабын түзеледі.

4.2.5.5.3 Металдардың электрлік тұндырылуы Фарадея заңдары бойынша орын алады: ерітінді арқылы өткізілетін электр мөлшеріне және металдың химиялық эквивалентіне тікелей пропорционалды электролиз кезінде құралатын метал салмағы. Жабынның біркелкілігі анодтың орналасу орнына байланысты болады. Анодтан металдың өткізілуі катодқа қысқаша арақашықтық бойынша орын алады. Сондықтан, бұйым анод орналасқан жағынан, бір жағынан ғана жабылады, ал екінші жағы жабылмаған күйде қалады. Сондықтан жабынның біркелкілігі үшін катодты қоршайтын бірнеше анодтар орналасады.

4.2.5.5.4 Гальваникалық үрдістің ерекшелігі – катодта сутегінің бөлінуі. Сутегі иондарын немесе су молекулаларын қалпына келтірумен алынған сутегі молекулалары газ тәрізді жай-күйде босатылуы мүмкін және атом нысанындағы сутегі жабынға және негізгі металға енуі мүмкін. Егер бұл орын алған болса, омырылғыш бұзылу (мысалы, мырыш немесе кадмиймен жабылу кезіндегі жоғары төзімділікті болат) орын алуы мүмкін. Мұндай жағдайларда жабындарды салғаннан кейінгі термиялық өңдеу сутегін жоюға және сызаттардың пайда болуын болдырмауға мүмкіндік береді. Негізгі металдан немесе жабыннан атомдық сутекті жою үшін жабын бұйымдарын 190 °C температура кезінде 5 сағат бойы немесе 170°C температура кезінде 15 сағат бойы жүргізеді.

4.2.5.5.5 Жабындарды салғаннан кейін ток өткізу қалдықтарын жою үшін бұйымды мұқият жуу және кептіруді жүргізу маңызды. Олай болмаған жағдайда қышқылдармен немесе сілтілермен қаныққан бұл ерітінділер коррозияны туғыза отырып үстіңгі қабатқа әсер етеді.

4.2.5.5.6 Жабындар ретінде мыналар пайдаланылады: кадмий, мырыш, хром, мыс және оның балқымалары, алтын, қорғасын, никель, қалайы және т.б. Құрылыс бұйымдарын жабу үшін негізінен мырыш және кадмий пайдаланылады. Мырыш және кадмий жабындарының қалыңдығы әдетте 25 мкм құрайды.

#### **4.2.5.6 Метал буларының конденсациясы**

4.2.5.6.1 Газ фазасынан металдарды тұндыру төзімді тәсілдерден тиімді ерекшеленетін қасиеттермен жабынды қамтамасыз етеді: жоғары тазалық дәрежесі; оксидтердің болмауы; барынша аз қалыңдық; жарқыраған үстіңгі қабат; метал және метал емес жабынға тұндыру.

4.2.5.6.2 Тұндыру қысымы  $10^{-2}$  -  $10^{-3}$  Па дейін төмендетілген вакуумды камерада жүреді. Жабынды салу үшін металды вакуумды камераға орналастырады және оны әдетті қысымдағыға қарағанда біршама төмен газ тәрізді күйге дейін өткенше қыздырады. Метал булары камераны толтырады және біршама салқын заттарда тұндырылады. Бұл ретте бұйым болмашы қыздыруға ұшырайды. Катодты тозандандыруды қолдануға болады, мұнда теріс зарядталған бу молекулары оң зарядталған буға тартылады. Тұндырылатын бу қабатының қалыңдығы нанометрден ондаған микрометрге дейін өзгеруі мүмкін. Тұндыру үшін кез келген металды қолдануға болады.

#### **4.2.5.7 Диффузиялық әдіс**

4.2.5.7.1 Диффузиялық әдіс кезінде негізгі металл мен металл жабынының балқымасы құрылады. Жабынның қалыңдығы 5-35 мкм құрайды. Жабынды герметикалық жабық контейнерге түсіреді.

4.2.5.7.2 Тазартылған металдан жасалған бұйымды металл жабынынан тұратын ұнтаққа батырады. Бірнеше сағат ішінде контейнерді металдың балқу нүктесіне жақын (бірақ аз емес) температура кезінде қыздырады. Болатқа түсірілетін мырыш жабынын шерадизациялық деп атайды. Диффузиялық қабат мырыштағы 8-9% темір құрайтын балқымадан тұрады.

4.2.5.7.3 болаттың бетін алюминиймен қанықтыру алитирлеу деп аталады. Ұнтақты және сұйық алюминийді қолданады. Бірінші жағдайда температура 900-1050°C және ұзақтығы 3-12 сағат, екіншісінде 700-800 °C және ұзақтығы 1 сағатқа дейін. Артынан 900-1050°C температураға дейін күйдіріп шаңдату мүмкін болады. Алитирлеу нәтижесінде а-темірдегі алюминийдің қатты ерітіндісі (30% дейін) және болатты тот басудан сақтайтын  $Al_2O_3$  тотықтың беткі берік пленкасы түзіледі. Қабаттың қалыңдығы 0,2-1,0 мм. Жоғары температура кезінде жұмыс жасайтын бұйымды алитирлеуге ұшыратады. Хормдау – беткі жағының хроммен қанығуы. Хромдау тот басушылыққа төзімділікті арттырады, ал 0,3-0,4%С көміртегіден тұратын болаттың қаттылығын арттырады. Хромдауды ұнтақты

қоспаларда жүргізеді 1000-1050 °С температура кезінде (мысалы, 50% феррохром, 49% алюминий тотығы және 1% хлорлы аммоний) бірнеше сағат ішінде жүргізеді. Хромдау нәтижесінде а-темірде қалыңдығы 0.15-0.2 мм хромның қатты ерітіндісі түзіледі. Болаттың беткі жағын кремниймен қанықтыру процесі силицирлеу деп аталады. Силицирлеуді ұнтақты қоспаларда (мысалы, 75% ферросилиций + 20% шамот + 5%  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) немесе 950-1000 °С температура кезінде  $\text{SiCl}_4$  газ ортасында жүргізеді. Силицирлеу нәтижесінде а-темірде қалыңдығы 0.3-1.0 мм кремнийдің қатты ерітіндісі түзіледі. Силицирленген қабат жоғары беріктік пен жоғары төзімділікке ие.

4.2.5.7.4 Жоғарығы берік метиздерді (бұрандаларды, гайкаларды, тығырықтарды) термодиффузиялық мырыштау процесі (ТМП) 1.5-2 сағат ішінде 450-470°С температураға дейін диффузиялық мырыш-ұнтақты және инертті қоспада бірге бөлшектерді қыздыра отырып айналатын пеште жүреді. Мырышталатын бөлшектерді контейнерге салардың алдында қақтарынан, тоттану өнімдерінен тазалайды. ТМП кезінде темір және мырыш атомдарының қарсы диффузиясы өтеді. Бұл жағдайда болат бұйымның беткі жағында салмағының 7% бастап 28% дейінгісінен тұратын фаза түзіледі, қалғаны – мырыш және қоспаланған элементтер. Негізгі фаза  $\text{FeZn}_7$  формуласына сәйкес және ерекше төзімділік қасиет пен белгілі беріктікке, сондай-ақ жоғары тот басушылық беріктікке ие  $\delta^1$ - фаза болып табылады. ТМП кейін салқын фосфатирлеудің қосымша операциясы орындалады, оның нәтижесінде бұйымның бетінде оның операция аралық сақталуы процесінде сыртқы түрінің өзгермеушілігін қамтамасыз етуге мүмкіндік беретін қалыңдығы 3 мкм дейінгі жұқа поенка түзіледі. Бұрандалар мен гайкалардағы жабынның қалыңдығы сыртқы (6g) және ішкі (6H) бұрандасымен: M22 үшін - 25 мкм; M24 үшін - 30 мкм құрайды.

#### **4.2.5.8 Жалату**

Жалату термохимиялық әдістермен пластикалық өңдеу арқылы жабынды түсіруден тұрады: прокатты, престелген немесе соғылған. Барлық жағдайларда процесс механизмі біркелкі: металл жабынының қысым есебінен негізгі металмен қосылысы. Жабын және негізгі металл арасындағы жақсы адгезияға қол жеткізу үшін тиісті қысымда фазааралық шекарада (тотықтар түрінде) қоспаны толық жою қажет. Құрылыс құрылымдарында металды анодты қорғау үшін таза алюминий бұйымын жалату, сондай-ақ болат прокатты тот баспайтын хромды табакпен жалату назар аударарлық.

#### **4.2.5.9 Химиялық-термиялық өңдеу**

4.2.5.9.1 Болатты химиялық-термиялық өңдеу беткі жағының жоғары температура кезінде сыртқы ортадан атом жағдайында оларды диффузия жолымен әртүрлі элементтермен (көміртегімен, азотпен, алюминиймен, хром және т.б.) қанықтырудан тұрады. Кәдімгі термиялық өңдеуден ерекше, химиялық-термиялық өңдеу кезінде болаттың құрылымы ғана емес, сонымен қатар бетінің химиялық құрамы өзгереді.

4.2.5.9.2 Болатты цементтеу беткі қабатын одан әрі шынықтыру арқылы 0,8-1,0% концентрацияға дейін көміртегімен қанықтырудан тұрады. Негізгі мақсаты – қатты төзімділікке берік қабатты алу. Цементтеу және одан әрі шынықтыру төзімділік шегін



арттырады. Ол көп мөлшердегі көміртегіні акстениит еріткен кезде 930-950 °С ( $Ac_3$  нүктесінен жоғары) температура кезінде орындалады. Цементтеуді қатты карбюризатормен (белсендірілген ағаш көмірімен немесе кокспен+үдеткіштермен) немесе көміртегіден (мысалы,  $CH_4$ ) тұратын газ ортада орындайды.

4.2.5.9.3 Азоттау  $NH_3$  аммиак ортасында қыздырудан тұрады. Азоттау беткі қабаттың қаттылығын, оның төзімге беріктігін, шыдамдылық шегі мен тоттануға қарсылығын арттырады. Азоттау қабатының қаттылығы цементтеуге қарағанда жоғары және 600-650 °С температураға дейін қыздыру кезінде сақталады, бұл уақытта цементтелген қабаттың мартенситті құрылымы 200-250 °С температураға дейін сақталады. Қаттылыққа  $Fe_3Ni$   $Fe_4N$  нитридтерінің түзілуі есебінен қол жеткізіледі. Шағын көміртекті болат қабатының қаттылығы жоғары емес, сондықтан да азоттауға орташа көміртекті және қоспаланған болаттар ұшыратылады. Қоспаланған болаттарды азоттау кезінде ( $Cr_2N$ ,  $Mo_2N$ ,  $AlN$  және т.б.) қоспаланған элементтердің нитридтері түзіледі. Алюминийдің, өром, молибден және ванадийдің қаттылығы біршама артады. Азоттау процесі келесі операциялардан тұрады: 1) бұйымды термоөңдеу; 2) механикалық өңдеу; 3) азоттауға ұшырамаған учаскелерді қорғау; 4) азоттау – 20-90 сағат ішінде 500-560 °С температураға дейін аммиак ортасында қыздыру. Температура жоғары болған сайын, қабаттың қаттылығы төмен және оның қалыңдығы көп.

4.2.5.9.4 Болатты цианирлеу және нитроцементтеу беткі жағын көміртегі және азотпен біруақытта қанықтырудан тұрады. Цианирлеу үшін көміртегінің 0,2-0,4% тұратын болат пайдаланылады. Бұйымды цианирлеген кезде бұйымды цианистый натрийден тұратын  $NaCN$  балқытылған тұзда 820- 960 °С температураға дейін қыздырады. Қабаттың 0,15-0,35 мм түзілуі үшін  $NaCN$ , 25-50% және  $NaCl$  25-50%  $NaCO_3$  20- 25% тұратын ваннада 820-960 °С температураға дейін қыздыруды жүргізеді. Процестің ұзақтығы 30-90 минут. Қабаттағы көміртегінің болуы 0,6-0,7%, азотта 0,8-1,2%. Бұйымды нитроцементациялау кезінде көміртегі мен аммиактың газ қоспасында 850-870 °С дейін қыздырады. 0,25-1,0 мм қалыңдықтағы қабатты алу үшін процестің ұзақтығы 2-10 сағат. Температура жәнетрежим нитроцементтеу қоспасының ортасына тәуелді түрде әртүрлі болуы мүмкін. Цианирлеу және нитроцементтеуден кейін пештің 800-825 °С температурасы кезінде және 160-180 °С температура кезінде жіберу арқылы шынықтыруды орындайды.

### 4.3 Материалдарды таңдау рәсімі

4.3.1 Тұтықырлықты бұзу үшін материалды таңдаудың негізінде созылу немесе иілім кезінде жұмыс жасайтын құрылым элементтері үшін ерекше үйлесім кезінде бұзылу механикасының принциптері негізінде шекті жай-күйдің (ULS) бірінші тобы бойынша тексеру болып табылады.

4.3.2 Тексеру келесі ерекшеліктерді көрсетуі тиіс:

- болат учаскесінің құрылымдық бөлшегін ескертуді;
- сыртқы әсер етулер әрекеті мен қарастырылатын учаскедегі қалдық кернеуді;
- кернеу шоғырланған учаскеде сызаттың пайда болуы туралы ескертуді;
- температураның материалдың беріктік сипатының өзгерісіне әсерін есепке алуды;

– ерекше жағдай үшін сонымен қатар суық штампылау мен деформацияның жоғары жылдамдығы енгізілуі мүмкін.

4.3.3 Тұтқырлықты бұзу үшін материалды таңдау стандарттар негізінде жүзеге асырылады (EN 10025 қараңыз). Сынақтың стандартты температурасы кезінде  $T_{KV}$  [°C] стандартты үлгінің Шарпи бойынша V-тәрізді кесіндімен жұмыс  $A_v(T)$  джоульмен (Дж) соққылы майысу кезінде соққы энергиясының тағайындалған төменгі мағынасына сәйкес келуі тиіс (мысалы, болат үшін S355 J2:  $T_{27J} = -20$  ° C, немесе  $KV_{min} \geq 27$  Джоуль сынақ температурасы үшін  $T_{27J} = -20$  ° C). Бұзу механикасын тексеру материалдың нақты ерекшелігін есепке ала отырып жүзеге асырылуы тиіс.

4.3.4 EN 10025-1  $KV_{min}$  сәйкес ең төменгі мағына 70%  $KV_{min}$  аспауы тиіс EN 10025 материалында Үйлесетін Еуропалық стандарттар көрсетілгендей болаттың 3 біліктілік тестінің нәтижесі бойынша орташа мағына үшін төменгі шек болып табылады.  $KV_{min}$  талаптарын орындауға қажет қосымша 3 тестіні жүргізу қажет жағдайлар болады.

4.3.5 [2.2 (1) ҚР ҚН EN 1993-1-10] Болат класын таңдау кезінде келесілерді ескерген дұрыс:

а) болаттың сипаттамасы:

- материалдың қалыңдығына қарай аққыштық шегі  $f_y(t)$ ;
- $T_{27J}$  немесе  $T_{40J}$  көрсетілген бұзылу тұтқырлығының қасиеті.

б) элементтің сипаттамалары:

- элементтің нысаны және бөлшегі;
- ҚР ҚН EN 1993-1-9 бойынша бөлшектерге жүктеменің әсері;
- элементтің қалыңдығы (t);
- өндірістік ақауларға рұқсат берулер (мысалы шелді сызаттар немесе жартылай эллипсті беткі сызаттар).

в) есептік жағдайлар:

- неғұрлым жүктеулі элемент температурасының есептік мағынасы;
- есептік режимнен алынған тұрақты және уақытша жүктемелердің ең жоғары әсері;
- қалдық кернеу;
- ағымдағы тексеру кезінде босаңқылық жүктеудің сызаттың өсуіне рұқсат берулері (мағыналы болған жағдайда);
- кездейсоқ әсер етуден деформацияның жылдамдығы (мағыналы болған жағдайда);
- салқы иілім кезінде деформацияның дәрежесі (DCF) ( $\epsilon_{cf}$ ) (мағыналы болған жағдайда).

4.3.6 [2.2(3)ҚР ҚН EN 1993-1-10] Бұзылу тұтқырлығы талаптарын тексеруді келесі балама әдістермен жүргізу мүмкін болады:

- бұзылу механикасының әдісі: бұл жағдайда тұтқырлық талабының есептік мағынасы бұзылу тұтқырлығы қасиетінің есептік мағынасынан аспауы тиіс;
- сандық бағалау: ірі ауқымды сынақтар кезінде бір немесе бірнеше үлгілерді қолдану арқылы орындалуы мүмкін. Нақты нәтижелерге қол жеткізу үшін, модельдер нақты құрылым тәрізді салынуы және жүктелуі тиіс.

4.3.7 2.2(4) ҚР ҚН EN 1993-1-10 Тармағына сәйкес есептер келесі кезеңділікпен жүргізілуі тиіс:

а) Келесі комбинация үшін әсер етудің ( $E_d$ ) есептік мағынасының мөлшері анықталады:

$$E_d = E \cdot \{A[T_{Ed}] \ll + \gg \sum G_k \ll + \gg \Psi_{1,1} \cdot Q_{k1} \ll + \gg \sum \Psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}\}, \quad (4.2)$$

мұндағы  $A$  -  $T_{Ed}$  есептік температура болып табылатын ерекше әсер;

$T_{Ed}$  - қарастырылатын элемент материалының беріктігіне әсер ететін және деформацияның ығысуы салдарынан қосымша кернеудің туындауына алып келетін температура.

$\sum G_k$  - тұрақты әсер етулердің нормативтік мағынасы;

$Q_{k1}$  - басым ауыспалы әсердің нормативтік мағынасы;

$Q_{k,i}$  - материалдағы кернеудің деңгейін арттыратын ілеспе ауыспалы әсер етулердің нормативтік мағынасы;

$\Psi_1$  және  $\Psi_2$  - ҚР ҚН EN 1990 бойынша қолданылатын үйлесім коэффициенттері.

б) Ең жоғары есептік кернеу  $\sigma_{Ed}$  әлеуетті бұзушылық туындаған жердегі атаулы кернеу болып табылады. EN 1991 тиісті бөлігінде анықталғандай барлық тұрақты және ауыспалы жүктемелер мен әсер етулер комбинациясын есепке алғандағы  $\sigma_{Ed}$  пайдаланушылық жарамдылықтың шекті мағынасы үшін есептелуі тиіс.

в) Мүмкін болатын бұзу орнындағы есептік температура  $T_{Ed}$  келесі формула бойынша анықталуы тиіс:

$$T_{Ed} = T_{md} + \Delta T_r + \Delta T_\sigma + \Delta T_R + \Delta T_\epsilon + \Delta T_{\epsilon cf}, \quad (4.3)$$

мұндағы  $T_{md}$  - ҚР ҚН EN 1991-1-5 сәйкес анықталатын пайдалану кезеңіндегі ең төменгі температура;

$\Delta T_r$  - ҚР ҚН EN 1991-1-5 сәйкес анықталатын сәулелену кезіндегі (радиациялық жоғалтулар) жоғалтулар түзетулері;

$\Delta T_\sigma$  - материал аққыштығы шегі кернеуіне, сызаттың болуына, сондай-ақ элементтің нысаны мен мөлшеріне түзетулер;

$\Delta T_R$  - қолданудың әртүрлі салалары үшін сенімділіктің әртүрлі деңгейін көрсету қажет болғандағы қауіпсіздік қоры;

$\Delta T_\epsilon$  - деформацияның бастапқы жылдамдығынан  $\dot{\epsilon}_0$  ерекшеленетін деформацияның жылдамдығына түзетулер;

$\Delta T_{\epsilon cf}$  (DCF)  $\epsilon_{cf}$  салқын деформацияланған кездегі деформация дәрежесіне түзетулер.

4) Есептік кернеулер  $\sigma_{Ed}$  деформацияның кері әсерлерін назарға ала отырып серпімділік есепті қолдана отырып анықталуы тиіс.

4.3.8 2.2(2) ҚР ҚН EN 1993-1-10-Тармағына сәйкесбұзылу тұтқырлығы жағдайында элементтердің рұқсат берілетін ең жоғары қалыңдығын белгілеу үшін бұзылу тетігін, сондай-ақ келесі ерекшеліктерді есепке алатын осы құралдың 4.6-Кестесін пайдаланған дұрыс:

а) ҚР ҚН EN 1993-1-9 сәйкес бастапқы босаңқылық сызаттың өсуіне тәуелді сызат мөлшерінің барлық есептік мағыналарын байланыстыратын  $t$  қалыңдығы тілімшесындағы сызат мөлшерінің жобаланатын мағынасын тағайындау үшін стандартты қисықтарды пайдалану. Бұл жағдайда босаңқылық бастапқы ақауы жорамалданған элементке босаңқылық жүктемесінің әсері кезінде назарға алынады. Жоамалданған зақымдалу - ҚР ҚН EN 1993-1-9 алынған толық босаңқылық зақымдалуының төртінші бөлігі. Мұндай

тәсіл пайдалану процесіндегі тексерулер арасында ҚР ҚН EN 1993-1-9 сәйкес рұқсат берілетін зақымдалулар үшін тексеру айтылған кезде «қауіпсіз кезеңдердің» ең төменгі санын бағалау мүмкіндігін береді. Пайдалану процесіндегі  $n$  тексерулерінің талап етілетін саны ҚР ҚН EN 1993-1-9 сәйкес босаңқылық есебінде қолданылатын есепте қолданылатын  $\gamma_{Ef}$  және  $\gamma_{Mf}$  жеке коэффициенттерімен байланысты:

$$n = \frac{4}{(\gamma_{Ef} \cdot \gamma_{Mf})^m} - 1 \quad (4.4)$$

мұндағы  $m = 5$  – көпір тәрізді ұзақ мерзім қызмет ететін құрылымдар үшін.

Пайдалану процесінің тексерістері арасындағы «Қауіпсіз кезең» құрылымның нормативтік пайдалануының барлық мерзімін қамтуы мүмкін.

б)  $T_{kv}$  пайдадануды анықтайтын қауіпсіздік талаптары – болат материалы үшін үйлесімді еуропалық стандарттарда көрсетілген шама;

в) болат материалы үшін үйлесімді еуропалық стандарттарға сәйкес аққыштық шегінің тағайындалуы

г) ерекше есептік үйлесім үшін сыртқы жүктеменің әсерінен атаулы кернеуді анықтау;

д) серпінді әсер етуге алып келмейтін статикалық жүктемелердің әсерін есепке алу мынаған тең жылдамдықпен шектелуі тиіс:

$$\dot{\epsilon}_0 = \frac{\partial \epsilon}{\partial t} \leq 4 \times 10^{-4} / \text{sec} \quad (4.5)$$

Деформацияның басқа да жылдамдықтары үшін  $\dot{\epsilon}_0$  (мысалы, соққылы жүктемелер үшін) кестелік мағыналар мына формула бойынша анықталатын  $\Delta T_{\epsilon}$  шегеру жолымен  $T_{Ed}$  азайту арқылы қолданылуы мүмкін:

$$\Delta T_{\epsilon} = \frac{1440 - f_y(t)}{550} \cdot \left( \ln \frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}_0} \right)^{1,5}, \text{ } ^\circ\text{C}; \quad (4.6)$$

е) дәнекерлеу EN 1090-2 сәйкес орындалады;

ж) құрамдауыштарды дәнекерлеу кезінде туындайтын қалдық кернеу ескеріледі.

и) тұтқырлық кезінде салқын деформацияланған материалдарды қолдануға рұқсат етілмейді  $\dot{\epsilon}_{cf} \leq 2\%$ . Болаттың ескіруіне ұшырамаған салқын формалауды көздейтін кесте мағыналарын  $\Delta T_{\epsilon}$  шегеру жолымен  $T_{Ed}$  реттей отырып қолдануға болады:

$$\Delta T_{ecf} = -3 \cdot e_d, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (4.7)$$

к) EN 10025, EN 10155, EN 10210-1, EN 10219-1 бұйымның келесі стандарттарына негізделген  $T_{27J}$  бірлігіндегі серпінді иілімнің сынағы кезінде атаулы тұтқырлық шамасы.

Басқа шамалар үшін келесі түзету қолданылады:

$$\begin{aligned} T_{40J} &= T_{27J} + 10, \text{ } ^\circ\text{C}, \\ T_{30J} &= T_{27J} + 0, \text{ } ^\circ\text{C}; \end{aligned} \quad (4.8)$$

л) 4.6-Кестеде аққыштық шегінің шамасы бөлігі ретіндегі кернеудің үш деңгейі үшін (10  $^\circ\text{C}$ , 0  $^\circ\text{C}$ , минус 10  $^\circ\text{C}$ , минус 20  $^\circ\text{C}$ , минус 30  $^\circ\text{C}$ , минус 40  $^\circ\text{C}$  и минус 50  $^\circ\text{C}$ ) жеті есептік температуралары үшін элементтің қалыңдығының барынша рұқсат етулері берілген:

$$\begin{aligned} \sigma_{Ed} &= 0,75 \cdot f_y(t), \text{ Н/мм}^2; \\ \sigma_{Ed} &= 0,50 \cdot f_y(t), \text{ Н/мм}^2; \end{aligned} \quad (4.9)$$

$$\sigma_{Ed} = 0,25 \cdot f_y(t), \text{ Н/мм}^2,$$

мұндағы  $f_y(t)$  формула бойынша анықталуы мүмкін:

$$f_y(t) = f_{y, \text{nom}} - 0,25 \cdot \frac{t}{t_0}, \text{ Н/мм}^2, \quad (4.10)$$

мұндағы  $t$  - табақтың қалыңдығы, мм;

Табақ шартты бастапқы қалыңдығы,  $t_0=1$  мм тең немесе болаттың тиісті стандарттарымен белгіленген  $R_{eH}$ –шамасына тең қабылдануы мүмкін.

4.3.9 4.2-Суретте берілген 4.6-Кесте қолданылатын блок-сызба.

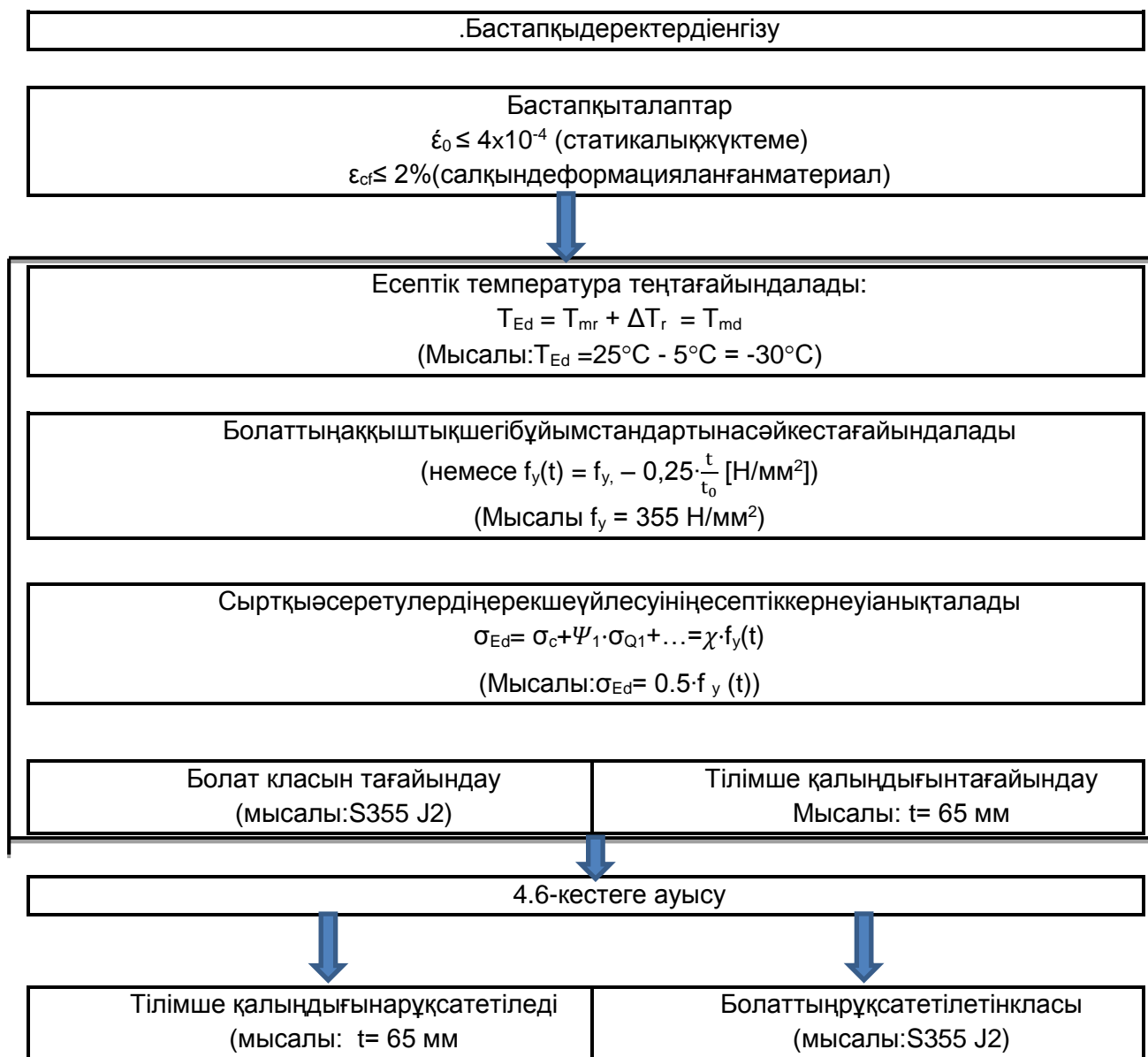
#### 4.6-Кесте - t элементінің ең жоғары рұқсат етілетін мағынасы, мм.

Болат классы	Болатт ың кіші классы	Шарпи бойынша жұмыс(CV ND T, °C кезін J <sub>min</sub>								Есептік температура T <sub>Ed</sub> . °C															
			10	0	-10	-20	-30	-40	-50	10	0	-10	-20	-30	-40	-50	10	0	-10	-20	-30	-40	-50		
			σ <sub>Ed</sub> = 0,75f <sub>y</sub> (t)								σ <sub>Ed</sub> = 0,50f <sub>y</sub> (t)								σ <sub>Ed</sub> = 0,25f <sub>y</sub> (t)						
S235	JR	20	27	60	50	40	35	30	25	20	90	75	65	55	45	40	35	135	115	100	85	75	65	60	
	J0	0	27	90	75	60	50	40	35	30	125	105	90	75	65	55	45	175	155	135	115	100	85	75	
	J2	-20	27	125	105	90	75	60	50	40	170	145	125	105	90	75	65	200	200	175	155	135	115	100	
S275	JR	20	27	55	45	35	30	25	20	15	80	70	55	50	40	35	30	125	110	95	80	70	60	55	
	J0	0	27	75	65	55	45	35	30	25	115	95	80	70	55	50	40	165	145	125	110	95	80	70	
	J2	-20	27	110	95	75	65	55	45	35	155	130	115	95	80	70	55	200	190	165	145	125	110	95	
	M, N	-20	40	135	110	95	75	65	55	45	180	155	130	115	95	80	70	200	200	190	165	145	125	110	
	ML, NL	-50	27	185	160	135	110	95	75	65	200	200	180	155	130	115	95	230	200	200	200	190	165	145	
S355	JR	20	27	40	35	25	20	15	15	10	65	55	45	40	30	25	25	110	95	80	70	60	55	45	
	J0	0	27	60	50	40	35	25	20	15	95	80	65	55	45	40	30	150	130	110	95	80	70	60	
	J2	-20	27	90	75	60	50	40	35	25	135	110	95	80	65	55	45	200	175	150	130	110	95	80	
	K2,M,N	-20	40	110	90	75	60	50	40	35	155	135	110	95	80	65	55	200	200	175	150	130	110	95	
	ML, NL	-50	27	155	130	110	90	75	60	50	200	180	155	135	110	95	80	210	200	200	200	175	150	130	
S420	M, N	-20	40	95	80	65	55	45	35	30	140	120	100	85	70	60	50	200	185	160	140	120	100	85	
	ML, NL	-50	27	135	115	95	80	65	55	45	190	165	140	120	100	85	70	200	200	200	185	160	140	120	
S460	Q	-20	30	70	60	50	40	30	25	20	110	95	75	65	55	45	35	175	155	130	115	95	80	70	
	M, N	-20	40	90	70	60	50	40	30	25	130	110	95	75	65	55	45	200	175	155	130	115	95	80	
	QL	-40	30	105	90	70	60	50	40	30	155	130	110	95	75	65	55	200	200	175	155	130	115	95	
	ML, NL	-50	27	125	105	90	70	60	50	40	180	155	130	110	95	75	65	200	200	200	175	155	130	115	
	QL1	-60	30	150	125	105	90	70	60	50	200	180	155	130	110	95	75	215	200	200	200	175	155	130	
S690	Q	0	40	40	30	25	20	15	10	10	65	55	45	35	30	20	20	120	100	85	75	60	50	45	
	Q	-20	30	50	40	30	25	20	15	10	80	65	55	45	35	30	20	140	120	100	85	75	60	50	
	QL	-20	40	60	50	40	30	25	20	15	95	80	65	55	45	35	30	165	140	120	100	85	75	60	
	QL	-40	30	75	60	50	40	30	25	20	115	95	80	65	55	45	35	190	165	140	120	100	85	75	
	QL1	-40	40	90	75	60	50	40	30	25	135	115	95	80	65	55	45	200	190	165	140	120	100	85	
	QL1	-60	30	110	90	75	60	50	40	30	160	135	115	95	80	65	55	200	200	190	165	140	120	100	

1 ЕСКЕРТПЕ 4.6-Кестесін қолдана отырып желілік интерполяцияны пайдалану рұқсат етіледі. Көп жағдайларда аралық мағыналар қолданылады  $\sigma_{Ed}$  арасындағы  $\sigma_{Ed} = 0,75 \cdot f_y(t)$  және  $\sigma_{Ed} = 0,50 \cdot f_y(t)$ .  $\sigma_{Ed} = 0,25 \cdot f_y(t)$  интерполяция мақсатында беріледі. Экстраполяцияны экстремальды мағыналардан тыс қолдануға рұқсат етілмейді

2 ЕСКЕРТПЕ S690 болаттан дайындалған бұйым сұрыптары үшін сынақ температурасын қабылдаған дұрыс T<sub>AV</sub>.

3 ЕСКЕРТПЕ 4.6-Кестесінде бұйым прокаты бағытында дайындалған Шарпи (CVN) бойынша үлгінің соққылы иілімдеріне сынақ кезінде алынған кепілдендірілген мағыналары берілген.



**4.2-Сурет – 4.6- Кестені пайдаланудың блок-сызбасы**

1 МЫСАЛ Болаттың маркасын іріктеу бойынша есеп және ең жоғары рұқсат етілетін қалыңдық

1) Бастапқы деректер

Өндірістік ғимараттың болат қаңқасының бағанымен ригельдің қосылысы үшін шет жақ ернемектің қалыңдығы мен материалын тексеру талап етіледі.

Болат жақтаудың материалы: МЕМСТ 27772-88 бойынша С235 болат беріктігінің класы (S235J0 еуропалық болаттың аналогы) аққыштық шегінің таулы мағынасы  $f_y = \sigma_T = 215 \text{ Н/мм}^2$  (Мпа), ернемектің қалыңдығы  $t = 80 \text{ мм}$ .

2) Серпімді статикалық есептен шыға отырып орнатылды:

– жақтау тілімшесіндегі ең жоғары кернеу:  $\sigma_{Ed, ULS} = 18,2 \text{ кН/см}^2$ ;

– кернеуді есептеу үшін тұрақты және ауыспалы жүктемелер келесіге тең қабылданды:

$G_k = 8,6 \text{ кН/м}^2$ ;

$Q_k = 20 \text{ кН/м}^2$  ;

– жүктеме бойынша қауіпсіздіктің жеке коэффициенттерінің мағынасы  $\gamma_G = \gamma_Q = 1.35$  қабылданады;

–  $\psi_1 = 0.7$  үйлесушіліктің жеке мағынасының мағынасы.

3) Жүктеменің үйлесуі кезіндегі атаулы кернеуін анықтаймыз:

$$\sigma_{Ed} = \frac{1,0}{1,35} \cdot \sigma_G + \psi_1 \cdot \frac{1,0}{1,35} \cdot \sigma_Q$$

Ескере отырып:

$$\frac{G_k}{G_k + Q_k} = \frac{8,6}{8,6 + 20} = 0,3,$$

келесіні аламыз:

$$\sigma_G = 0,3 \cdot \sigma_{Ed,ULS}$$

$$\sigma_Q = 0,7 \cdot \sigma_{Ed,ULS}$$

Онда:

$$\sigma_{Ed} = 0,74 \times (0,3 \cdot \sigma_{Ed,ULS}) + 0,7 \times 0,74 \times (0,7 \cdot \sigma_{Ed,ULS}) = 0,58 \cdot \sigma_{Ed,ULS} = 0,58 \times 182 = 105,6 \text{ МПа}$$

4) қабылдай отырып

$$f_y(t) = 215 - 0,25 \times \frac{80}{1,0} = 195 \text{ МПа}$$

аламыз

$$\sigma_{Ed} = \frac{105,6}{195} \cdot f_y(t) = 0,54 \cdot f_y(t)$$

5) Құрылымның пайдалану мерзімін есепке ала отырып  $T_{Ed}$  қалыпты температурасы үшін келесі сипаттамаларды анықтаймыз ерекше үйлесу 1-Кестеге сәйкес анықталады.

**1 Кесте**

№	Әсері	Шамасы
1	$T_{mdaуаның}$ ең төменгі температурасы	-10 °C
2	Сәулелену кезінде жоғалтуды түзету (радиациялық жоғалтулар) – $\Delta T_r$	-5 °C
3	Материалдың аққыштық, сызаттың болуы, сондай-ақ элементтің формасы мен көлемі шегінің кернеуіне түзету – $\Delta T_\sigma$	0 °C
4	Қолданудың әртүрлі саласы үшін сенімділіктің әртүрлі деңгейін көрсету талап етілген жағдайдағы қауіпсіздік қоры – $\Delta T_R$ ;	0 °C
5	Деформацияның бастапқы жылдамдығынан ерекшеленетін деформацияның жылдамдығын түзету $\dot{\epsilon}_0 - \Delta T_{\dot{\epsilon}}$ ;	0 °C
6	Салқын деформациялануы кезіндегі деформацияның жылдамдығын түзету (DCF) $\epsilon_{cf} - \Delta T_{\epsilon_{cf}}$	0 °C
7	БАРЛЫҒЫТ <sub>Ed</sub>	-15 °C

6) Шешу

4.6 Кестесін қолдана отырып интерполяция үшін  $t_{(допустимого)}(-15^\circ\text{C}) = 82,5 \text{ мм} \approx t_{(принятого)} = 80 \text{ мм}$   $T_{27J} = 0^\circ\text{C}$  немесе S235 J0 кластағы болаттың тұтқырлығы бұзушылығы кезінде материалдың талап етілетін шағын беріктігіне ие боламыз (1- Суретті қараңыз).

Класс стали	Под- класс стали	Работа по Шарпи (CVN)		Расчетная температура $T_{Ed}, ^\circ\text{C}$																				
		при $T_{min}$ $^{\circ}\text{C}$	$J_{min}$	$\sigma_{Ed} = 0,75 f_y(t)$							$\sigma_{Ed} = 0,50 f_y(t)$							$\sigma_{Ed} = 0,25 f_y(t)$						
				10	0	-10	-20	-30	-40	-50	10	0	-10	-20	-30	-40	-50	10	0	-10	-20	-30	-40	-50
S235	JR	20	27	60	50	40	35	30	25	20	90	75	60	50	45	40	35	135	115	100	85	75	65	60
	J0	0	27	90	75	60	50	40	35	30	125	105	90	75	65	55	45	175	155	135	115	100	85	75
	J2	-20	27	125	105	90	75	60	50	40	170	145	125	105	90	75	65	200	200	175	155	135	115	100

1-Сурет – Болат маркасын таңдау

2 МЫСАЛ ҚР ҚН EN 1993-1-10 нормативінің талаптарын есепке ала отырып топсалы болаттың дәнекерлеген бағанының есебі

1) Бастапқы деректер

Арқалық - аққыштықтың атаулы шегімен S275J0 шағын көміртекті болаттың маркасынан дайындалған дәнекерленген профиль (EN 10025-2 стандартына сәйкес)  $f_y = 275 \text{ Н/мм}^2$  (1- Суретті қараңыз). Арқалық ұшуының ұзындығы  $L = 4,0 \text{ м}$ . Аралас арқалықтар арасындағы қашықтық  $B = 3,0 \text{ м}$ .

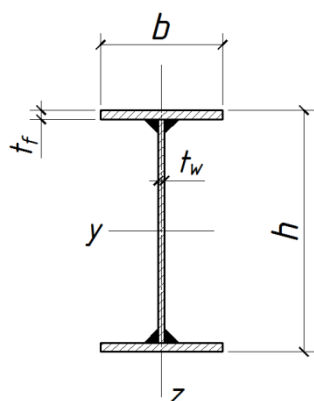
Келесі жүктемелердің әрекетіне ұшыраған болат дәнекерленген арқалық:

- тұрақты жүктеме  $g_k = 4,0 \text{ кН/м}^2$ ;

- уақытша жүктеме  $q_k = 3,0 \text{ кН/м}^2$ .

Құрылыс орны – Атырау қаласы.

Дәнекерленген баған қимасының геометриялық сипаттамалары 1- Суретте берілген.



- биіктігі

$h = 450 \text{ мм}$

- ені

$b = 190 \text{ мм}$

- қабырға қалыңдығы

$t_w = 10,0 \text{ мм}$

- сөренің қалыңдығы

$t_f = 15,0 \text{ мм}$

- қарсылық сәті

$W_y = 1500 \cdot 10^3 \text{ мм}^3$

- қиманың ауданы

$A = 9,9 \cdot 10^3 \text{ мм}^2$

1-Сурет – Қиманың геометриялық сипаттамалары

2) Әлеуетті бұзылушылықтың  $T_{Ed}$  есептік температурасын анықтау

2.2 ҚР ҚН EN 1993-1-10-Тармағына сәйкес, таңдау рәсімі есептік жағдайды ескертуі, соның ішінде дәнекерленген құрылымды бұзу мүмкін болатын арқалықтың неғұрлым батырылған жүктемесінің есептік температурасын  $T_{Ed}$  ескеруі тиіс.

Әлеуетті бұзылатын орындағы есептік температура  $T_{Ed}$  мына формула бойынша анықталуы тиіс (2.2) ҚР ҚН EN 1993-1-10:

$$T_{Ed} = T_{md} + \Delta T_r + \Delta T_\sigma + \Delta T_R + \Delta T_e + \Delta T_{escf};$$

мұндағы  $T_{md}$  – Атырау қаласы үшін ҚР ҚН EN 1993-1-5 бойынша ең төменгі температура:

$$T_{md} = T_{min} = -38 \text{ }^\circ\text{C};$$

$\Delta T_r$  – болат элементтер үшін сәулелену кезіндегі жоғалтуды түзету (радиациялық шығындар):

$$T_r = -5 \text{ }^\circ\text{C};$$



$\Delta T_{\sigma}$ - 2.2(5) ҚРҚН EN 1993-1-10-Тармағының 2-Ескертуіне сәйкес материалдың аққыштығына, сондай-ақ элементтің нысаны мен мөлшері кернеуі мен шегіне түзету:

$$T_{\sigma} = 0^{\circ}\text{C};$$

$\Delta T_R$ - 2.2(5) ҚРҚН EN 1993-1-10-Тармағының 2-Ескертуіне сәйкес қауіпсіздік қоры тең:

$$\Delta T_R = 0^{\circ}\text{C};$$

$\Delta T_{\varepsilon}$ - деформацияның бастапқы жылдамдығынан  $\varepsilon_0$ ерекшеленетін деформацияның жылдамдығына түзету. Өйткені аталған мысалда апаттық әсер етулер немесе соққылы әсерлер қарастырылмайды, онда:

$$\Delta T_{\varepsilon} = 0^{\circ}\text{C};$$

$\Delta T_{\varepsilon cf}$  -  $\varepsilon_{cf}$  салқын қайыру кезіндегі деформация дәрежесін түзету. Өйткені дәнекерлеу арқалығы EN 10025 стандарты бойынша дайындалған, онда:

$$\Delta T_{\varepsilon cf} = 0^{\circ}\text{C};$$

Осылайша,

$$T_{Ed} = T_{md} + \Delta T_R + \Delta T_{\sigma} + \Delta T_R + \Delta T_{\varepsilon} + \Delta T_{\varepsilon cf} = -38 - 5 + 0 + 0 + 0 + 0 = -43^{\circ}\text{C}.$$

Бұдан туындайтыны, Атырау қ. үшін болат арқалық соққылы тұтқырлықты есепке ала отырып болатты таңдау кезіндегі есептік температура тең:

$$T_{Ed} = -43^{\circ}\text{C}.$$

3) Прокат қалыңдығының ең жоғары рұқсат берілетін мағынасын анықтау

Арқалық қимасы бөлшектерінің (қабырға, сөре) ең жоғары рұқсат етілетін қалыңдығы 2.1 ҚР ҚН EN 1993-1-10-Кестесінің қимасы мен деректері сығылуы кернеуінің негізгі мағынасы негізінде анықталады.

Иілу әрекетіне ұшыраған арқалықтың сығылу кернеуі мына формула бойынша анықталады:

$$\sigma_{c,k} = \frac{M_{y,k}}{W_{El,y}},$$

мұндағы  $M_{y,k}$  – иілуші сәттің ең жоғары сипаттамалық мағынасы;

$W_{El,y}$  –келесіге тең арқалық қимасының қарсылық сәті:

$$W_{El,y} = 1500 \times 10^3 \text{ мм}^3.$$

(2.1) ҚР ҚН EN 1993-1-10 формуласына сәйкес тұрақты әсер етудің сипаттамалық мағыналары мен ауыспалы әсер етудің сипаттамалық мағыналары алынады. Демек, болат арқалық үшін иілуші сипаттамалық сәттің ұзындығы  $L = 4,0$  м және арақалықтар арасындағы қашықтық  $B = 3,0$  м тең:

$$M_{y,k} = \frac{f_k \cdot L^2}{2} = \frac{(Q_k + \psi_1 \cdot G_k) \cdot L^2}{2} = \frac{(q_k + \psi_1 \cdot g_k) \cdot B \cdot L}{2} = \frac{(3,0 + 0,5 \times 4,0) \times 3 \times 4^2}{2}$$

$$M_{y,k} = 120,0 \text{ кН} \cdot \text{м} = 120,0 \times 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Онда,

$$\sigma_{c,k} = \frac{M_{y,k}}{W_{El,y}} = \frac{120,0 \times 10^3}{1500 \times 10^3 \times 10^{-9}} = 80,0 \times 10^6 \text{ Н/м}^2 = 80,0 \text{ МПа}.$$

Болат арқалықтағы сығылу кернеуі тең:

$$\sigma_{c,k} = 80,0 \text{ МПа}.$$

Дәнекерлеу арқалығы қимасының неғұрлым толық бөлігі тең:

$$t_f = 15,0 \text{ мм}.$$

S275J0 маркалы болаттың аққыштық шегітабағының қалыңдығы  $t_f = 15,0$  мм және бастапқы қалыңдық  $t_0 = 1,0$  мм 2.3.2(1) ҚР ҚН EN 1993-1-10-Тармағының нұсқаулықтары бойынша анықталады:

$$f_y(t_f) = f_{y,nom} - 0,25 \cdot \frac{t}{t_0} = 275 - 0,25 \times \frac{15,0}{1} = 271,25 \text{ МПа}$$

Онда,

$$\sigma_{c.Ed} = \frac{\sigma_{c.k}}{f_y(t_f)} = \frac{80,0}{271,25} = 0,3 \cdot f_y(t_f).$$

Кіші марканы екі әдіс бойынша таңдауға болады:

- интерполяция әдісі;
- ұқсас әдіспен.

Интерполяция әдісі – соққылы тұтқырлық бойынша талаптарды есепке ала отырып табақтың және болаттың кіші маркасының неғұрлым нақты және үнемді талдау. Алайда 2.3.2(1) ҚР ҚН EN 1993-1-10-Тармағының 1-Ескертуіне сәйкес экстраполяцияны 2.1 ҚР ҚН EN 1993-1-10-Кестесінің экстремалды шамасынан тыс қолдану мүмкін емес.

Интерполяцияны  $\sigma_{c.Ed} = 0,3 \cdot f_y(t_f)$  үшін  $0,25 \cdot f_y(t)$  және  $0,50 \cdot f_y(t)$  мағыналары арасында 2.1 ҚР ҚН EN 1993-1-10-Кестесінен орындау қажет.

Интерполяцияны орындап, болат дәнекерленген арқалық прокаттың ең жоғары қалыңдығының талаптарын қанағаттандыратынына, ал S275J0 маркасының келесі есептік температура кезінде соққылы тұтқырлық бойынша талаптарын қанағаттандыратынына көз жеткіземіз: Атырау қаласы үшін  $T_{Ed} = -43^\circ\text{C}$ .

Ұқсас әдіс – ол осындай есептік температура үшін табақтың ең жоғары қалыңдығымен қиманың неғұрлым қалың бөлігін қарапайым салыстыру:

$$T_{Ed} = -43^\circ\text{C}.$$

2.1 ҚР ҚН EN 1993-1-10-Кестесі бойынша  $T_{Ed} = -50^\circ\text{C}$  үшін S275J0 кіші маркасы және сығылу кернеуімен  $\sigma_{Ed} = 0,5 \cdot f_y(t)$  табақтың ең жоғары қалыңдығы  $t = 40\text{ мм}$  аспауы тиіс. Осылайша:

$$t_f = 15,0 \text{ мм} < t = 40,0 \text{ мм}.$$

Бұдан туындайтыны талап орындалады.

4) Ішкі күштерді анықтау

Есептік бойлықтық қазіргі жүктеменің мағынасы (6.10b) ҚР ҚН EN 1990-формуласын қараңыз):

$$F_d = f_d \cdot B = (\xi \cdot \gamma_g \cdot g_k + \gamma_q \cdot q_k) \cdot B;$$

$$F_d = (0,85 \times 1,35 \times 4,0 + 1,5 \times 3,0) \cdot B = (4,59 + 4,5) \times 3,0 = 27,27 \text{ кН/м}.$$

Есептік қазіргі көлденең күшінің мағынасы:

$$V_{Ed} = \frac{F_d \cdot L}{2} = \frac{27,27 \times 4,0}{2} = 54,54 \text{ кН};$$

Есептік қазіргі иілуші сәтінің мағынасы:

$$M_{Ed} = \frac{F_d \cdot L^2}{8} = \frac{27,27 \times 4,0^2}{8} = 54,54 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

5) Қима класын анықтау

5.2.2-Тармағының және 5.2 ҚР ҚН EN 1993-1-1-Кестесінің талаптарына сәйкес қима класын анықтау жүргізіледі.

Дәнекерлеу арқалығының көлденең қимасы – 1 класс қимасы.

6) Беріктік бойынша көтерушілік қабілет есебі

6.1 Иілуші сәт бойынша көтерушілік қабілет есебі

(6.12) ҚР ҚН EN 1993-1-1-формуласы бойынша беріктік талабы:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0$$

Иілуші сәттің әрекеті кезіндегі беріктік бойынша көтерушілік қабілет есебі:

$$M_{c,Rd} = 91,0 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Талапты тексеру:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{54,54}{91,0} = 0,6 \leq 1,0$$

Беріктік талап орындалады.

6.2 Көлденең күш бойынша көтерушілік қабілет есебі

(6.17) ҚР ҚН EN 1993-1-1-формуласы бойынша беріктік талабы:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$$

Көлденең күштің әрекеті кезіндегі беріктік бойынша көтерушілік қабілет есебі:

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = 120 \text{ кН}$$

Талапты тексеру:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{54,54}{110} = 0,49 \leq 1,0$$

Беріктік талап орындалады.

6.3 Көлденең күштің әрекеті кезіндегі жергілікті беріктікті жоғалты есебі (6.2.6(6) ҚР ҚН EN 1993-1-1-Тармағын қараңыз)

5.1(2) ҚР ҚН EN 1993-1-5-Тармағының талабы тексеріледі:

$$\frac{h_w}{t_w} > \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

Демек,

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{378,8}{10,0} = 37,9$$

$$72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \times \frac{0,81}{1,0} = 58,32$$

Талапты тексеру:

$$37,9 < 58,32$$

Одан туындайтыны, 5.1(2) ҚР ҚН EN 1993-1-5-Тармағына сәйкес көлденең қабырға беріктіктері талап етілмейді.

6.4 Иілу және көлденең күштің бірлескен әрекеті кезіндегі көтерушілік қабілет есебі.

Көлденең күштің әрекеті кезінде олардың иілуге көтерушілік қабілетінің бірлескен әрекетін ескерген дұрыс (6.2.8 ҚР ҚН EN 1993-1-1-Тармағын қараңыз).

6.2.8(2) ҚР ҚН EN 1993-1-1-Тармағына сәйкес егерде:

$$V_{Ed} > 0,5 \cdot V_{pl,Rd}$$

$$0,5 \cdot V_{pl,Rd} = 0,5 \times 120 = 60,0 \text{ кН}$$

$$60,0 \text{ кН} > 54,54 \text{ кН}$$

болған кезде көлденең күштің көтерушілік қабілетке әрекеті әсерімен иілуші сәтт елемеуге болады.

7) Беріктік бойынша көтерушілік қабілетті тексеру

5.1 Иілуші сәт бойынша көтерушілік қабілет есебі (6.3.2 ҚР ҚН EN 1993-1-1-Тармағын қараңыз)

(6.54) ҚР ҚН EN 1993-1-1-формуласы бойынша беріктік талабы:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0.$$

Қауіпсіздіктің жеке коэффициенті (НП.2.13 ҚР ҚН EN 1993-1-1-қараңыз):

$$\gamma_{M0} = 1,0.$$

(6.55) ҚР ҚН EN 1993-1-1-формуласы бойынша беріктік бойынша сығылған элементтің көтерушілік қабілеттің есептік мағынасы:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_y \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}.$$

ҚР ҚН EN 1993-1-1 нормативінің (6.57) формуласы бойынша Y-Y осіне қатысты  $\chi_{LT}$  төмендетуші коэффициент:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}}, \text{ но } \chi_{LT} \leq 1,0 \text{ и } \chi_{LT} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2}.$$

Төмендетуші коэффициентті  $\chi_{LT}$  анықтау үшін  $\Phi_{LT}$  шамасы (6.3.2.3(1) ҚР ҚН EN 1993-1-1-Тармағын қараңыз):

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot \left[ 1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

ҚР ҚН EN 1993-1-16.3 -Кестесі бойынша бастапқы жетспеушіліктері ескеретін коэффициент  $\alpha_{LT}$ . Коэффициент беріктікті жоғалту типіне тәуелді. Беріктікті жоғалту қисығы типін таңдау көлденең қиманың түріне және  $h/b = 450/190 = 2,37 > 2$  қима енінің биіктігіне тәуелді (6.5 ҚР ҚН EN 1993-1-1-Кестесін қараңыз). Екітаврлы дәнекерлеуші арқалық үшін беріктікті жоғалту қисығы – «с». Одан туындайтыны:

$$\alpha_{LT} = 0,49$$

(6.3 ҚР ҚН EN 1993-1-1-Кестесін қараңыз)

$$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$$

(6.3.2.3(1) ҚР ҚН EN 1993-1-1-Тармағын қараңыз)

$$\beta = 0,75$$

(6.3.2.3(1) ҚР ҚН EN 1993-1-1-Тармағын қараңыз)

Иілімділік талабын анықтау  $\bar{\lambda}_{LT}$  мына формула бойынша анықталады (6.3.2.2(1) ҚР ҚН EN 1993-1-1-Тармағын қараңыз):

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} \text{ (для сечений класса 1 и 2).}$$

Көлденең қиманың қарсылық сәті

$$W_y = W_{pl,y} = 1702000 \text{ мм}^3$$

$C_1$  коэффициентін анықтау:

$$q = (g + q)_{ed} = 63,7 \text{ кН/м}$$

$$L = 3000 \text{ мм}$$

$M = 260 \text{ кНм}$  (учаскедегі ең жоғары сәт)

$$\psi = \frac{134}{260} = 0,515$$

$$\mu = \frac{q \cdot L^2}{8 \cdot M} = \frac{63,7 \times 3^2}{8 \times 260} = 0,275 \rightarrow C_1 = 1,65$$

Сын сәтті анықтау  $M_{cr}$ :

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L^2} \cdot \sqrt{\left[ \frac{I_w}{I_z} + \frac{L^2 \cdot G \cdot I_T}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} \right]} =$$

$$= 1,65 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 210 \times 16760 \times 10^3}{3000^3} \sqrt{\frac{791 \times 10^9}{16760 \times 10^3} + \frac{3000^2 \times 80700 \times 668,7 \cdot 10^3}{\pi^2 \cdot 210 \times 16760 \times 10^3}} = 375 \text{ кНм}$$

Демек,

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1702 \times 10^3 \times 275}{375 \times 10^6}} = 1,11$$

Өйткені,  $\bar{\lambda}_{LT} = 1,07 > \bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$ , онда беріктік есебі қажет.

Шаманы анықтау  $\Phi_{LT}$ :

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2]$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \times [1 + 0,49 \cdot (1,11 - 0,4) + 0,75 \times 1,11^2] = 1,14$$

Коэффициентті анықтау  $\chi_{LT}$ :

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,14 + \sqrt{1,14^2 - 0,75 \times 1,11^2}} = 0,57$$

$$\frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} = \frac{1}{1,11^2} = 0,83$$

Демек, төмендетуші коэффициент  $\chi_{LT}$  (6.57) ҚР ҚН EN 1993-1-1 формуласына сәйкес тең:

$$\chi_{LT} = \min[0,57; 0,83; 1,0] = 0,57$$

Одан туындайтыны, егер

$$M_{Ed} = 260 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Онда беріктік бойынша сығылушы элементтің көтерушілік қабілетінің есептік мағынасы тең:

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,57 \times 1703 \times 275 \times 10^{-3}}{1,00} = 270 \text{ кН}$$

Талапты тексеру:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{260}{270} = 0,96 > 1,0$$

Беріктік талабы орындалуда.

#### 4.4 Бұзылу механикасын пайдалана отырып бағалау

4.4.1 [2.4(1)ҚР ҚН EN 1993-1-10] есептеу үшін сызатқа беріктік талаптарын бұзу механикасын және сызатқа берік материал қасиетін қолдана отырып STOD шамаларымен, J-интеграл шамаларымен,  $K_{Ic}$ -шамаларымен немесе KV-шамаларымен көрсетілуі мүмкін, ал салыстыру бұзылу механикасының тиісті әдістерін пайдалана отырып қолданлуы тиіс.

4.4.2 [2.4(2)ҚР ҚН EN 1993-1-10] Есептік температура үшін келесі талап сақталуы тиіс:

$$T_{Ed} \geq T_{Rd}, \quad (4.11)$$

мұндағы  $T_{Rd}$  - есептік жағдайлар кезінде бұзылу тұтқырлығының қауіпсіздік деңгейін есептеуге болатын температура.

4.4.3 [2.4(3)ҚР ҚН EN 1993-1-10] Нетто материалдың қимасының ауданын төмендететін тиісті ақауды пайдалана отырып әлуетті бұзылудың механизмі моделденуі тиіс, осылайша оны жану үлгісін бұзуға неғұрлым тиімді жасайды. Ақау келесі талаптардан тұруы тиіс:

а) орналасқан орны және нысаны кесу профиліне сәйкес келуі тиіс. Босаңқылықты топтастыру кестесі ҚР ҚН EN 1993-1-9 сәйкес сызаттың тиісті ережелері бойынша басшылық үшін қолданылуы мүмкін;

б) босаңқылыққа жұмыс істемейтін элементтер үшін, ақаудың көлемі ең жоғарыға, бірақ EN 1090 енгізілген тармақ талаптарына сәйкес келуі тиіс. Жорамалданған ақау кернеу шоғырлануы қолайсыз орында орналасуы тиіс.

в) босаңқылыққа жұмыс істейтін элементтер үшін, ақаудың көлемі босаңқылықпен өсірілген бастапқы ақаудың мөлшеріне сәйкес келуі тиіс. Бастапқы сызаттың мөлшері ҚР ҚН EN 1090 сәйкес қолданылатын бақылау әдістерін табуға болатын оның ең төменгі шамасын білдіретіндей жолмен таңдалуы тиіс. Сызаттың өсуі пайдалану немесе инспекциялық интервалдың қауіпсіз жобалық мерзімі уақытында құрылымда әрекет ететін жүктемені қолдана отырып бұзылу механикасының тиісті моделінің көмегімен есептелуі тиіс (сәйкес).

4.4.4 [2.4(4)ҚР ҚН EN 1993-1-10] Егерде құрылымның бөлшегі ҚР ҚН EN 1993-1-9 таралмайтын болса немесе осы құралдың 4.6-Кестесінде берілгеннен неғұрлым нақты нәтиже алуға мүмкіндік беретін неғұрлым қатаң әдістер қолданған жағдайда, ірі масштабты үлгілерде соққылы иілуге нақты сынақтарды қолдана отырып арнайы сынақтар жүргізілуі тиіс.

ЕСКЕРТПЕ Сынақ нәтижелерін өңдеу ДҚР ҚН EN 1990 Қосымшасында берілген әдістемені қолдана отырып жүргізілуі мүмкін.

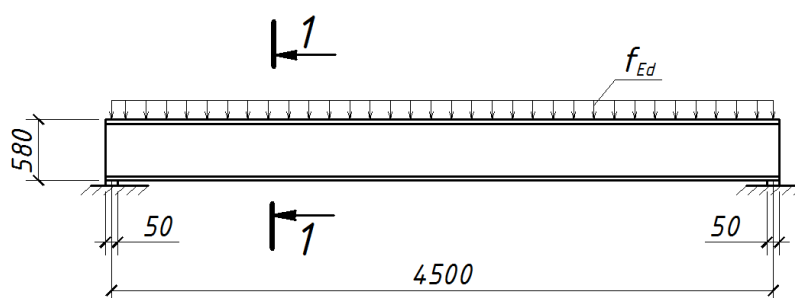
3 МЫСАЛ Есептік температураны дәнекерленген арқалықтың әлеуетті бұзылу орнында анықтау бойынша есеп  $T_{Ed}$  соққылы әсердің әрекетіне ұшыратылған

1) Бастапқы деректер

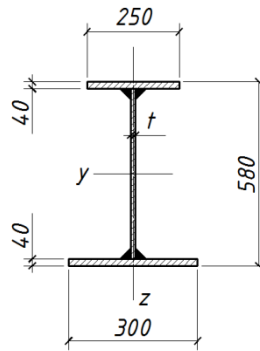
Дәнекерленген арқалық – дәнекерленген екітаврлы профиль (1-Суретті және 2-Суретті қараңыз). Дәнекерлеу бағаны  $\dot{\epsilon} = 1,8 \times 10^{-2}$  л/с деформацияның жылдамдығына алып келетін электр жабыдығының соққылы әсері әрекетіне ұшыратылған.

Дәнекерленген арқалық дайындалған материал  $f_y = 235$  МПа аққыштық шегіне ие S275 маркалық болат.

Құрылыс орны – Петропавловск қаласы (Солтүстік Қазақстан облысы).



1 Сурет – Дәнекерленген бірқанатты арқалық сызбасы



2 Сурет - Дәнекерленген бірқанатты арқалықтың көлденең қимасы

2) Әлеуетті бұзу орнындағы есептік температураны анықтау  $T_{ed}$

$T_{ed}$  анықтау бойынша рәсім 2.2 ҚР ҚН EN 1993-1-10-Тармағында берілген. Формулаға сәйкес (2.2) ҚР ҚН EN 1993-1-10 есептік температураға  $T_{ed}$  тең:

$$T_{ed} = T_{md} + \Delta T_r + \Delta T_\sigma + \Delta T_R + \Delta T_\varepsilon + \Delta T_{\varepsilon cf}$$

мұндағы  $T_{md}$  – ҚР ҚН EN 1991-1-5 сәйкес Солтүстік Қазақстан облысы Петропавловск қаласы үшін пайдалану кезеңіндегі ең төменгі ауа температурасы тең:

$$T_{md} = -44^\circ\text{C};$$

$\Delta T_r$  – болат элементтер үшін сәулелену (радиациялық шығын) кезіндегі шығынға түзетулер тең:

$$T_r = -5^\circ\text{C};$$

$\Delta T_\sigma$  – 2.2 (5) ҚР ҚН EN 1993-1-10-Тармағының 2-Ескертуіне сәйкес кернеуге және материалдың аққыштық шегіне, сызаттың болуына, сондай-ақ элементтің нысаны мен мөлшеріне түзету:

$$T_\sigma = 0^\circ\text{C};$$

$\Delta T_R$  – 2.2 (5) ҚР ҚН EN 1993-1-10-Тармағының 2-Ескертуіне сәйкес қауіпсіздік қоры тең:

$$T_R = 0^\circ\text{C};$$

$\Delta T_{\varepsilon cf}$  –  $\varepsilon_{cf}$  салқын бүгілу кезіндегі деформация дәрежесін түзету. Болат бағанның «ыстық әдіспен» дайындалатындығы бойынша (EN 10025 стандарты бойынша), онда:

$$\Delta T_{\varepsilon cf} = 0^\circ\text{C};$$

$\Delta T_\varepsilon$  –  $\dot{\varepsilon} = 4 \cdot 10^{-4}$  1/с бастапқыдан ерекшеленетін деформация жылдамдығын түзету. Аталған мысалда деформацияның жылдамдығының тең болуына байланысты:

$$\dot{\varepsilon} = 1,8 \times 10^{-2} \text{ 1/с};$$

онда  $\Delta T_\varepsilon$  формула бойынша анықталады (2.3) ҚР ҚН EN 1993-1-10:

$$\Delta T_\varepsilon = \frac{1440 - f_y(t)}{550} \cdot \left( \ln \frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right)^{1,5};$$

мұндағы  $f_y(t)$  – S 275 маркалы болаттың аққыштық шегі. 2.2(4) ҚР ҚН EN 1993-1-10-Тармағының 3-Ескертуіне сәйкес қимадағы сығылу кернеуі  $0,75 \cdot f_y$  аспауы тиіс.

Демек,

$$f_y(t) = 0,75 \cdot f_y = 0,75 \times 275 = 206,25 \text{ МПа}.$$

Осылайша,

$$\Delta T_\varepsilon = \frac{1440 - 206,25}{550} \cdot \left( \ln \frac{1,8 \times 10^{-2}}{4 \times 10^{-4}} \right)^{1,5} = 16,6^\circ\text{C}.$$

Бұдан туындайтыны есептік температура тең:

$$T_{ed} = -44 - 5 + 0 + 0 - 16,6 + 0 = -65,6^\circ\text{C}.$$

## 5 ПРОКАТ ҚАЛЫҢДЫҒЫ БАҒЫТЫНДА ҚАСИЕТТЕРІ БОЙЫНША МАТЕРИАЛДЫ ТАҢДАУ

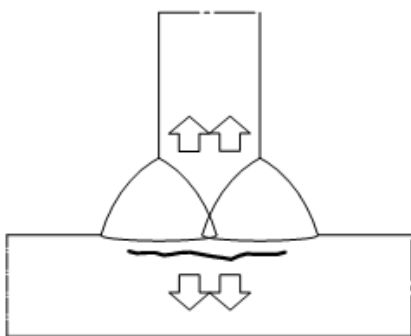
### 5.1 Жалпы ереже

5.1.1 Осы құралдың 5-бөлімінде прокаттың қалыңдығы бағытында болаттың қасиетін есепке ала отырып болат маркасын таңдау кезінде ҚР ҚН EN 1993-1-10 стандартын қолдану бойынша нұсқаулық берілген.

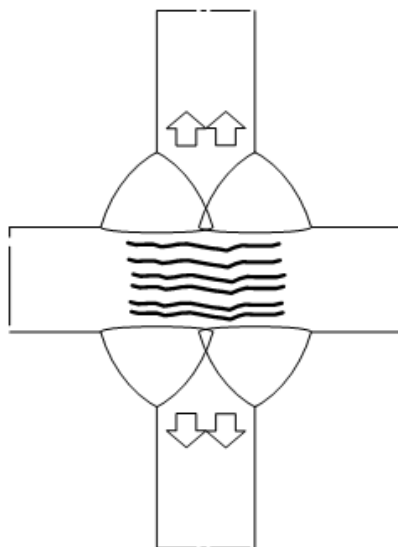
5.1.2 Прокат қалыңдығы бағытында қасиеттері бойынша болат маркасын таңдау болат құрылым элементтерінде жарылуды болдырмау үшін жүзеге асырылады.

**ЕСКЕРТПЕ** Жарылу – ультра дыбыстық ақау кезінде табуға болатын дәнекерлеуден туындаған материалдағы ақау. Жарылудың негізгі тәуекелі крест тәрізділерде, Т-тәрізділерде және бұрыштық қосылыстарда, сондай-ақ толық балқытылған дәнекерленген жіктерде байқалады. Аталған ақау дәнекерлеу жігінің қаптамасымен шартталған (5.1- Суретті қараңыз).

а)



б)



а) Т-тәрізді бұрыштық дәнекерлеу қосылысы;  
б) крест тәрізді бұрыштық дәнекерлеу қосылысы

### 5.1 Сурет - Қабатталу (табақтар)

5.1.3 Болат маркасын таңдау жарылуға жол бермеу үшін дәнекерлеу жұмысының талаптарын (EN 1461 қараңыз) және болат құрылымдардың монтажын (EN 1090 қараңыз) ескеруі тиіс.

5.1.4 Болат маркасын таңдау құрылым элементтерінің класы мен прокаттың қалыңдығы негізінде жүзеге асырылуы тиіс.

5.1.5 [3.1(1)ҚР ҚН EN 1993-1-10] Құрылым элементтерінің класы мен прокаттың қалыңдығы табақтардың қатпарлануы салдарына тәуелді түрде 3.1-Кесте бойынша қабылданады (осы құралдың 5.1-Кестесін қараңыз).



### 5.1 Кесте-Сапа класын таңдау

Класы	Пайдалану саласы
1	Европалық стандарттарда тізімделген барлық болат бұйымдар мен қалыңдықтар қолданудың барлық салалары үшін
2	Европалық стандарттарда тізімделген нақты болат бұйымдар мен нақты қалыңдықтар және/немесе қолданудың тізімделген салалары

ЕСКЕРТПЕ НП. ҚР ҚН EN 1993-1-10 Ұлттық қосымшаның 2.4-Тармағына сәйкес 1 класы қабылдау ұсынылады.

5.1.6 Құрылымдар мен прокат қалыңдығы элементтерінің сапасы класына тәуелді түрде келесі талаптардың бірін орындау қажеті (осы құралдың 5.1-Кестесін қараңыз):

а) EN 10164 стандарты нұсқаулығы бойынша прокаттың қалыңдығы бағытындағы болаттың қасиетін анықтау;

б) прокаттың жарылуына болат бұйымдар мен құрылымдардың қабылдау бақылауын анықтау.

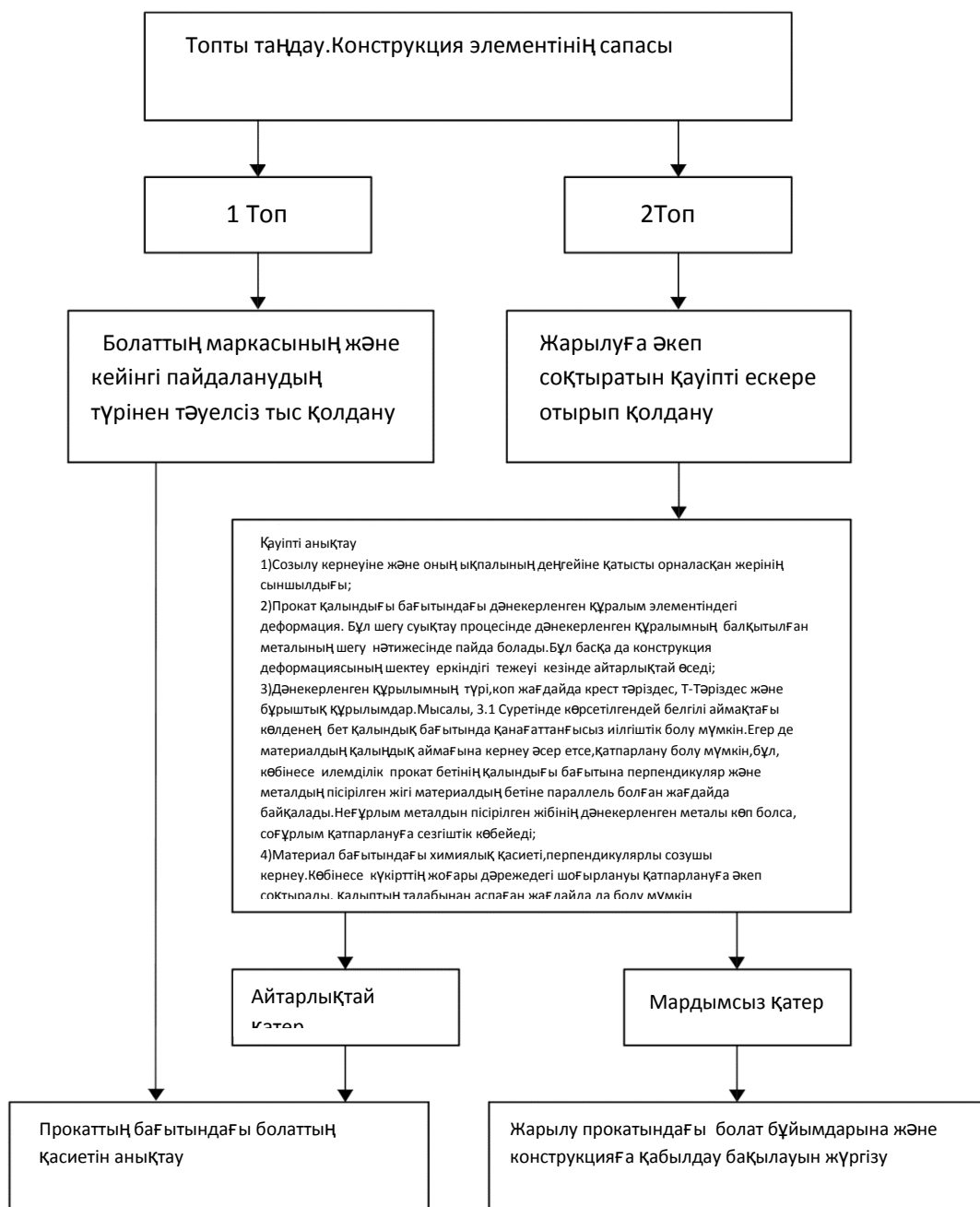
Осы құралдың 5.2-Суретінде осы құралдың 5.1.4, 5.1.5 және 5.1.6-Тармақтарының талаптарына сәйкес болат маркасын таңдаудың блок-сызбасы берілген.

5.1.7 Болаттың EN 10164 стандарты нұсқаулығы бойынша анықталатын жарылуды қабылдауын иілушілік көрсеткішінің негізінде анықтау қажет – «Z - шама».

ЕСКЕРТПЕ Иілушілік көрсеткіші «Z - шама» - пайызбен көрсетілген прокат қалыңдығының бағытында созылу сынақтары кезінде көлденең қима ауданының сығылуына қатысты көрсеткіш (EN 10002 стандартын қараңыз).

5.1.8 Жарылу өлшемі бойынша негізгі назарды прокат қалыңдығы бағытындағы созылу әрекетіне ұшыраған тілімшенің, арқалықтың және бағанның ернемекті қосылыстарының дәнекерленген жіктеріне аударған дұрыс.

5.1.9 Болат құрылымдар мен құрылымдардың жарылуларының алдын алу үшін дәнекерлеу жұмыстары кезінде EN 1011-2 стандартының талаптарын орындау қажет (F-қосымшасы).



**5.2 Сурет – жарылуға жол бермеу бойынша талаптарды есепке ала отырып болат маркасын таңдаудың блок-сызбасы**

## 5.2 Есеп рәсімі

5.2.1 Материалдың иілімділігінің аяқталуы мен жарылуына алып келуіне себеп болуы мүмкін жергілікті кернеу келесі факторларға тәуелді:

- а) дәнекерленген жіктің тиімді биіктігінің шамасына (параметрі  $Z_a$ );
- б) дәнекерлеу жігінің нысаны мен орналасуына (параметрі  $Z_b$ );
- г) дәнекерлеу жігінің отырғызылуын шектейтін құрылым элементтерінің болуы (параметр  $Z_d$ );

д) алдын ала қыздыру (параметрі  $Z_e$ );

5.2.2 Сынды шекті жағдайдың басталуына алып келуі мүмкін материалдың жарылуын (ULS) келесі жағдай орындалған кезде елемеуге рұқсат етіледі:

$$Z_{Ed} \leq Z_{Rd} , \quad (5.1)$$

мұндағы  $Z_{Ed}$  – осы құралдың (5.2) формуласы бойынша анықталатын «z - шаманың» талап етілетін есептік мағынасы;

$Z_{Rd}$  – материал үшін «z - шаманың» нормаланатын есептік мағынасы.

5.2.3 Материалдың жарылуға қабылетін сипаттайтын талап етілетін есептік мағынаны  $Z_{Ed}$  келесі формула бойынша анықтау ұсынылады:

$$Z_{Ed} = Z_a + Z_b + Z_c + Z_d + Z_e , \quad (5.2)$$

мұндағы  $Z_a$ ,  $Z_b$ ,  $Z_c$ ,  $Z_d$  и  $Z_e$  – осы құралдың 5.3-Кестесі бойынша анықталатын параметрлер.

5.2.4 Нормаланатын есептік  $Z_{Rd}$  мағына сапа кластары бойынша бөлінуге сәйкес (Z15, Z25, Z35) EN 10164 стандартының нұсқаулықтары бойынша анықталады (осы құралдың 5.2-Кестесін қараңыз).

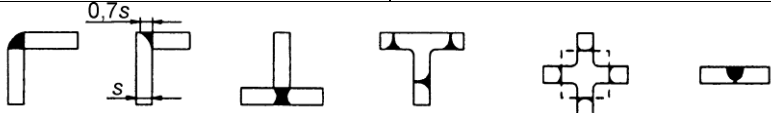
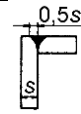
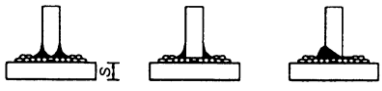
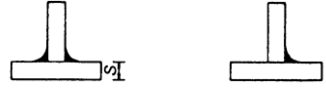
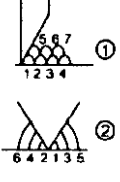
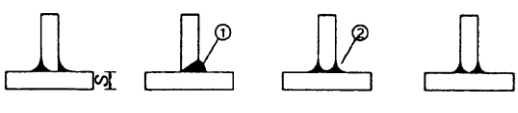
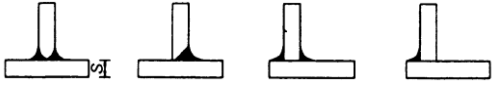

## 5.2 Кесте – Көлденең қиманың кішіреюге (тарылуға) қатысты сапа класы және ең төменгі мағынасы

Сапа класы	Көлденең қиманың төмендеуі, [%]	
	3 сынақ кезіндегі ең төменгі мағына	1 сынақ кезіндегі ең төменгі мағына
Z 15	15	10
Z 25	25	15
Z 35	35	25

Сапа класы бойынша бөліну берілген жағдайда, онда қауіпсіздіктің жеткілікті деңгейінде сапа класын қабылдау ұсынылады – Z10.

ЕСКЕРТПЕСапа класы бойынша бөліну –ҚРҚН EN 1993-1-1, ҚРҚН EN 1993-2, ҚРҚН EN 1993-3-1, ҚРҚН EN 1993-3-2, ҚРҚН EN 1993-4-1, ҚРҚН EN 1993-4-2, ҚРҚН EN 1993-4-3, ҚРҚН EN 1993-5 жәнеҚРҚН EN 1993-6 тиісті бөлімдерін қараңыз.

5.3 Кесте –Есептік мағынаға әсер ететін өлшемдер  $Z_{Ed}$

а)	Металл отырғызудан созылуды құрайтын дәнекерлеу жігінің биіктігі	Жіктің тиімді биіктігі $a_{eff}$ (5.2-Суретті қараңыз)	А-бұрыштық жіктері қалыңдығының мөлшері	$Z_i$
		$a_{eff} \leq 7 \text{ мм}$	$a = 5 \text{ мм}$	$Z_a = 0$
		$7 < a_{eff} \leq 10 \text{ мм}$	$a = 7 \text{ мм}$	$Z_a = 3$
		$10 < a_{eff} \leq 20 \text{ мм}$	$a = 14 \text{ мм}$	$Z_a = 6$
		$20 < a_{eff} \leq 30 \text{ мм}$	$a = 21 \text{ мм}$	$Z_a = 9$
		$30 < a_{eff} \leq 40 \text{ мм}$	$a = 28 \text{ мм}$	$Z_a = 12$
		$40 < a_{eff} \leq 50 \text{ мм}$	$a = 35 \text{ мм}$	$Z_a = 15$
		$50 < a_{eff}$	$a > 35 \text{ мм}$	$Z_a = 15$
б)	Т-тәрізді, крест тәрізді және бұрыштық қосылыстардағы дәнекерлеу жіктерінің нысаны және жағдайы			$Z_b = -25$
		Бұрыштық қосылыстар		$Z_b = -10$
		Беріктігі төмен балқытылған металдың бір қабатты бұрыштық жіктері $Z_a = 0$ немесе бұрыштық жіктері $Z_a > 1$		$Z_b = -5$
		Көпқабатты бұрыштық жіктер		$Z_b = 0$
		Отырғызудың әсерін төмендету үшін тиісті дәнекерлеу кезектілігі кезінде		
		Жиі және толық балқытылған жіктер		
		Жиі және толық балқытылған жіктер		$Z_b = 5$
		Бұрыштық қосылыстар		$Z_b = 8$
в)	Материал қалыңдығының отырғызын ұстауға әсері	$s \leq 10 \text{ мм}$		$Z_c = 2^*$
		$10 < s \leq 20 \text{ мм}$		$Z_c = 4^*$
		$20 < s \leq 30 \text{ мм}$		$Z_c = 6^*$
		$30 < s \leq 40 \text{ мм}$		$Z_c = 8^*$
		$40 < s \leq 50 \text{ мм}$		$Z_c = 10^*$
		$50 < s \leq 60 \text{ мм}$		$Z_c = 12^*$
		$60 < s \leq 70 \text{ мм}$		$Z_c = 15^*$
		$70 < s$		$Z_c = 15^*$

**5.3 Кесте –Есептік мағынаға әсер ететін өлшемдер  $Z_{Ed}$  (жалғасы)**

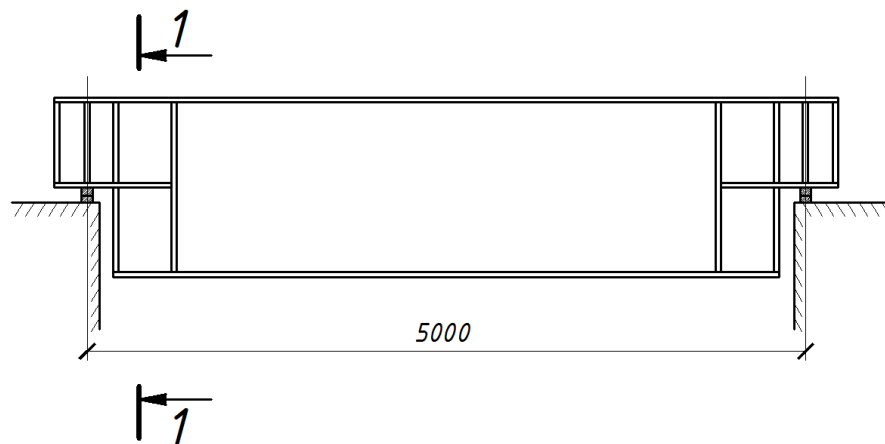
г)	Дәнекерлеуден кейін құрылымның басқа да бөлшектерімен отырғызуды жекелеген ұстау	Жіктің тиімді биіктігі $a_{eff}$ (5.2-Суретті қараңыз)	А-бұрыштық жіктері қалыңдығының мөлшері	$Z_i$
		Төменгі ұстау: еркін отырғызу мүмкін (мысалы Т-қосылысы)		$Z_d = 0$
		Орташа ұстау: еркін отырғызу шектелген (мысалы қорап қималарындағы диафрагмалар)		$Z_d = 3$
		Жоғары ұстау: еркін отырғызу мүмкін емес (мысалы ортотропты плиталардағы бойлықты аркалықтар)		$Z_d = 5$
д)	Алдын ала қыздырудың әсері	қыздырусыз		$Z_e = 0$
		Алдын ала қыздыру $\geq 100^{\circ}\text{C}$		$Z_e = -8$
* Статикалық жүктемелердің артықшылығына байланысты сығылу қалыңдығы бағытында кернеу үшін 50 % кемітілуі мүмкін.				

4 МЫСАЛ Дәнекерлеу аркалығы торабының қабатталу есебі

1) Бастапқы деректер

Аққыштық шегіне ие S 275 болат маркасынан дайындалған дәнекерлеу бағаны  $f_y = 235$  МПа,  $L = 5,0$  м ұзындығына ие (1-Суретті қараңыз).

Дәнекерлеу торабының қабатталу есебін орындау қажет (2, б-Суретті қараңыз).



1 Сурет – Дәнекерлеу аркалығының сызбасы

2) «Z – шамасын» түсіндіру

1.3.5 ҚР ҚН EN 1993-1-10-Тармағына сәйкес, Z – шама – болат үлгінің көлденең қиманың салыстырмалы кішіреюі (тарылуы) (сынақ EN 10002 стандарты бойынша орындалады), Z – шама пайызбен беріледі.

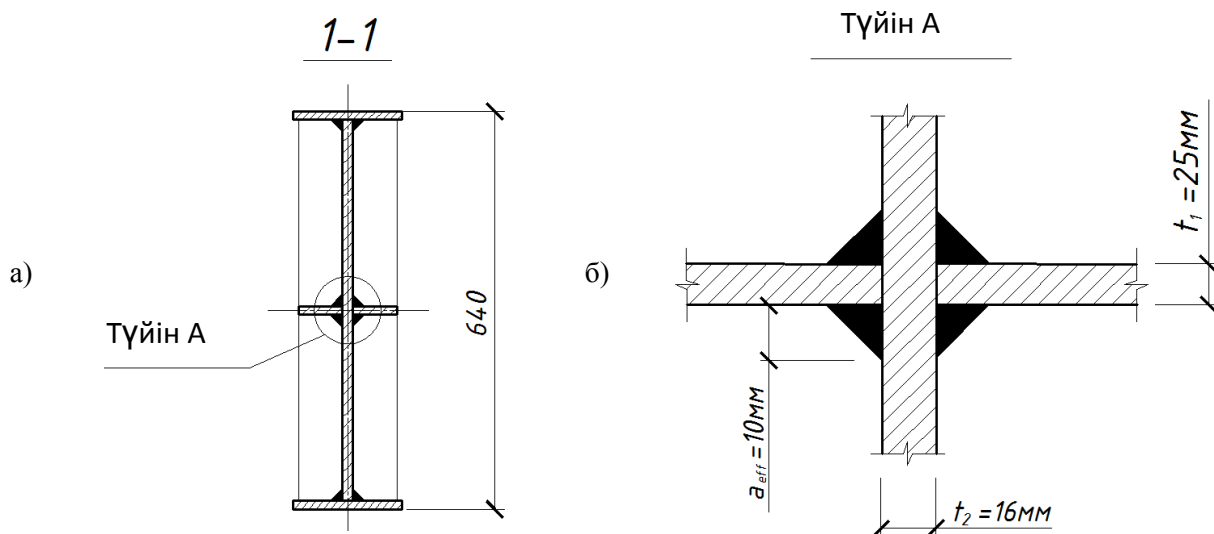
Z – шамаға неғұрлым нақты түсінік пен анықтау EN 10164-стандарттың 5.1-Тармағында беріледі, мұнда Z – шаманы анықтау бойынша формула берілген, оның ішінде:

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \cdot 100\%;$$

мұндағы  $S_0$  – болат үлгідегі көлденең қиманың бастапқы ауданы.

$S_u$  – болат үлгінің бұзылу сәтіндегі көлденең қиманың ең төменгі ауданы.

Одан өзге, EN 10164 стандартының 5-Тармағында Z – шама бойынша деректер кестесі берілген (1-Кестені қараңыз).



а) дәнекерлеу бағанының көлденең қимасы;

б) дәнекерлеу бағанының торабы

## 2 Сурет – Дәнекерлеу арқалығы

### 1 Кесте – Көлденең қиманың кішіреюге (тарылуға) қатысты сапа класы және ең төменгі мағынасы

Сапа класы	Көлденең қиманың төмендеуі, [%]	
	3 сынақ кезіндегі ең төменгі мағына	1 сынақ кезіндегі ең төменгі мағына
Z 15	15	10
Z 25	25	15
Z 35	35	25

Осылайша, Z – шама – ол болаттың физикалық-математикалық сипатының көрсеткіші ғана емес, сонымен қатар болат сапасының класын белгілеу.

#### 3) Қабаттасу есебі

Аталған мысалда қабаттасу есебі дәнекерлеу арқалығының қабырғасына беріктіктің шекті қабырғасының жанасуы крестілі торап үшін орындалады (2, б- Суретті қараңыз).

Беріктік қабырғалары жанасуының дәнекерленген жігі – тиімді биіктіктегі бұрыштық:

$$a_{\text{eff}} = 10 \text{ мм.}$$

3.2 ҚРҚНҚРҚН EN 1993-1-10-Кестесіне сәйкес дәнекерлеу жігінің тиімді биіктігі кезінде 10 ммшама  $z_a$  тең:

$$z_a = 3.$$

3.2 ҚР ҚН ҚР ҚН EN 1993-1-10 Кестесі бойынша көпқабатты дәнекерлеу жігімен крестілі тораптың шамасы  $z_b$  тең:

$$z_b = 0.$$

3.2 ҚР ҚН ҚР ҚН EN 1993-1-10-Кестесі бойынша, дәнекерлеу ақалығы қабырғасының қалыңдығы кезінде  $t=16$  мм, оған беріктік қабырғалары дәнекерленеді шамасыз  $z_c$  тең:

$$t_2=s=16 \text{ мм};$$

$$10 < t_2 = 16 \text{ мм} < 20 \text{ мм} \rightarrow z_c = 4.$$

Аталған торапта дәнекерлеу жігін еркін отырғызуға болады, демек шамаз  $z_b$  тең:

$$z_d = 0.$$

Дәнекерлеу торабының алдын ала қыздырусыз орындалуына қарай, она шамаз  $z_e$  тең:

$$z_e = 0.$$

Талап етілетін есептік мағына  $z_{ed}$  (3.2) ҚР ҚН ҚР ҚН EN 1993-1-10 формуласы бойынша анықталады:

$$z_{ed} = z_a + z_b + z_c + z_d + z_e.$$

Осылайша,

$$z_{ed} = 3 + 0 + 4 + 0 + 0 = 7.$$

Демек, қабаттандырумен сапаның барлық класын елемеуге болады (өйткені Z 15, Z 25, Z 35), өйткені:

$$z_{ed} = 7;$$

$$z_{Rd} = z_{Rd,min} = 10;$$

$$z_{ed} = 7 < z_{Rd} = 10.$$

Одан туындайтыны, (3.1) ҚРҚН EN 1993-1-10 формуланың талаптары орындалады.

**А Қосымшасы**  
(ақпараттық)

**Отандық болат маркаларының салығы**

Ақыштық шегінің нормативтік мағынасын және уақытша шектеу шегін анықтау мақсатында отандық болат аналогтарын таңдау үшін А.1-Кестесін қолдануға рұқсат етіледі.

**А.1 Кестесі – Отандық болат маркаларының және EN стандарттары бойынша  
болат маркаларының аналогтары**

EN стандартына сәйкес болат		Отандық болат	
EN 10025-2-2004 (E)		MEMCT 27772-88 бойынша аналогы	
Болаттың маркасы	Материалдың нөмірі	Белгісі	Болаттың маркасы
S235JR	1.0038	C 235	Ст. 3 кл. 2; Ст. 3 кл. 2-1
S275JR	1.0044	C 275	Ст. 3 пс 6-2
S355JR	1.0045	C 345	12Г2С 1-тобы
EN 10025-3-2004 (E)		Аналог по ГОСТ 19281	
Болаттың маркасы	Материалдың нөмірі	Белгісі	Болаттың маркасы
S420N	1.8902	C 440	12Г2АФ, 18Г2АФПС, 15Г2СФ термонеғайтылған
EN 10025-6-2004 (E)		MEMCT ТУ14-1-1-1772 бойынша аналогы	
Болаттың маркасы	Материалдың нөмірі	Белгісі	Болаттың маркасы
S550Q	1.8904	C 590	12Г2СМФ

1 ЕСКЕРТПЕ А.1-Кестесінде берілген отандық болаттың аналогтарын статикалық және қайтара статикалық жүктемелерді қабылдайтын болат құрылымдар үшін ақыштық шегі мен уақытша қарсылықтың нормативтік мағыналарын таңдаған кезде қолдануға рұқсат етіледі (НП.2.13 Ұлттық қосымшаға ҚР ҚН EN 1993-1-1-Тармағын қараңыз).

2 ЕСКЕРТПЕ С 245, С 255, С 345Т, С 345К, С 375, С 375Т, С 390, С 390Т, С 390К класс болаттарын қоса отырып отандық болат аналогтарының кестесін кеңейту тиісті әдістеме бойынша стандартты зертханалық нәтижесінің жеткілікті көлемін жинақтаған соң жүргізілуі мүмкін.

3 ЕСКЕРТПЕ Отандық болаттың соққылы тұтқырлығын бағалау V түріндегі концентратты үлгілер үшін жүргізілуі тиіс (Шарпи әдісі бойынша үлгілер). Аталған зертханалық сынақ деректері бойынша дірілдекті, динамикалық, соққылы жүктемелер және әсер етулер кезінде, сондай-ақ болат құрылымдардың тез сынуына жол беретін жағдайларда жұмыс істейтін болаттарда U түріндегі концентратты отандық болат үшін соққылы тұтқырлықтың есептік мағынасы түзетілетін болады.



УДК 620.113.41

МКС 91.010

---

**Негізгі сөздер:** морт бұзылу, соққылы тұтқырлық, төмен температуралар, Шарпи әдісі, сызатқа төзімділік, қабаттану, пісіру ақаулары, илемнің ең жоғары қалыңдығы.

---

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	IV
1 ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ .....	1
2 НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ .....	2
3 ТЕРМИНЫ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ .....	3
4 ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ, ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ХРУПКОГО РАЗРУШЕНИЯ .....	5
4.1 Общие положения .....	5
4.2 Свойства материала .....	6
4.2.1 Общие положения .....	6
4.2.2 Основные механические свойства стали .....	6
4.2.3 Основные технологические свойства .....	12
4.2.4 Способы термической обработки стали .....	13
4.2.5 Методы нанесения защитного покрытия стали .....	14
4.3 Процедура выбора материалов .....	21
ПРИМЕР 1 Расчет по подбору марки стали и максимально допустимой толщины ..	26
ПРИМЕР 2 Расчет шарнирно опертой стальной сварной балки с учетом требований норматива СН РК EN 1993-1-10 .....	28
4.4 Оценка с использованием механики разрушения .....	33
ПРИМЕР 3 Расчет по определению расчетной температуры $T_{Ed}$ в месте потенциального разрушения сварной балки, подверженной действию ударного воздействия .....	34
5 ВЫБОР МАТЕРИАЛА ПО СВОЙСТВАМ В НАПРАВЛЕНИИ ТОЛЩИНЫ ПРОКАТА .....	37
5.1 Общие положения .....	37
5.2 Процедура расчета .....	39
ПРИМЕР 4 Расчет узла сварной балки на расслаивание .....	42
ПРИЛОЖЕНИЕ А (информационное) Аналоги отечественных марок стали .....	45

## ВВЕДЕНИЕ

Настоящее нормативно-техническое пособие подготовлено ТОО «Астана Строй-Консалтинг» по договору с республиканским государственным предприятием «Казахский научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт сейсмостойкого строительства» (РГП «КазНИИССА»).

Настоящее нормативно-техническое пособие составлено в развитие положений СН РК EN 1993-1-10 «Проектирование стальных конструкций. Часть. Вязкость материала и прочностные свойства в направлении толщины проката» предназначено для выбора материала с учетом требований по ударной вязкости стали и свойств в направлении толщины стального проката.

Настоящее нормативно-техническое пособие является частью группы нормативно-технических пособий к строительным нормам Республики Казахстан СН РК EN 1993, идентичных Еврокоду 3.

Группа нормативно-технических пособий к СН РК EN 1993 – это перечень нормативно-технических документов, в которых приведены: рекомендации к расчету и к конструированию стальных конструкций согласно Принципам и Правилам проектирования СН РК EN 1993; разъяснения нормативной ссылочной информации; численные примеры расчета; дополнительная справочная информация.

Положения нормативно-технических пособий к СН РК EN 1993 охватывают только требования по несущей способности, эксплуатационной пригодности, долговечности и огнестойкости стальных конструкций. Другие требования не отражены в нормативно-технических пособиях к СН РК EN 1993.

Нормативно-технические пособия к СН РК EN 1993 следует использовать совместно со следующими нормативно-техническими документами:

- НТП к СН РК EN 1990;
- НТП к СН РК EN 1991;
- НТП к СН РК EN 1992 - СН РК EN 1999, в тех частях, которые непосредственно затрагивают расчет стальных конструкций или их элементов;
- стандарты EN, ETAG, ETA и другие соответствующие стандарты на строительные изделия, относящиеся к стальным конструкциям.

Основополагающими документами при разработке нормативно-технических пособий к СН РК EN 1993, помимо самих 20 частей СН РК EN 1993 «Проектирование стальных конструкций», являются СН РК EN 1990, СН РК EN 1991 и EN 1090.

Группа нормативно-технических пособий к СН РК EN 1993 состоит из 19 пособий:

- нормативно-технические пособия к СН РК EN 1993-1 (12 пособий);
- нормативно-техническое пособие к СН РК EN 1993-2 (1 пособие);
- нормативно-техническое пособие к СН РК EN 1993-3 (1 пособие);
- нормативно-технические пособия к СН РК EN 1993-4 (3 пособия);
- нормативно-техническое пособие к СН РК EN 1993-5 (1 пособие);
- нормативно-техническое пособие к СН РК EN 1993-6 (1 пособие).

Подгруппа нормативно-технических пособий к СН РК EN 1993-1 состоит из 12 пособий:

- нормативно-техническое пособие к СН РК EN 1993-1-1;
- нормативно-техническое пособие к СН РК EN 1993-1-2;
- нормативно-техническое пособие к СН РК EN 1993-1-3;
- нормативно-техническое пособие к СН РК EN 1993-1-4;
- нормативно-техническое пособие к СН РК EN 1993-1-5;
- нормативно-техническое пособие к СН РК EN 1993-1-6;
- нормативно-техническое пособие к СН РК EN 1993-1-7;
- нормативно-техническое пособие к СН РК EN 1993-1-8;
- нормативно-техническое пособие к СН РК EN 1993-1-9;
- нормативно-техническое пособие к СН РК EN 1993-1-10;
- нормативно-техническое пособие к СН РК EN 1993-1-11;
- нормативно-техническое пособие к СН РК EN 1993-1-12.

В нормативно-технических пособиях к СН РК EN 1993-1 приведены указания по проектированию стальных конструкций, которые распространяются на части СН РК EN 1993, имеющие отношение к специальным стальным зданиям и сооружениям:

- СН РК EN 1993-2;
- СН РК EN 1993-3;
- СН РК EN 1993-4;
- СН РК EN 1993-5;
- СН РК EN 1993-6.

В настоящем нормативно-техническом пособии к СН РК EN 1993-1-10 приведены:

- Правила выбора материала с учетом требований по ударной вязкости стали и свойств в направлении толщины стального проката, содержащиеся в СН РК EN 1993-1-10;
- положения, развивающие Принципы и Правила, приведенные в СН РК EN 1993-1-10;
- рекомендации, дополняющие Принципы и Правила, приведенные в СН РК EN 1993-1-10;
- численные примеры расчета, иллюстрирующие применение положений СН РК EN 1993-1-10 в практике проектирования.

При разработке настоящего нормативно-технического пособия, помимо положений СН РК EN 1993-1-10, учтены:

- положения Национального Приложения к СН РК EN 1993-1-10;
- соответствующие положения СН РК EN 1990;
- соответствующие положения СН РК EN 1991.

Настоящее нормативно-техническое пособие состоит из 5 разделов. Разделы с 1 по 5 настоящего нормативно-технического пособия повторяют структуру норматива СН РК EN 1993-1-10:

- Раздел 1: Область применения;
- Раздел 2: Нормативные ссылки;
- Раздел 3: Термины, определения, обозначения и сокращения;
- Раздел 4: Выбор материалов, для предотвращения хрупкого разрушения;
- Раздел 5: Выбор материала по свойствам в направлении толщины проката.

В настоящем нормативно-техническом пособии номера пунктов СН РК EN 1993-1-10 приведены в скобках.

Настоящее нормативно-техническое пособие предназначено для инженерно-технических работников проектных организаций, научных работников, заказчиков проектной продукции, преподавателей и студентов высших учебных заведений.

Настоящее нормативно-техническое пособие вводится в действие для применения на добровольной основе в качестве нормативного документа Республики Казахстан.

**ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ  
НОРМАТИВТІК-ТЕХНИКАЛЫҚ ҚҰРАЛЫ  
НОРМАТИВНО - ТЕХНИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ. ЧАСТЬ. ВЯЗКОСТЬ  
МАТЕРИАЛА И ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА В НАПРАВЛЕНИИ ТОЛЩИНЫ  
ПРОКАТА**

**PART. MATERIAL TOUGHNESS AND THROUGH-THICKNESS PROPERTIES**

Дата введения 2015-07-01

**1 ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ**

1.1 Настоящее пособие к СН РК EN 1993-1-10 устанавливает требования по выбору материала с учетом требований по ударной вязкости стали и свойств в направлении толщины стального проката, где есть значительный риск расслоения от растяжения во время изготовления.

1.2 Настоящее пособие содержит и развивает Принципы и Правила по выбору материала с учетом требований по ударной вязкости стали и свойств в направлении толщины стального проката маркой от S235 до S700, приведенные в СН РК EN 1993-1-10.

1.3 В настоящем пособии приведены рекомендации по выбору материала стали по вязкости разрушения (а так же вязкости разрушения элементов сварных соединений) и свойств в направлении толщины проката. Данные положения обеспечивают возможность проектирования совместно с использованием общих правил проектирования:

- СН РК EN 1993-1-1;
- СН РК EN 1993-1-2;
- СН РК EN 1993-1-3;
- СН РК EN 1993-1-4;
- СН РК EN 1993-1-5;
- СН РК EN 1993-1-6;
- СН РК EN 1993-1-7;
- СН РК EN 1993-1-8;
- СН РК EN 1993-1-9;
- СН РК EN 1993-1-10;
- СН РК EN 1993-1-11;
- СН РК EN 1993-2;
- СН РК EN 1993-3-1;
- СН РК EN 1993-3-2;
- СН РК EN 1993-4-1;
- СН РК EN 1993-4-2;
- СН РК EN 1993-4-3;
- СН РК EN 1993-5;
- СН РК EN 1993-6.

## 2 НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

Для применения настоящего пособия необходимы следующие ссылочные нормативные документы:

а) строительные нормы Республики Казахстан (основные ссылки):

- СН РК EN 1990:2002+A1:2005/2011 Основы проектирования несущих конструкций;

- СН РК EN 1991 Воздействия на несущие конструкции;

- СН РК EN 1993-1-1:2005/2011 Проектирование стальных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий;

- СН РК EN 1993-1-9:2005/2011 «Проектирование стальных конструкций. Часть 1-9.

Усталостная прочность;

- СН РК EN 1998 Проектирование сейсмостойких конструкций;

- СН РК EN 1999 Проектирование алюминиевых конструкций.

б) стандарты на сталь, стальные заготовки, стальные изделия и сварочные расходные материалы (вторичные ссылки):

- EN 1011-2 «Сварка. Рекомендации по сварке металлических материалов. Часть 2. Дуговая сварка ферритных сталей»;

- EN 10002 «Металлы. Испытания на растяжение»;

- EN 10025 «Горячекатаные изделия из конструкционных сталей»;

- EN 10045-1 «Металлические материалы. Испытания на ударный изгиб по Шарпи.

Часть 1. Метод испытаний;

- EN 10155 «Конструкционные стали с повышенным сопротивлением атмосферной коррозии. Технические условия поставки»;

- EN 10160 «Ультразвуковое тестирование листового проката толщиной равной или больше 6 мм (метод отраженных волн)»;

- EN 10164 «Стальные изделия с улучшенными деформационными свойствами в направлении толщины проката. Технические требования поставки»;

- EN 10210-1 «Горячекатаные замкнутые профили из нелегированных мелкозернистых конструкционных сталей. Часть 1. Технические требования поставки»;

- EN 10219-1 «Замкнутые профили из нелегированных мелкозернистых конструкционных сталей холодного формования. Часть 1. Технические требования поставки».

### 3 ТЕРМИНЫ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

3.1 В настоящем пособии используются термины и определения, которые необходимы при выборе материала с учетом требований по ударной вязкости стали и свойств в направлении толщины стального проката, в соответствии:

- с Пунктом 1.5 СН РК EN 1990;
- с Пунктом 1.5 СН РК EN 1993-1-1;
- с Пунктом 1.5 СН РК EN 1993-1-2;
- с Пунктом 1.3 СН РК EN 1993-1-3;
- с Пунктом 1.5 СН РК EN 1993-1-4;
- с Пунктом 1.3 СН РК EN 1993-1-5;
- с Пунктом 1.3 СН РК EN 1993-1-6;
- с Пунктом 1.3 СН РК EN 1993-1-7;
- с Пунктом 1.4 СН РК EN 1993-1-8;
- с Пунктом 1.3 СН РК EN 1993-1-9;
- с Пунктом 1.3 СН РК EN 1993-1-10;
- с Пунктом 1.3 СН РК EN 1993-1-11;
- с Пунктом 1.5 СН РК EN 1993-2;
- с Пунктом 1.5 СН РК EN 1993-3-1;
- с Пунктом 1.5 СН РК EN 1993-3-2;
- с Пунктом 1.5 СН РК EN 1993-4-1;
- с Пунктом 1.5 СН РК EN 1993-4-2;
- с Пунктами 1.5 и 1.8 СН РК EN 1993-4-3;
- с Пунктами 1.5 и 1.8 СН РК EN 1993-5,
- с Пунктом 1.5 СН РК EN 1993-6.

3.2 В настоящем пособии используются обозначения символов, которые необходимы при выборе материала с учетом требований по ударной вязкости стали и свойств в направлении толщины стального проката, в соответствии:

- с Пунктом 1.6 СН РК EN 1990;
- с Пунктом 1.6 СН РК EN 1993-1-1;
- с Пунктом 1.6 СН РК EN 1993-1-2;
- с Пунктом 1.4 СН РК EN 1993-1-3;
- с Пунктом 1.6 СН РК EN 1993-1-4;
- с Пунктом 1.4 СН РК EN 1993-1-5;
- с Пунктом 1.4 СН РК EN 1993-1-6;
- с Пунктом 1.4 СН РК EN 1993-1-7;
- с Пунктом 1.5 СН РК EN 1993-1-8;
- с Пунктом 1.4 СН РК EN 1993-1-9;
- с Пунктом 1.4 СН РК EN 1993-1-10;
- с Пунктом 1.4 СН РК EN 1993-1-11;
- с Пунктом 1.6 СН РК EN 1993-2;
- с Пунктом 1.6 СН РК EN 1993-3-1;
- с Пунктом 1.6 СН РК EN 1993-3-2;



- с Пунктами 1.6, 1.7 и 1.8 СН РК EN 1993-4-1;
- с Пунктами 1.6, 1.7 и 1.8 СН РК EN 1993-4-2;
- с Пунктами 1.6 и 1.7 СН РК EN 1993-4-3;
- с Пунктом 1.6 СН РК EN 1993-5,
- с Пунктом 1.6 СН РК EN 1993-6.

ПРИМЕЧАНИЕ В дополнение к обозначению символов, перечисленных в Пункте 3.2 настоящего пособия, используются обозначения символов согласно Пунктам 1.3 и 1.4 СН РК EN 1993-1-10.

## **4 ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ, ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ХРУПКОГО РАЗРУШЕНИЯ**

### **4.1 Общие положения**

4.1.1 Раздел 4 настоящего пособия описывает и дополняет правила применения СН РК EN 1993-1-10 по выбору материала стали с учетом требований по ударной вязкости.

4.1.2 Настоящее пособие применяется для выбора материала стали маркой стали с S235 до S690.

4.1.3 Положения настоящего пособия распространяются на выбор материала стали только для конструкций нового строительства. Данные положения предназначены для конструкций нового строительства. Данные положения не предназначены для оценки материалов стали, конструкций, которые уже находятся в эксплуатации.

4.1.4 Положения настоящего пособия распространяются на выбор материала стали конструкций, которые изготовлены и смонтированы согласно указаниям стандарта EN 1090.

4.1.5 Положения настоящего пособия распространяются на растянутые или изгибаемые элементы стальных конструкций. К сварным конструкциям и элементам, подверженным знакопеременным усталостным нагрузкам, положения настоящего пособия также применимы.

4.1.6 Положения настоящего пособия разрешается не применять для сжатых элементов конструкций.

4.1.7 Положения настоящего пособия распространяются на сталь, которая соответствует требованиям стандарта EN 10025 и EN 10210.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Разрешается применять марки стали, изготовленные по ГОСТ и ТУ, соответствующие требованиям EN 10025 и EN 10210 (см. Приложение А настоящего пособия).

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Физико-механические свойства марок сталей, изготовленные по стандартом, EN 10025 и EN 10210 приведены в Таблицах 4.1 и 4.2 настоящего пособия.

ПРИМЕЧАНИЕ 3 Стандарт EN 10025 определяет технические условия поставки к плоской и длинномерной продукции из горячекатаных конструкционных сталей за исключением конструкционных полых профилей и труб.

Особые требования к конструкционным сталям представлены в следующих частях:

а) часть EN 10025-2: Технические условия поставки для нелегированных конструкционных сталей;

- б) часть EN 10025-3: Технические условия поставки для нормализованных/нормализованных катаных пригодных к сварке мелкозернистых конструкционных сталей;
  - в) часть EN 10025-4: Технические условия поставки для термомеханических катаных пригодных к сварке мелкозернистых конструкционных сталей;
  - г) часть EN 10025-5: Технические условия поставки для конструкционных сталей с улучшенным сопротивлением атмосферной коррозии;
  - д) часть EN 10025-6: Технические условия поставки для плоского проката из конструкционных сталей с высоким пределом текучести в закаленном и отпущенном состоянии.
- Стали, определенные стандартом EN 10025, предназначены для использования в сварных конструкциях, на болтовых и заклепочных соединениях.

**ПРИМЕЧАНИЕ 4** Стандарт EN 10210-1 устанавливает технические условия поставки к профилям полым конструкционным, изготовленным методом горячего формования, круглого, квадратного и прямоугольного сечения и распространяется на профили полые, изготовленные методом горячего формования с последующей термообработкой или без нее, а также на профили полые, изготовленные методом холодного формования, прошедшие после изготовления термообработку для обеспечения металлургических свойств, равноценных свойствам изделий, изготовленных методом горячего формования.

Требования к допускам, размерам и физико-механическим характеристикам приводятся в EN 10210-2.

## **4.2 Свойства материала**

### **4.2.1 Общие положения**

4.2.1.1 При выборе материала при проектировании стальных конструкций необходимо учитывать механические и технологические свойства стали, способ термической обработки стали и метод нанесения защитного покрытия стали.

4.2.1.3 Основные механические свойства стали:

- прочность (см. Таблицу 4.2 настоящего пособия);
- пластичность (см. Таблицу 4.3 настоящего пособия);
- относительное удлинение (см. Таблицу 4.4 настоящего пособия).

4.2.1.4 Основные технологические свойства

- свариваемость (см. Пункт 4.2.3 настоящего пособия);
- формуемость;
- коррозионная стойкость.

4.2.1.5 Способы термической обработки стали:

- термический способ (см. Пункт 4.2.4.1 настоящего пособия);
- термомеханический (см. Пункт 4.2.4.2 настоящего пособия).

4.2.1.6 Методы нанесения защитного покрытия стали:

- горячий метод (см. Пункт 4.2.5.1 настоящего пособия);
- металлизация (см. Пункт 4.2.5.2 настоящего пособия);
- химическое осаждение (см. Пункт 4.2.5.3 настоящего пособия);
- электрохимическое осаждение (см. Пункт 4.2.5.4 настоящего пособия);
- диффузионный способ (см. Пункт 4.2.5.5 настоящего пособия);
- плакирование (см. Пункт 4.2.5.6 настоящего пособия);
- химико – термический способ обработки (см. Пункт 4.2.5.7 настоящего пособия).

#### 4.2.2 Основные механические свойства стали

4.2.2.1 В настоящем пособии изложены основные требования к механическим прокатным сталям для изготовления основных несущих и вспомогательных стальных конструкций, которые приведены в СН РК EN 1993-1-1.

Стальной прокат, изготовленный по стандарту EN 10025, условно поделен на 5 групп:

- а) конструкционная малоуглеродистая сталь (см. EN 10025-2);
- б) низколегированная нормализованная свариваемая мелкозернистая сталь (см. EN 10025-3);
- в) низколегированная термоулучшенная свариваемая мелкозернистая сталь (см. EN 10025-4);
- г) конструкционная атмосферостойкая сталь (см. EN 10025-5);
- д) листовой прокат высокопрочной стали с закалкой и отпуском (см. EN 10025-6).

Условное разделение сталей по группам приведено в Таблице 4.1 настоящего пособия.

**Таблица 4.1 - Условное разделение стали, изготовленной по стандарту EN 10025, по группам**

Группа	Стандарт	Стальной прокат	Марка прочности
1	EN 10025-2	Конструкционная малоуглеродистая сталь	от S235 до S355
2	EN 10025-3	Низколегированная нормализованная сталь	от S275 до S460
3	EN 10025-4	Низколегированная термоулучшенная сталь	от S275 до S460
4	EN 10025-5	Атмосферостойкая сталь	от S235 до S355
5	EN 10025-6	Сталь с высоким пределом текучести	от S460 до S620

4.2.2.2 В настоящем пособии в расчетах стальных конструкций следует принимать следующие значения физико-механических характеристик:

- а) модуль упругости:

$$E = 210 \text{ кН/мм}^2;$$

- б) коэффициент Пуассона в упругой стадии:

$$\nu = 0,3;$$

- в) модуль сдвига:

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} = \frac{210}{2 \times (1 + 0,3)} = 81 \text{ кН/мм}^2;$$

- г) коэффициент линейного термического расширения  $\alpha$  (при температуре меньше 100 градусов Кельвина):

$$\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ К}^{-1};$$

д) плотность стали  $\rho$ :

$$\rho = 7850 \text{ кг/м}^3.$$

4.2.2.3 Отдельное внимание требуется уделить номинальным значениям предела текучести  $f_y$  и временного сопротивления  $f_u$ . Согласно Пункту 3.1(1) СН РК EN 1993-1-1, при выполнении расчетов номинальные значения предела текучести и временного сопротивления следует принимать как характеристические.

4.2.2.4 Предел текучести (для марки стали до S460) – механическое напряжение, отвечающее нижнему положению площадки текучести на графике деформирования стали, после которого упругая деформация стального образца (исчезающая после снятия нагрузки), переходит в пластическую (необратимую) деформацию. Предел текучести для сталей марки выше S460 (не обладающих площадкой текучести) – напряжение, при котором остаточное удлинение образца достигает 0,2 % (см. Рисунок 4.1 настоящего пособия).

4.2.2.5 Временное сопротивление – механическое напряжение, соответствующее наибольшему усилию, предшествующему разрыву (разрушению) стального образца при механических испытаниях (см. Рисунок 4.1 настоящего пособия).

4.2.2.6 Номинальные значения предела текучести  $f_y$  и временного сопротивления  $f_u$  для высокопрочной конструкционной стали необходимо принимать равными:

а) непосредственно по стандартам EN 10025-6 и EN 10149-2:

$$\begin{aligned} f_y &= R_{eH}, \\ f_u &= R_m; \end{aligned} \quad (4.1)$$

где  $R_{eH}$  – предел текучести по стандарту на прокат;

$R_m$  – временное сопротивление по стандарту на прокат.

б) по Таблицам 4.2 и 4.3 настоящего пособия.

в) непосредственно по ГОСТам и ТУ Республики Казахстан, с учетом Примечания 1 Пункта 4.1.7 настоящего пособия:

$$\begin{aligned} f_y &= \sigma_T, \\ f_u &= \sigma_B; \end{aligned} \quad (4.2)$$

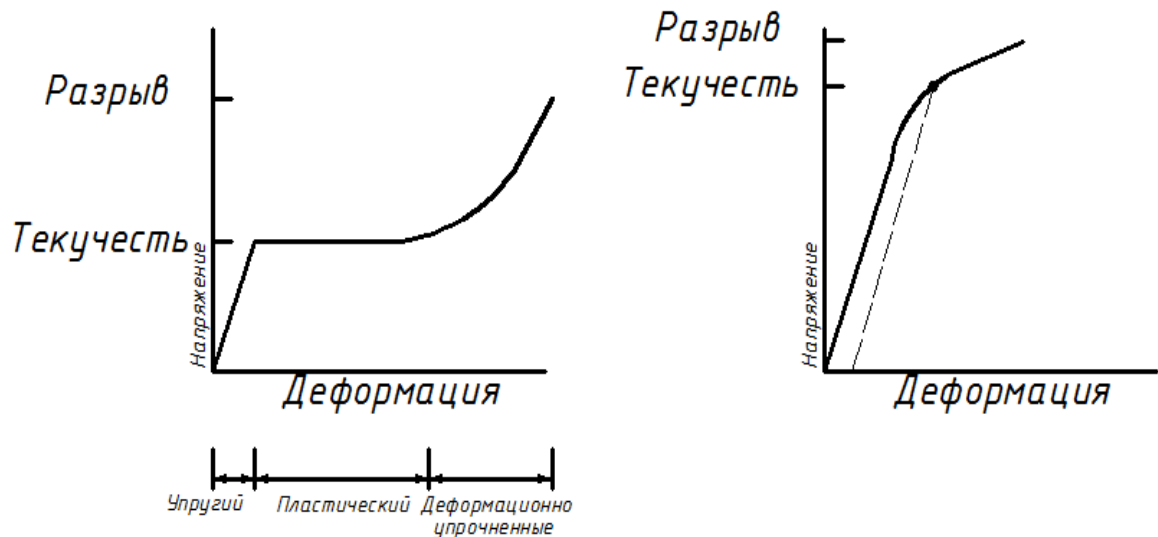
**Таблица 4.2 - Номинальные значения предела текучести  $f_y$  и временного сопротивления на растяжение  $f_u$  горячекатаной конструкционной стали**

Стандарт и марка стали	Номинальная толщина элемента $t$ , мм			
	$t \leq 40$ мм		$40 \text{ мм} < t \leq 80$ мм	
	$f_y$ [Н/мм <sup>2</sup> ]	$f_u$ [Н/мм <sup>2</sup> ]	$f_y$ [Н/мм <sup>2</sup> ]	$f_u$ [Н/мм <sup>2</sup> ]
<b>EN 10025-2</b>				
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	510	335	470
S 450	440	550	410	550

**Таблица 4.2 - Номинальные значения предела текучести  $f_y$  и временного сопротивления на растяжение  $f_u$  горячекатаной конструкционной стали**  
(продолжение)

Стандарт и марка стали	Номинальная толщина элемента $t$ , мм			
	$t \leq 40$ мм		$40 \text{ мм} < t \leq 80$ мм	
	$f_y$ [Н/мм <sup>2</sup> ]	$f_u$ [Н/мм <sup>2</sup> ]	$f_y$ [Н/мм <sup>2</sup> ]	$f_u$ [Н/мм <sup>2</sup> ]
<b>EN 10025-3</b>				
S 275 N/NL	275	390	255	370
S 355 N/NL	355	490	335	470
S 420 N/NL	420	520	390	520
S 460 N/NL	460	540	430	540
<b>EN 10025-4</b>				
S 275 M/ML	275	370	255	360
S 355 M/ML	355	470	335	450
S 420 M/ML	420	520	390	500
S 460 M/ML	460	540	430	530
<b>EN 10025-5</b>				
S 235 W	235	360	215	340
S 355 W	355	510	335	490
<b>EN 10025-6</b>				
S 460 Q/QL/QL1	460	570	440	550
<b>EN 10210-1</b>				
S 235 H	235	360	215	340
S 275 H	275	430	255	410
S 355 H	355	510	335	490
S 275 NH/NLH	275	390	255	370
S 355 NH/NLH	355	490	335	470
S 420 NH/NHL	420	540	390	520
S 460 NH/NLH	460	560	430	550
<b>EN 10219-1</b>				
S 235 H	235	360		
S 275 H	275	430		
S 355 H	355	510		
S 275 NH/NLH	275	370		
S 355 NH/NLH	355	470		
S 460 NH/NLH	460	550		
S 275 MH/MLH	275	360		
S 355 MH/MLH	355	470		
S 420 MH/MLH	420	500		
S 460 MH/MLH	460	530		

ПРИМЕЧАНИЕ В прошлом для обозначения наименования конструкционной стали использовалась значение временного сопротивления, то есть сталь марки St 52 (Германия) обладает пределом текучести 52 кг/мм<sup>2</sup>. На сегодняшний день, после согласования международных норм, наименование европейских сталей происходит от значения предела текучести стали, то есть сталь марки S 355 (в прошлом St 52) обладает пределом текучести 355 Н/мм<sup>2</sup>.



а) малоуглеродистые стали класса S235 – S460

б) высокопрочные стали S460-S700

**Рисунок 4.1**

4.2.2.7 Пользователю настоящего пособия необходимо учитывать пластичность стали при статическом расчете.

4.2.2.8 Расчет стальных конструкций должен выполняться для сталей, характеристики которых представлены в Таблице 4.2 настоящего пособия либо для сталей, которые отвечают всем требованиям Раздела 4 настоящего пособия.

4.2.2.9 При проектировании стальных конструкций согласно положениям настоящего пособия в целях обеспечения надежности, сталь должна отвечать следующим требованиям:

а) отношение значения временного сопротивления  $f_u$  к значению предела текучести  $f_y$  должно быть больше, чем 1,1 (см. Таблицу 4.3 настоящего пособия):

$$\frac{f_u}{f_y} > 1,1;$$

Таблица 4.3 – Пластичность стали, изготовленной по EN 10025

Группа	Стальной прокат	Наименьшее значение $f_u/f_y$
1	Конструкционная малоуглеродистая сталь (EN 10025-2)	1,3
2	Низколегированная нормализованная сталь (EN 10025-3)	1,2
3	Низколегированная термоулучшенная сталь (EN 10025-4)	1,2
4	Атмосферостойкая сталь (EN 10025-5)	1,3
5	Сталь с высоким пределом текучести (EN 10025-6)	1,1

б) отношение значения предельной деформации  $\varepsilon_u$  к упругой деформации  $\varepsilon_y$  должно быть больше 15,0:

$$\frac{\varepsilon_u}{\varepsilon_y} > 15,0;$$

в) относительное удлинение стального образца не менее 15% при первоначальной длине образца  $5,65 \cdot \sqrt{A_0}$ , где  $A_0$  – начальная площадь поперечного сечения стального образца (см. Таблицу 4.4).

Таблица 4.4 – Относительное удлинение образцов, изготовленных из стали по стандарту EN 10025

Группа	Стальной прокат	Минимальный процент удлинения образца длиной $l_1 = 5,65 \cdot \sqrt{A_0}$ после разрыва, %					
		Марки прочности					
		S235	S275	S355	S420	S460	>S460
1	Конструкционная малоуглеродистая сталь (EN 10025-2)	24	20	20	-	-	-
2	Низколегированная нормализованная сталь (EN 10025-3)	-	23	21	18	17	-
3	Низколегированная термоулучшенная сталь (EN 10025-4)	-	24	22	19	17	-
4	Атмосферостойкая сталь (EN 10025-5)	24	-	20	-	-	-
5	Сталь с высоким пределом текучести (EN 10025-6)	-	-	-	-	-	15

### 4.2.3 Основные технологические свойства

Свариваемость проката должна быть оценена при помощи углеродного эквивалента CEV, который не должен превышать значений приведенных в Таблице 4.5 настоящего пособия.

**Таблица 4.5 – Значения углеродного эквивалента стали, изготовленной по EN 10025**

Группа	Стальной прокат		Предельные значения углеродного эквивалента CEV			
1	Толщины проката, мм		до 30	от 30 до 40	от 40 до 150	от 100 до 250
	Конструкционная малоуглеродистая сталь (EN 10025-2)	S235	0,35	0,35	0,38	0,40
		S275	0,40	0,40	0,42	0,44
		S355	0,45	0,47	0,47	0,47
2	Толщины проката, мм		до 40	от 40 до 63	от 63 до 100	от 100 до 250
	Низколегированная нормализованная сталь (EN 10025-3)	S275	0,40	0,40	0,40	0,42
		S355	0,43	0,43	0,45	0,45
		S420	0,48	0,48	0,50	0,52
		S460	0,53	0,53	0,54	0,55
3	Толщины проката, мм		до 40	от 40 до 63	от 63 до 120	от 120 до 150
	Низколегированная термоулучшенная сталь (EN 10025-4)	S275	0,34	0,35	0,38	0,38
		S355	0,39	0,40	0,45	0,45
		S420	0,45	0,46	0,47	0,47
		S460	0,46	0,47	0,48	0,48
5	Толщины проката, мм			до 50	от 50 до 100	от 100 до 150
	Сталь с высоким пределом текучести (EN 10025-6)	S460		0,47	0,48	0,50
		S500		0,47	0,70	0,70
		S550		0,65	0,77	0,83
		S620		0,65	0,77	0,83

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Значения углеродного эквивалента в таблице были определены по формуле:

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}.$$

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Ограничение по содержанию серы и фосфора:

- а) сера - содержание не более 0,03% (сера снижает выносливость и свариваемость);  
 б) фосфор содержание не более 0,025% (фосфор снижает пластичность и вязкость).



## 4.2.4 Способы термической обработки стали

### 4.2.4.1 Термическая обработка

4.2.4.1.1 К термической обработке стали отнесены следующие процессы: отжиг первого и второго рода; закалка; отпуск.

4.2.4.1.2 Отжиг первого рода заключается в нагреве до определенной температуры (ниже точки  $A_1$ ), зависящей от состава стали, выдержке в течение нескольких часов, и последующем, обычно, медленном охлаждении. Отжиг, который применяется для устранения наклепа при пластических деформациях (рекристаллизационный) происходит при температуре, чаще всего,  $450 \div 650$  °С; отжиг для снятия остаточных напряжений (от литья, сварки, обработки резанием) - при температуре, чаще всего,  $550 \div 680$  °С.

4.2.4.1.3 Процесс отжига стали второго рода заключается в нагреве до температур выше точек  $A_1$  и  $A_3$ , выдержке в течение нескольких часов, и последующем, обычно медленном охлаждении, в результате которого происходят фазовые превращения в стали, и сталь приобретает структуру «феррит+перлит». После отжига сталь обладает низкой твердостью и прочностью, зерно измельчается. Полный отжиг проводят с температурой на  $30 \div 50$  °С выше  $A_{с3}$ , при которой образуется аустенит с мелкими зернами. Если температура выше, то зерна начинают расти, и свойства стали ухудшаются. Время выдержки  $0,5 \div 1$  ч. Охлаждение идет со скоростью от  $10 \div 100$  градусов в час для легированных сталей, и  $150 \div 200$  градусов в час - для углеродистых. Неполный отжиг проводят с температурой несколько выше точки  $A_{с1}$  для снятия внутренних напряжений и для облегчения обработки резанием. Низкий отжиг или высокий отпуск применяют чтобы снять избыточную твердость проката и выполняют при температуре  $650 \div 680$  °С, несколько ниже точки  $A_c$ . Отжиг нормализационный или нормализация заключается в нагреве стали на  $50 \div 60$  °С выше точки  $A_{с3}$ , непродолжительной выдержке и охлаждении на воздухе. Нагрев вызывает фазовую перекристаллизацию и, следовательно, устраняет крупнозернистую структуру, получаемую при литье или при прокатке. Ускоренное охлаждение на воздухе приводит к распаду аустенита, что повышает дисперсность ферритно-цементитной смеси и увеличивает количество перлита. Это повышает на  $10 \div 15\%$  прочность и твердость нормализованной стали по сравнению с отожженной.

4.2.4.1.4 Процесс закалки стали состоит в нагреве стали до температуры выше  $A_{с3}$  на  $30 \div 50$  °С выдержке при этой температуре и быстром охлаждении. В этом случае образовавшийся выше точки  $A_{с3}$  аустенит превратится при быстром охлаждении в мартенсит. При нагреве сталей в интервале температур  $A_{с1} \div A_{с3}$  после закалки наряду с мартенситом остаются участки феррита. Прочность и твердость такой стали ниже. Охлаждающие закалочные смеси должны обеспечить высокую скорость охлаждения, особенно в диапазоне температур  $650 \div 550$  °С, чтобы предотвратить распад аустенита на ферритно-цементитную смесь, но при этом скорость охлаждения в зоне мартенситного превращения  $300 \div 200$  °С должна быть не высокой для предотвращения высоких внутренних напряжений. В качестве охладителей обычно применяют воду, 10% раствор NaCl в воде и минеральное масло. Скорость охлаждения в масле в  $20 \div 25$  раз медленнее,

чем в воде, а температура кипения  $250 \div 300^\circ\text{C}$ . Закалка в масле уменьшает возможность образования дефектов и понижает уровень внутренних напряжений.

4.2.4.1.5 Отпуск закаленной стали заключается в нагреве не выше  $A_{c1}$  выдержке и охлаждении с заданной скоростью. Отпуск - окончательный этап термической обработки. Сталь при этом получает требуемые механические свойства. Остаточные напряжения после закалки при отпуске существенно уменьшаются. Низкотемпературный отпуск проводят при температуре  $250^\circ\text{C}$ . Структура стали - мартенсит отпуска. При этом сталь упрочняется за счет снижения внутренних напряжений без уменьшения твердости. Среднетемпературный отпуск выполняют, при температуре  $350 \div 500^\circ\text{C}$ . Такой отпуск обеспечивает наиболее высокий предел упругости и несколько повышает вязкость. Структура стали после отпуска - тростит отпуска, с твердостью HRC  $40 \div 50$ . Высокотемпературный отпуск выполняют, при температуре  $500 \div 680^\circ\text{C}$ . Такой отпуск значительно повышает ударную вязкость и полностью снимает внутренние напряжения. Прочность и твердость снижаются, но все равно являются более высокими, чем после нормализации. Структура стали после отпуска - сорбит отпуска. Сталь, после закалки и высокотемпературного отпуска называется термически улучшенной.

#### 4.2.4.2 Термомеханическая обработка

Термомеханическая обработка заключается в сочетании пластической деформации в аустенитном состоянии с ее закалкой; высокотемпературная термомеханическая обработка (ВТМО) - в деформации стали ( $20 \div 30\%$ ) при ее нагреве выше температуры  $A_{c3}$ , при которой сталь имеет аустенитную структуру. Низкотемпературная термомеханическая обработка (НТМО) заключается в деформации стали ( $75 \div 95\%$ ) при температуре  $400-600^\circ\text{C}$  в зоне переохлажденного аустенита. Закалку выполняют непосредственно после деформации. После закалки в обоих случаях следует низкотемпературный отпуск при температуре  $100 \div 300^\circ\text{C}$ . Прочность стали, подвергнутой ВТМО, может достигать значений  $\sigma_{\text{ц}} = 2200 \div 3000 \text{ МПа}$ , при хорошей пластичности  $\delta = 6 \div 8\%$  и вязкости  $KCU = 50 \div 60 \text{ Дж/см}^2$ , а после обычной закалки той же стали:  $\sigma_{\text{ц}} = 2000 \div 2200 \text{ МПа}$ ,  $\delta = 3 \div 4\%$ .

#### 4.2.5 Методы нанесения защитного покрытия стали

##### 4.2.5.1 Общее

Защитные металлические покрытия сталей могут наноситься различными способами: горячим, металлизационным, химическим, электрохимическим, конденсационным, диффузионным, контактным. В зависимости от метода их нанесения покрытия обладают разными характеристиками, но на способность покрытия оказывать коррозионную защиту основного металла метод нанесения влияет незначительно.

#### 4.2.5.2 Горячий способ

4.2.5.2.1 Металл для покрытия нагревается до расплавленного состояния, а основной металл погружается в ванну с расплавленным металлом (процесс горячего погружения) либо расплавленный металл стекает, или как-нибудь иначе поступает на поверхность изделия (процесс пайки).

4.2.5.2.2 Для того, чтобы покрывающий металл полностью распространился по поверхности изделия и обладал достаточной адгезией, необходимо удалить с изделия окисную пленку. Это достигается с помощью флюса. Последовательность процесса нанесения покрытия горячим способом может быть представлена так: подача металла, погружение в раствор, промывание и сушка, погружение во флюс, погружение в расплавленный металл, а затем сток и сушка.

4.2.5.2.3 Изделий, покрываемые горячим способом, могут иметь большие размеры. Ванны могут иметь длину до 18 м. Детали больших размеров покрывают, опустив вначале один, а затем второй конец в ванну. Листы, ленту или проволоку можно обрабатывать на автоматизированной поточной линии (часто с большой скоростью), последовательно пропуская через ванны с травильным флюсом и покрывающими растворами, а после этого намотать в рулоны необходимой длины.

4.2.5.2.4 Горячее цинкование стали наиболее распространено. Вначале сталь погружают в раствор соляной кислоты, чтобы удалить ржавчину, окалину и сделать поверхность несколько шероховатой. Флюсование металла хлористым алюминием после травления осуществляют перед погружением в расплав цинка либо непосредственно при погружении, пропуская металл через расплавленный флюс, находящийся на поверхности цинковой ванны (в некоторых случаях используют оба метода). Во время погружения в цинковую ванну, имеющую температуру от 430° до 470 °С, образуются слои сплава цинка с железом. Этот сплав обычно содержит три компонента: 6,25%  $\xi$ -фазы, 11%  $\delta$ -фазы, 22%  $\gamma$ -фазы железа. Максимальное количество железа содержится в нижних слоях покрытия, а минимальное на поверхности цинкового покрытия. Образование чрезмерно толстых слоев интерметаллида при температурах выше 480 °С приводит к хрупкости покрытия из-за большой хрупкости сплава цинка с железом. Добавление небольшого количества алюминия (0,1÷0,2%) в цинковый расплав существенно уменьшает интенсивность образования сплава и повышает пластичность покрытия. В ванне всегда образуется дросс (сплав цинка с железом, содержащий 3÷7% железа), который оседает на дне ванны. Покрытие толщиной 40 мкм весит около 250 грамм на 1 метр квадратный.

4.2.5.2.5 Горячее цинкование предпочтительно для защиты стальных конструкций от коррозии. Горячему цинкованию подвергаются и вспомогательные конструкции (элементы мостового полотна), и основные конструкции, в том числе и высокопрочная проволока канатных элементов.

4.2.5.2.6 Горячее алюминирование стали полностью повторяет процесс горячего цинкования, но более сложный. Это связано с более высокой температурой расплава – (700 °С) и большой скоростью образования окиси алюминия. За счет высокой температуры происходит мгновенная реакция между железом и алюминием, что приводит к образованию хрупкого интерметаллида. Окись алюминия, покрывающая поверхность

ванны, мешает образованию покрытия. По этим причинам ванна должна быть покрыта слоем флюса, который бы исключал контакт воздуха с алюминием. Для уменьшения количества соединений железа и алюминия в ванну добавляют  $6 \div 7\%$  кремния. Покрытие алюминия толщиной 25 мкм весит около 150 грамм на 1 метр квадратный.

#### 4.2.5.3 Металлизация

4.2.5.3.1 Напыляемое металлическое покрытие получается плавлением покрывающего металла и превращением его в распыленные частицы в металлизаторе. Расплавленные частицы наносятся на поверхность со скоростью  $100 \div 150$  м/с. При попадании на поверхность они растекаются и скрепляются с ней. Не совсем ясно, происходит ли затвердевание расплавленных частиц во время попадания или несколько раньше. Толщина покрытия определяется скоростью перемещения металлизатора, удаленностью от поверхности и количеством слоев. Затвердевающие частицы налипают на поверхность основного металла за счет чисто механических нагрузок, и между двумя металлами не происходит химического взаимодействия. По этой причине поверхность стали должна быть чистой и обладать достаточной шероховатостью. Распыленные частицы, ударяясь друг о друга, частично свариваются и таким образом образуют прочное покрытие, которое содержит большое количество пор. Но, несмотря на пористость и высокое содержание окисей, внутренняя проводимость покрытия высока. Благодаря этому покрытие оказывает хорошую анодную защиту. Однако пористый характер покрытия приводит к возникновению коррозии внутри покрывающего слоя. Поэтому напыляемые покрытия требуют последующей обработки по устранению пор с использованием лакокрасочных материалов. При определенных обстоятельствах покрытие можно подвергнуть термической обработке, что приведет к образованию диффузионного сплава покрытия и основного металла. Такое покрытие существенно больше может сопротивляться коррозии.

##### 4.2.5.3.2 Существуют три основных способа металлизации:

а) пламенная металлизация выполняется тогда, когда металл для покрытия подается в металлизатор и плавится кислородно-пропановым или кислородно-ацетиленовым пламенем. Расплавленные частички металла под воздействием сжатого воздуха, нагретого пламенем, выбрасываются из сопла металлизатора на изделие. Металл покрытия подается в металлизатор в виде проволоки или порошка. Качество покрытий в этих двух случаях различается незначительно. При порошковом напылении увеличивается шероховатость покрытия, а пористость составляет  $10 \div 15\%$ , а прочность связи с основным металлом 7 МПа. При порошковом напылении количество окисей возрастает, и процесс требуется прерывать для загрузки порошка. При проволочном напылении процесс ограничен только емкостью катушки с проволокой, поэтому практически непрерывен. К преимуществам проволочного напыления следует отнести то, что отсутствует опасность загрязнения напыляемого металла и большая компактность металлизатора.

б) металлизация электродуговым способом основана на том, что покрывающий металл плавится под действием электрической дуги постоянного тока и напряжения. Металл для покрытия подается в виде двух проволок диаметром  $2 \div 3$  мм, являющихся

токонесущими электродами, в точке контакта которых образуется электрическая дуга. Расплавленный металл распыляется при помощи струи газа, который вдувается через сопло, расположенное за электродами. Замена горелки на электрическую дугу позволяет получить более компактное оборудование, и более высокую температуру плавления. Прочность связи покрытия с основным металлом составляет 10 МПа.

в) плазменная металлизация похожа на электродуговую металлизацию. В данном случае дуга представляет собой ионизированную газовую плазму, образующуюся между электродами металла, охлаждаемыми водой. Electroды в этом процессе не расходуются. В плазменном металлизаторе точечный вольфрамовый катод, охлаждаемый водой, установлен концентрически у основания соплообразного, охлаждаемого водой, медного анода. Подаваемый газ между электродами ионизируется и образует дугу. Поток газа выталкивает дугу в отверстие сопла, где спиральный поток создает концентрацию тепла в центре плазменной дуги. Температура в центре дуги достигает 20 000 °С. Порошок покрытия подается вместе с потоками газа и попадает в плазменную дугу, где моментально плавится. Наиболее часто в плазменном металлизаторе применяется аргон, но для снижения стоимости может использоваться азот. Для увеличения температуры может быть добавлен водород, а если есть опасность водородного охрупчивания, его может заменить гелий. Основным преимуществом плазменной металлизации является уменьшение пористости покрытия и существенное увеличение адгезии к основному металлу: легко получить пористость  $1 \div 10\%$ , а адгезию порядка 30 МПа.

4.2.5.3.3 В качестве металлизационных покрытий обычно используют цинк и алюминий. Толщина слоев для защиты от атмосферных воздействий составляет  $50 \div 150$  мкм. Напыление цинковых и алюминиевых покрытий на контактные поверхности болтовых соединений позволяют получить коэффициент трения  $0,45 \div 0,55$ , а при напылении алюминия он увеличивается до 0,7.

#### **4.2.5.4 Химическое осаждение**

Самый простой пример химического осаждения - это осаждение меди на железе, погруженном в раствор медного купороса. Этот процесс связан с простым замещением ионов железа ионами меди. Однако он не имеет большого практического применения, так как осаждение прекращается, когда железо полностью покрывается медью. Покрытие получается очень тонким, пористым и плохо связанным с основным металлом. Химическое осаждение используется лишь в двух случаях:

- 1) для декоративного покрытия стальных изделий;
- 2) для временной защиты стальных листов или проволоки и обеспечения лучшего скольжения во время волочения.

#### **4.2.5.5 Электрохимическое осаждение**

4.2.5.5.1 Металл, на который наносится покрытие и служит проводником, погружается в электропроводящий раствор, содержащий соли этого металла. Катодом служит основной металл, а анодом стержень или лист покрываемого металла. Под

действием ЭДС покрывающий металл переходит в солевой раствор, как только на катоде происходит осаждение, поддерживая, таким образом, постоянную концентрацию ионов металла покрытия в растворе.

4.2.5.5.2 Схема получения металлического покрытия при электрохимическом осаждении следующая: основной металл, полирование, обезжиривание, химическая очистка, промывка, погружение и промывка, электроосаждение, а затем промывка и сушка. Покрытие образуется на поверхности основного металла без образования слоев промежуточных сплавов между покрытием и основой.

4.2.5.5.3 Электроосаждение металлов происходит по законам Фарадея: масса металла, образующаяся при электролизе, прямо пропорциональна количеству электричества, пропускаемого через раствор, и химическому эквиваленту металла. Равномерность покрытия зависит от места положения анода. Перенос металла с анода происходит по кратчайшему расстоянию к катоду. Поэтому изделие будет покрыто только с одной стороны, со стороны расположения анода, в то время как вторая его сторона останется непокрытой. Поэтому для равномерности покрытия располагают несколько анодов, окружающих катод.

4.2.5.5.4 Особенность гальванического процесса - выделение водорода на катоде. Молекулы водорода, полученные восстановлением ионов водорода или молекул воды, могут высвободиться в газообразном состоянии, и водород в атомной форме может проникать в покрытие и основной металл. Если это происходит, то может произойти хрупкое разрушение (например, высокопрочных сталей во время покрытия их цинком или кадмием). В таких случаях термическая обработка после нанесения покрытий позволит удалить водород и предотвратить появление трещин. Для удаления атомарного водорода из основного металла или покрытия производят нагрев покрытых изделий, например, в течение 5 часов при температуре 190 °С или в течение 15 часов при температуре 170°С.

4.2.5.5.5 После нанесения покрытий важно произвести тщательную промывку и сушку изделия, чтобы устранить остатки токопроводящих растворов. В противном случае эти растворы, насыщенные кислотами или щелочами, будут действовать на поверхность, вызывая коррозию.

4.2.5.5.6 В качестве покрытий используются: кадмий, цинк, хром, медь и ее сплавы, золото, свинец, никель, олово и т.п. Для покрытия строительных изделий используются в основном цинк и кадмий. Толщина цинковых и кадмиевых покрытий составляет обычно 25 мкм.

#### **4.2.5.6 Конденсация паров металла**

4.2.5.6.1 Осаждение металлов из газовой фазы обеспечивает покрытие такие свойства, которые выгодно отличаются от прочих способов: высокая степень чистоты; отсутствие оксидов; минимальная толщина; блестящая поверхность; осаждение на металлическое и неметаллическое покрытие.

4.2.5.6.2 Осаждение происходит в вакуумной камере, в которой давление понижено до  $10^{-2} \div 10^{-3}$  Па. Металл для нанесения покрытия помещают в вакуумную камеру и нагревают до перехода его в газообразное состояние, при температуре значительно более

низкой, чем при обычном давлении. Пары металла заполняют камеру и осаждаются (конденсируются) на более холодных предметах. Изделия подвергаются при этом очень незначительному нагреву. Можно применять катодное распыление, при котором отрицательно заряженные молекулы пара притягиваются к положительно заряженным изделиям. Толщина слоя осаждаемого металла может изменяться от нанометра до десятков микрон. Для осаждения можно применять любой металл.

#### 4.2.5.7 Диффузионный способ

4.2.5.7.1 При диффузионном способе создается сплав основного металла и металла покрытия. Толщина покрытия составляет  $5 \div 35$  мкм. Покрытие наносят в герметически закрытом контейнере.

4.2.5.7.2 Очищенные металлические изделия погружают в порошок, содержащий металл покрытия. В течение нескольких часов контейнер нагревают при температуре, близкой (но меньшей) точке плавления металла. Цинковые покрытия, наносимые на сталь, называют шераризационными. Диффузионный слой представляет собой сплав, содержащий  $8 \div 9\%$  железа в цинке.

4.2.5.7.3 Алитированием называется насыщение поверхности стали алюминием. Применяют порошковый и жидкий алюминий. В первом случае температура  $900 \div 1050^\circ\text{C}$  и продолжительность  $3 \div 12$  ч, во втором:  $700 \div 800^\circ\text{C}$  и продолжительность до 1 часа. Возможно напыление алюминия с последующим обжигом до температуры  $900 \div 1050^\circ\text{C}$ . В результате алитирования образуется твердый раствор (до 30%) алюминия в -железе и прочная поверхностная пленка окислов  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , предохраняющая сталь от коррозии. Толщина слоя  $0,2 \div 1,0$  мм. Алитированию подвергают изделия, работающие при высоких температурах. Хромирование - это насыщение поверхности хромом. Хромирование повышает коррозионную стойкость, а в сталях с содержанием углерода  $0,3 \div 0,4\%$  повышает твердость. Хромирование ведут в порошковых смесях (например, 50% феррохрома, 49% окиси алюминия и 1% хлористого аммония) при температуре  $1000 \div 1050^\circ\text{C}$  в течение нескольких часов. В результате хромирования образуется твердый раствор хрома в -железе толщиной  $0,15 \div 0,2$  мм. Силицированием называется процесс насыщения поверхности стали кремнием. Силицирование ведут в порошковых смесях (например, 75% ферросилиция + 20% шамота + 5%  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) или в газовой среде  $\text{SiCl}_4$  при температуре  $950 \div 1000^\circ\text{C}$ . В результате силицирования образуется твердый раствор кремния в -железе толщиной  $0,3 \div 1,0$  мм. Силицированный слой обладает высокой твердостью и высокой износостойкостью.

4.2.5.7.4 Процесс термодиффузионного цинкования (ТДЦ) высокопрочных метизов (болтов, гаек и шайб) происходит во вращающихся печах с нагревом деталей вместе с диффузионной цинк-порошковой и инертной смесью до температуры  $450 \div 470^\circ\text{C}$  в течение  $1,5 \div 2$  часов. Цинкуемые детали перед загрузкой в контейнер очищают от окалина, продуктов коррозии. Во время ТДЦ протекает встречная диффузия атомов железа и цинка. При этом в поверхностном слое стального изделия образуются фазы, содержащие от 7% до 28% веса, а остальное - цинк и легирующие элементы. Основной фазой является  $\delta^1$ - фаза, соответствующая формуле  $\text{FeZn}_7$  и обладающая особыми свойствами

износостойкостью и значительной твердостью, а также высокой коррозионной стойкостью. После ТДЦ выполняется дополнительная операция: холодное фосфатирование, в результате которой на поверхности изделий образуется тонкая пленка толщиной до 3 мкм, позволяющая обеспечить неизменность внешнего вида в процессе их межоперационного хранения. Толщина покрытия на болтах и гайках с наружной и внутренней резьбой составляет: для М22 - 25 мкм; для М24 - 30 мкм.

#### **4.2.5.8 Плакирование**

Плакирование заключается в нанесении покрытия путем пластической обработки термохимическими способами: прокатной, прессованной или ковальной. Во всех случаях механизм процесса одинаковый: соединение металла покрытия с основным металлом за счет давления. Для получения хорошей адгезии между покрытием и основным металлом необходимо полностью удалить примеси (в виде оксидов) на межфазной границе под соответствующим давлением. В строительных конструкциях заслуживают внимание плакирование изделий чистым алюминием для анодной защиты металла, а также плакирование стального проката нержавеющей хромистым листом.

#### **4.2.5.9 Химико-термическая обработка**

4.2.5.9.1 Химико-термическая обработка стали состоит в насыщении поверхности различными элементами (углеродом, азотом, алюминием, хромом и т.п.) путем их диффузии в атомном состоянии из внешней среды при высокой температуре. В отличие от обычной термической обработки, при химико-термической обработке меняется не только структура стали, но и химический состав поверхности.

4.2.5.9.2 Цементация стали заключается в насыщении поверхностного слоя углеродом до концентрации  $0,8 \div 1,0\%$  с последующей закалкой. Основная цель - получить твердый износостойкий слой. Цементация и последующая закалка повышает предел выносливости. Выполняют при температурах  $930 \div 950$  °С (выше точки  $A_{C3}$ ), когда аустенит растворяет углерод в больших количествах. Цементацию выполняют с твердым карбюризатором (активированным древесным углем или коксом и ускорителем) или в газовой среде содержащей углерод (например,  $CH_4$ ).

4.2.5.9.3 Азотирование состоит в нагреве в среде аммиака  $NH_3$ . Азотирование повышает твердость поверхностного слоя, его износостойкость, предел выносливости и сопротивление коррозии. Твердость азотированного слоя выше, чем цементированного, и сохраняется при нагреве до температур  $600 \div 650$  °С, в то время как мартенситная структура цементированного слоя сохраняется до температуры  $200 \div 250$  °С. Твердость достигается за счет образования нитридов  $Fe_3N$  и  $Fe_4N$ . Твердость слоя у малоуглеродистых сталей невысока, поэтому азотированию подвергают среднеуглеродистые и легированные стали. При азотировании легированных сталей образуются нитриды легирующих элементов ( $Cr_2N$ ,  $Mn_3N$ ,  $AlN$  и т.д.). Процесс азотирования состоит из следующих операций: 1) термообработка изделия; 2) механическая обработка; 3) защита участков не подвергающихся азотированию (оловом или жидким стеклом); 4) азотирование - нагрев в



среде аммиака до температур  $500 \div 560$  °С в течение  $20 \div 90$  часов (чем выше температура, тем ниже твердость слоя и больше его толщина).

4.2.5.9.4 Цианирование и нитроцементация стали заключается в одновременном насыщении поверхности углеродом и азотом. Для цианирования применяют стали с содержанием углерода  $0,2 \div 0,4\%$ . При цианировании изделие нагревают до температур  $820 \div 960$  °С в расплавленных солях, содержащих цианистый натрий NaCN. Для получения слоя  $0,15 \div 0,35$  мм нагрев до температур  $820 \div 960$  °С ведут в ваннах, содержащих  $20 \div 25\%$  NaCN,  $25 \div 50\%$  NaCl и  $25-50\%$  NaCO<sub>3</sub>. Продолжительность процесса  $30 \div 90$  минут. Содержание углерода в слое  $0,6 \div 0,7\%$ , а азота  $0,8 \div 1,2\%$ . При нитроцементации изделие нагревают до  $850 \div 870$  °С в газовой смеси углерода и аммиака. Продолжительность процесса  $2 \div 10$  часов для получения слоя толщиной  $0,25 \div 1,0$  мм. Температура и режимы могут быть различными в зависимости от среды смеси нитроцементации. После цианирования и нитроцементации выполняют закалку непосредственно из печи либо при температуре  $800 \div 825$  °С и отпуск при температуре  $160 \div 180$  °С.

### 4.3 Процедура выбора материалов

4.3.1 В основе выбора материалов для вязкости разрушения является проверка по первой группе предельных состояний (ULS) на основе принципов механики разрушения при особом сочетании для элементов конструкций работающих при растяжении или изгибе.

4.3.2 Проверка должна отражать следующие особенности:

- учитывают структурную детализацию участка стали;
- эффекты от внешних воздействий и остаточных напряжений на рассматриваемом участке;
- предположение о возникновении трещин на участках с концентрациями напряжений;
- учет влияния температуры на изменение прочностных характеристик материала
- для особых ситуаций так же должны быть включены влияние холодной штамповки и высокой скорости деформаций.

4.3.3 Выбор материала стали по вязкости разрушению осуществляется на основании стандартов на изделие (см. EN 10025). При стандартной температуре испытаний  $T_{KV}$  [°С] стандартного образца с V-образным надрезом по Шарпи, работа  $A_v(T)$  в джоулях (Дж) при ударном изгибе должна соответствовать назначенному минимальному значению энергии удара (например, для стали S355 J2:  $T_{27J} = -20$  °С, или  $KV_{min} \geq 27$  Джоуля для температура испытания  $T_{27J} = -20$  °С). Проверка механики разрушения должна осуществляться с учетом конкретной спецификации материала.

4.3.4 В соответствии со стандартом EN 10025-1, величина  $KV_{min}$  является нижним пределом для среднего значения по результатам 3 квалификационных тестов стали, как указано в гармонизированном европейском стандарте на материалы, EN 10025, в котором минимальное значение должно превышать 70% от величины  $KV_{min}$ . Имеются случаи, когда необходимо проводить дополнительные 3 теста, необходимые для выполнения требований к величине  $KV_{min}$ .

4.3.5 [2.2 (1) СН РК EN 1993-1-10] При выборе класса стали следует учитывать:

а) характеристики стали:

- предел текучести в зависимости от толщины материала ( $f_y(t)$ );
- свойства вязкости разрушения, выраженные  $T_{27J}$  или  $T_{40J}$ .

б) характеристики элемента:

- форма элемента и детали;
- воздействия нагрузок на детали по СН РК EN 1993-1-9;
- толщина элемента ( $t$ );
- допуски на производственные дефекты (например, сквозные трещины или полуэллиптические поверхностные трещины).

в) расчетные ситуации:

- расчетное значение температуры наиболее нагруженного элемента;
- максимальные воздействия от постоянных и временных нагрузок, полученных из расчетного режима;
- остаточное напряжение;
- допуски на рост трещины от усталостного нагружения при текущих проверках (в случаях, когда это существенно);
- скорость деформации ( $\dot{\epsilon}$ ) от случайных воздействий (если это существенно);
- степень деформации ( $\epsilon_{cf}$ ) при холодном гнутье (DCF) (если это существенно).

4.3.6 [2.2(3) СН РК EN 1993-1-10] Проверку требованиям вязкости разрушения возможно производить следующими альтернативными методами:

- методом механики разрушения: при этом методе расчетное значение требований вязкости не должно превышать расчетное значение свойств вязкости разрушения;
- численной оценкой: может быть выполнена с использованием одного или более пробных образцов в крупномасштабных испытаниях. Чтобы получить корректные результаты, модели должны быть построены и нагружены таким же образом, как и реальная конструкция.

4.3.7 Согласно Пункту 2.2(4) СН РК EN 1993-1-10, расчеты производятся в следующей последовательности:

а) определяются значения расчетное значение от воздействия ( $E_d$ ) для следующей особой комбинации:

$$E_d = E \cdot \{A[T_{Ed}] \ll + \gg \sum G_k \ll + \gg \Psi_{1,1} \cdot Q_{k1} \ll + \gg \sum \Psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}\}, \quad (4.2)$$

где  $A$  - особое воздействие, которым является расчетная температура  $T_{Ed}$ ;

$T_{Ed}$  - температура, которая влияет на прочность материала рассматриваемого элемента и может также вызывать дополнительные напряжения вследствие стеснения деформаций;

$\sum G_k$  - нормативное значение постоянных воздействий;

$Q_{k1}$  - нормативное значение доминирующего переменного воздействия;

$Q_{k,i}$  - нормативное значение сопутствующих переменных воздействий, которые увеличивают уровень напряжений в материале;

$\Psi_1$  и  $\Psi_2$  - коэффициенты сочетаний принимаемые по СН РК EN 1990

б) максимальное расчетное напряжение  $\sigma_{Ed}$  является номинальным напряжением в месте возникновения потенциального разрушения. Напряжение  $\sigma_{Ed}$  должно быть

рассчитано для предельного значения эксплуатационной пригодности, с учетом всех комбинаций постоянных и переменных нагрузок и воздействий как определено в соответствующей части СН РК EN 1991.

в) расчетная температура  $T_{Ed}$  в месте возможного разрушения должна определяться по следующей формуле:

$$T_{Ed} = T_{md} + \Delta T_r + \Delta T_\sigma + \Delta T_R + \Delta T_\epsilon + \Delta T_{ecf}, \quad (4.3)$$

где  $T_{md}$  - самая низкая температура воздуха в период эксплуатации, определяемая согласно СН РК EN 1991-1-5;

$\Delta T_r$  - поправка на потери при излучении (радиационные потери), определяемая согласно СН РК EN 1991-1-5;

$\Delta T_\sigma$  - поправка на напряжения предела текучести материала, наличие трещины, а также форму и размеры элемента;

$\Delta T_R$  - запас безопасности, если требуется отразить разные уровни надежности для различных областей применения;

$\Delta T_\epsilon$  - поправка на скорость деформации, отличную от исходной скорости деформации  $\dot{\epsilon}_0$ ;

$\Delta T_{ecf}$  - поправка на степень деформации при холодном деформировании  $\epsilon_{cf}$ .

г) расчетное напряжение  $\sigma_{Ed}$  должны определяться, используя упругий расчет, принимающий во внимание побочные влияния деформаций.

4.3.8 Согласно Пункту 2.2(2) СН РК EN 1993-1-10, для установления максимально допустимых значений толщины стальных элементов из условия вязкости разрушения следует использовать методику механики разрушения, а так же Таблицу 4.6 настоящего пособия, которая учитывает следующие особенности:

а) применение стандартных кривых для назначения проектируемого значения размера трещины в пластине толщиной  $t$ , которая связывает все расчетные значения размера трещины в зависимости от роста начальной усталостной трещины согласно СН РК EN 1993-1-9. При этом усталость принимается во внимание при воздействии усталостной нагрузки на элемент с предполагаемым изначальным дефектом. Предполагаемое повреждение - это одна четвертая часть от полного усталостного повреждения, полученного из СН РК EN 1993-1-9. Такой подход позволяет оценить минимальное количество «безопасных периодов» между проверками в процессе эксплуатации, когда оговариваются проверки для допускаемых повреждений согласно СН РК EN 1993-1-9. Требуемое количество  $n$  проверок в процессе эксплуатации связано с частными коэффициентами  $\gamma_{Ef}$  и  $\gamma_{Mf}$ , применяемыми в расчете на усталость в соответствии с СН РК EN 1993-1-9, выражением:

$$n = \frac{4}{(\gamma_{Ef} \cdot \gamma_{Mf})^m} - 1; \quad (4.4)$$

где  $m$  - параметр для сооружений с длительным сроком службы, таких как мосты., равный 5.

«Безопасный период» между проверками в процессе эксплуатации может охватывать весь срок нормативной эксплуатации сооружений;

б) требования безопасности, определяющие использования  $T_{KV}$ - величин, указанных в гармонизированных европейских стандартах для материала стали;

в) назначение предела текучести согласно гармонизированных европейских стандартах для материала стали;

г) определение номинальных напряжений от действия внешней нагрузки для особого расчетного сочетания;

д) учет влияния статических нагрузок не вызывающих динамического эффекта воздействия должен быть ограничен скоростью деформаций равной:

$$\dot{\epsilon}_0 = \frac{\partial \epsilon}{\partial t} \leq 4 \times 10^{-4} / \text{сек.} \quad (4.5)$$

Для других скоростей деформации  $\dot{\epsilon}_0$  (например, для ударных нагрузок) табличные значения могут применяться с уменьшением  $T_{Ed}$  путем вычитания  $\Delta T_{\dot{\epsilon}}$ , которое определяется по формуле:

$$\Delta T_{\dot{\epsilon}} = \frac{1440 - f_y(t)}{550} \cdot \left( \ln \frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}_0} \right)^{1,5}, \text{ } ^\circ\text{C}; \quad (4.6)$$

е) сварочные работы выполняются в соответствии с EN 1090-2;

ж) учитываются остаточные напряжения возникающие при от сварки компонентов;

и) не допускается использование материалов полученных методом холодного деформирования с вязкостью  $\dot{\epsilon}_{cf} \leq 2\%$ . Чтобы предусмотреть холодную формовку не подверженных старению сталей, можно использовать табличные значения, регулируя  $T_{Ed}$  путем вычитания  $\Delta T_{\epsilon cf}$  :

$$\Delta T_{\epsilon cf} = -3 \cdot e_d, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (4.7)$$

к) величины номинальной вязкости при испытаниях на динамический изгиб в единице  $T_{27J}$  основаны на следующих стандартах: EN 10025, EN 10155, EN 10210-1, EN 10219-1.

Для других величин применяется следующая корреляция:

$$\begin{aligned} T_{40J} &= T_{27J} + 10, \text{ } ^\circ\text{C}, \\ T_{30J} &= T_{27J} + 0, \text{ } ^\circ\text{C}; \end{aligned} \quad (4.8)$$

л) в Таблице 4.6 настоящего пособия приведены максимально допустимые значения толщины элемента для семи расчетных температур (10 °C, 0 °C, минус 10 °C, минус 20 °C, минус 30 °C, минус 40 °C и минус 50 °C) для трех уровней напряжений, выраженных как часть величины предела текучести:

$$\begin{aligned} \sigma_{Ed} &= 0,75 \cdot f_y(t), \text{ Н/мм}^2; \\ \sigma_{Ed} &= 0,50 \cdot f_y(t), \text{ Н/мм}^2; \\ \sigma_{Ed} &= 0,25 \cdot f_y(t), \text{ Н/мм}^2, \end{aligned} \quad (4.9)$$

где  $f_y(t)$  может определяться:

- по формуле:

$$f_y(t) = f_{y, \text{nom}} - 0,25 \cdot \frac{t}{t_0}, \text{ Н/мм}^2, \quad (4.10)$$

где  $t$  - толщина листа, мм;

$t_0$  - условная начальная толщина листа, равная 1 мм;

- или  $t$  может быть принята равной  $R_{eH}$ -величине, установленной соответствующими стандартами на сталь.

4.3.9 Блок-схема использования Таблицы 4.6 приведена на Рисунке 4.2.

**Таблица 4.6 - Максимально допустимые значения толщины элемента  $t$ , мм**

Класс стали	Под- класс стали	Работа по Шарпи (CVN)		Расчетная температура T <sub>Ed</sub> , °C																									
				10	0	-10	-20	-30	-40	-50	10	0	-10	-20	-30	-40	-50	10	0	-10	-20	-30	-40	-50					
		при T, °C	J <sub>min</sub>	σ <sub>Ed</sub> = 0,75f <sub>y</sub> (t)								σ <sub>Ed</sub> = 0,50f <sub>y</sub> (t)								σ <sub>Ed</sub> = 0,25f <sub>y</sub> (t)									
S235	JR	20	27	60	50	40	35	30	25	20	90	75	65	55	45	40	35	135	115	100	85	75	65	60					
	J0	0	27	90	75	60	50	40	35	30	125	105	90	75	65	55	45	175	155	135	115	100	85	75					
	J2	-20	27	125	105	90	75	60	50	40	170	145	125	105	90	75	65	200	200	175	155	135	115	100					
S275	JR	20	27	55	45	35	30	25	20	15	80	70	55	50	40	35	30	125	110	95	80	70	60	55					
	J0	0	27	75	65	55	45	35	30	25	115	95	80	70	55	50	40	165	145	125	110	95	80	70					
	J2	-20	27	110	95	75	65	55	45	35	155	130	115	95	80	70	55	200	190	165	145	125	110	95					
	M, N	-20	40	135	110	95	75	65	55	45	180	155	130	115	95	80	70	200	200	190	165	145	125	110					
	ML, NL	-50	27	185	160	135	110	95	75	65	200	200	180	155	130	115	95	230	200	200	200	190	165	145					
S355	JR	20	27	40	35	25	20	15	15	10	65	55	45	40	30	25	25	110	95	80	70	60	55	45					
	J0	0	27	60	50	40	35	25	20	15	95	80	65	55	45	40	30	150	130	110	95	80	70	60					
	J2	-20	27	90	75	60	50	40	35	25	135	110	95	80	65	55	45	200	175	150	130	110	95	80					
	K2,M, N	-20	40	110	90	75	60	50	40	35	155	135	110	95	80	65	55	200	200	175	150	130	110	95					
	ML, NL	-50	27	155	130	110	90	75	60	50	200	180	155	135	110	95	80	210	200	200	200	175	150	130					
S420	M, N	-20	40	95	80	65	55	45	35	30	140	120	100	85	70	60	50	200	185	160	140	120	100	85					
	ML, NL	-50	27	135	115	95	80	65	55	45	190	165	140	120	100	85	70	200	200	200	185	160	140	120					
S460	Q	-20	30	70	60	50	40	30	25	20	110	95	75	65	55	45	35	175	155	130	115	95	80	70					
	M, N	-20	40	90	70	60	50	40	30	25	130	110	95	75	65	55	45	200	175	155	130	115	95	80					
	QL	-40	30	105	90	70	60	50	40	30	155	130	110	95	75	65	55	200	200	175	155	130	115	95					
	ML, NL	-50	27	125	105	90	70	60	50	40	180	155	130	110	95	75	65	200	200	200	175	155	130	115					
	QL1	-60	30	150	125	105	90	70	60	50	200	180	155	130	110	95	75	215	200	200	200	175	155	130					
S690	Q	0	40	40	30	25	20	15	10	10	65	55	45	35	30	20	20	120	100	85	75	60	50	45					
S690	Q	-20	30	50	40	30	25	20	15	10	80	65	55	45	35	30	20	140	120	100	85	75	60	50					
	QL	-20	40	60	50	40	30	25	20	15	95	80	65	55	45	35	30	165	140	120	100	85	75	60					
	QL	-40	30	75	60	50	40	30	25	20	115	95	80	65	55	45	35	190	165	140	120	100	85	75					
	QL1	-40	40	90	75	60	50	40	30	25	135	115	95	80	65	55	45	200	190	165	140	120	100	85					
	QL1	-60	30	110	90	75	60	50	40	30	160	135	115	95	80	65	55	200	200	190	165	140	120	100					

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Применяя Таблицу 4.6, допускается использовать линейную интерполяцию. В большинстве случаев используются промежуточные значения  $\sigma_{Ed}$  между  $\sigma_{Ed} = 0,75 \cdot f_y(t)$  и  $\sigma_{Ed} = 0,50 \cdot f_y(t)$ .  $\sigma_{Ed} = 0,25 \cdot f_y(t)$  дается в целях интерполяции. Экстраполяции сверх экстремальных значений применять недопустимо.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Для сортаментов изделий, выполненных из сталей S690, необходимо принимать температуру испытаний  $T_{AV}$ .

ПРИМЕЧАНИЕ 3 В Таблице 4.6 приведены гарантированные значения, полученные при испытаниях на ударный изгиб образцов по Шарпи (CVN), изготовленных в направлении проката изделия.

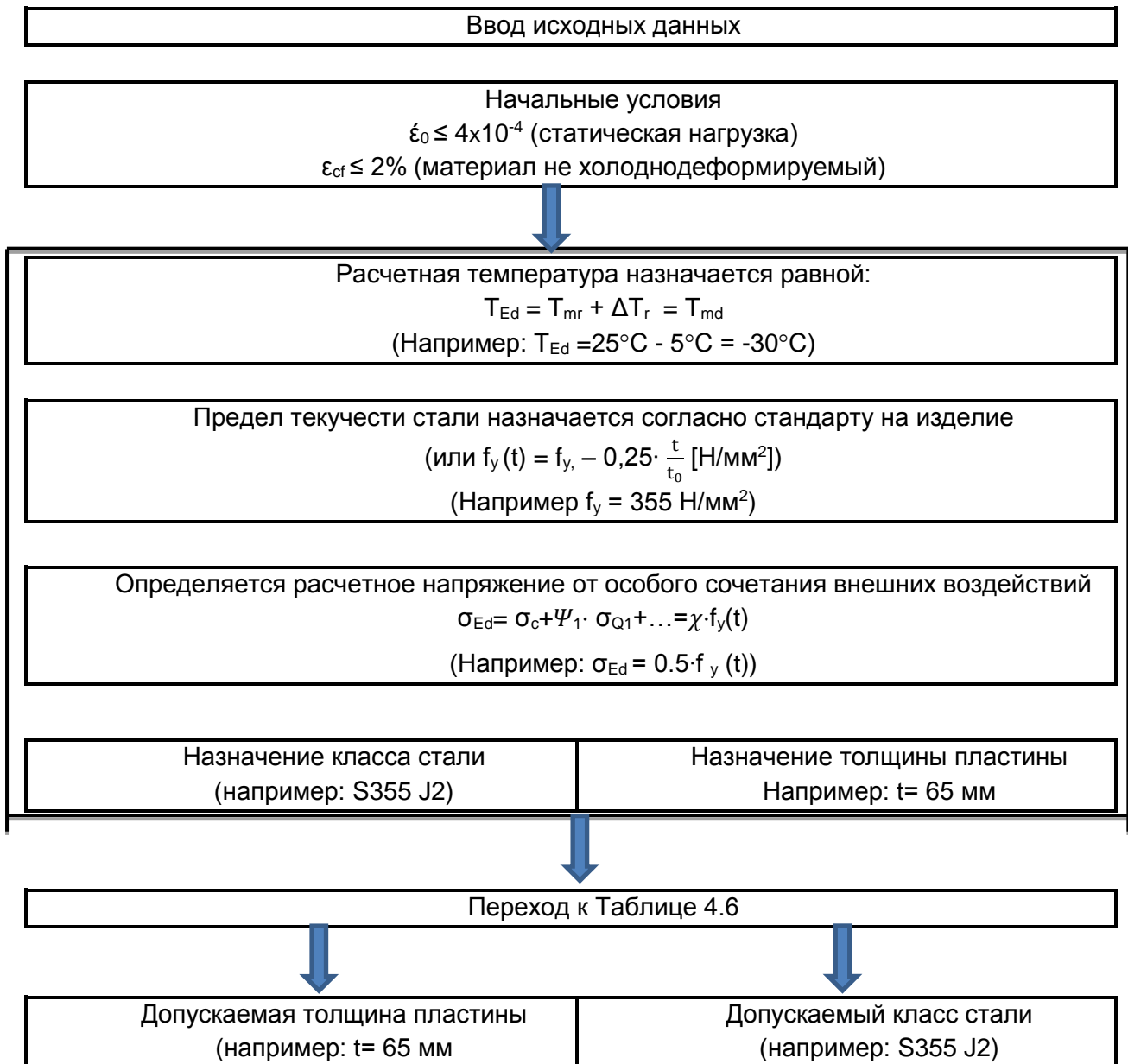


Рисунок 4.2 – Блок-схема использования Таблицы 4.6

ПРИМЕР 1 Расчет по подбору марки стали и максимально допустимой толщины

1) Исходные данные

Требуется проверить толщину и материал торцевого фланца для соединения ригеля с колонной стального каркаса производственного здания.

Материал стальной рамы: сталь класса прочности S235JO по с номинальным значением предела текучести  $f_y = \sigma_T = 215 \text{ Н/мм}^2$  (Мпа), толщина фланца  $t = 80 \text{ мм}$ .

2) Исходя из упругого статического расчета установлено:

– максимальные напряжения в пластине рамы:  $\sigma_{Ed,ULS} = 18,2 \text{ кН/см}^2$ ;

– постоянные и переменные нагрузки для вычисленных напряжений принимались равными:

$$G_k = 8,6 \text{ кН/м}^2;$$

$$Q_k = 20 \text{ кН/м}^2 ;$$

– значения частных коэффициентов безопасности по нагрузке принимаются:  $\gamma_G = \gamma_Q = 1,35$ ;

– значения частных коэффициентов сочетаний:  $\psi_1 = 0,7$ .

3) Определяем номинальное напряжение при сочетании нагрузок:

$$\sigma_{Ed} = \frac{1,0}{1,35} \cdot \sigma_G + \psi_1 \cdot \frac{1,0}{1,35} \cdot \sigma_Q$$

Учитывая, что:

$$\frac{G_k}{G_k + Q_k} = \frac{8,6}{8,6 + 20} = 0,3,$$

имеем следующее:

$$\sigma_G = 0,3 \cdot \sigma_{Ed,ULS}$$

$$\sigma_Q = 0,7 \cdot \sigma_{Ed,ULS}$$

Тогда получим:

$$\sigma_{Ed} = 0,74 \cdot (0,3 \cdot \sigma_{Ed,ULS}) + 0,7 \cdot 0,74 \cdot (0,7 \cdot \sigma_{Ed,ULS})$$

$$\sigma_{Ed} = 0,58 \cdot \sigma_{Ed,ULS} = 0,58 \times 182 = 105,6 \text{ МПа}$$

4) Принимая

$$f_y(t) = 215 - 0,25 \times \frac{80}{1,0} = 195 \text{ МПа}$$

получим

$$\sigma_{Ed} = \frac{105,6}{195} \cdot f_y(t) = 0,54 \cdot f_y(t)$$

5) Определение расчетной температуры  $T_{Ed}$

С учетом срока эксплуатации конструкции назначаем следующие характеристики для нормальная температура  $T_{Ed}$  для особого сочетания воздействий определяется согласно Таблицы 1.

**Таблица 1 – Определение расчетной температуры**

№	Эффект	Величина
1	Минимальная температура воздуха $T_{md}$	-10 °C
2	Поправка на потери при излучении (радиационные потери) $\Delta T_r$	-5 °C
3	Поправка на напряжения предела текучести материала, наличие трещины, а также форму и размеры элемента $\Delta T_G$	0 °C
4	Запас безопасности, если требуется отразить разные уровни надежности для различных областей применения $\Delta T_R$	0 °C
5	Поправка на скорость деформации, отличную от исходной скорости деформации $\varepsilon_0 - \Delta T_\varepsilon$	0 °C
6	Поправка на степень деформации при холодном деформировании (DCF) $\varepsilon_{cf} - \Delta T_{\varepsilon cf}$	0 °C
7	Расчетная температура $T_{Ed}$	-15 °C

## 6) Решение

Определение требуемой прочности стали используя Таблицу 4.6 для  $t_{\text{(допустимого)}}(-15^{\circ}\text{C}) = 82,5 \text{ мм} \approx t_{\text{(принятого)}} = 80 \text{ мм}$  интерполяцией получаем минимальную требуемую прочность материала при вязком разрушении  $T_{27J} = 0^{\circ}\text{C}$  или сталь класса S235 J0 (см. Рисунок 1).

Класс стали	Под- класс стали	Работа по Шарпи (CVN)		Расчетная температура $T_{Ed}, ^\circ\text{C}$																				
		при $T_{\text{min}}$ $^{\circ}\text{C}$	$J_{\text{min}}$	$\sigma_{Ed} = 0,75 f_y(t)$						$\sigma_{Ed} = 0,50 f_y(t)$						$\sigma_{Ed} = 0,25 f_y(t)$								
				10	0	-10	-20	-30	-40	-50	10	0	-10	-20	-30	-40	-50	10	0	-10	-20	-30	-40	-50
S235	JR	20	27	60	50	40	35	30	25	20	90	75	60	50	45	40	35	135	115	100	85	75	65	60
	J0	0	27	90	75	60	50	40	35	30	125	105	90	75	65	55	45	175	155	135	115	100	85	75
	J2	-20	27	125	105	90	75	60	50	40	170	145	125	105	90	75	65	200	200	175	155	135	115	100

Рисунок 1 – Подбор марки стали

ПРИМЕР 2 Расчет шарнирно опертой стальной сварной балки с учетом требований норматива СН РК EN 1993-1-10

## 1) Исходные данные

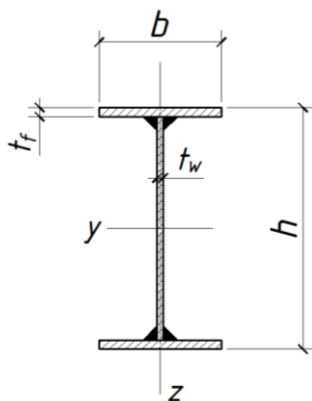
Балка - сварной профиль (см. Рисунок 1) изготовленный из малоуглеродистой стали марки S275J0 (согласно стандарту EN 10025-2) с номинальным пределом текучести  $f_y = 275 \text{ Н/мм}^2$ . Длина пролета балки  $L = 4,0 \text{ м}$ . Расстояние между смежными балками  $B = 3,0 \text{ м}$ .

Стальная сварная балка подвержена действию следующих нагрузок:

- постоянная нагрузка  $g_k = 4,0 \text{ кН/м}^2$ ;
- временная нагрузка  $q_k = 3,0 \text{ кН/м}^2$ .

Место строительства - город Атырау.

Геометрические характеристики сечения сварной балки приведены на Рисунке 1.



- высота  
 $h = 450 \text{ мм}$
- ширина  
 $b = 190 \text{ мм}$
- толщина стенки  
 $t_w = 10,0 \text{ мм}$
- толщина полки  
 $t_f = 15,0 \text{ мм}$
- момент сопротивления сечения  $W_y = 1500 \cdot 10^3 \text{ мм}^3$
- площадь сечения  
 $A = 9,9 \cdot 10^3 \text{ мм}^2$

Рисунок 1 - Геометрические характеристики сечения

2) Определение расчетной температуры  $T_{\text{Ed}}$  потенциального разрушения

Согласно Пункту 2.2 СН РК EN 1993-1-10, процедура выбора стали должна учитывать расчетную ситуацию, а именно расчетную температуру  $T_{\text{Ed}}$  наиболее нагруженного участка балки, где возможно разрушение сварной конструкции.

Расчетная температура  $T_{\text{Ed}}$  на месте потенциального разрушения должна определяться по Формуле (2.2) СН РК EN 1993-1-10:

$$T_{\text{Ed}} = T_{\text{md}} + \Delta T_r + \Delta T_{\sigma} + \Delta T_R + \Delta T_{\varepsilon} + \Delta T_{\text{ecf}};$$



где  $T_{md}$  – самая низкая температура по СН РК EN 1993-1-5, равная для г. Атырау:

$$T_{md} = T_{min} = -38\text{ }^{\circ}\text{C};$$

$\Delta T_r$  – поправка на потери при излучении (радиационные потери), для стальных элементов, равная:

$$T_r = -5\text{ }^{\circ}\text{C};$$

$\Delta T_{\sigma}$  – поправка на напряжения и предел текучести материала, наличие трещин, а так же форму и размеры элемента, согласно Примечанию 2 Пункта 2.2(5) СН РК EN 1993-1-10:

$$T_{\sigma} = 0\text{ }^{\circ}\text{C};$$

$\Delta T_R$  – запас безопасности, согласно Примечанию 1 Пункта 2.2(5) СН РК EN 1993-1-10, равный:

$$\Delta T_R = 0\text{ }^{\circ}\text{C};$$

$\Delta T_{\varepsilon}$  – поправка на скорость деформации, отличную от исходной скорости деформации  $\dot{\varepsilon}_0$ . Так как в данном примере не рассматриваются аварийные воздействия или ударные воздействия, то можно предположить, что:

$$\Delta T_{\varepsilon} = 0\text{ }^{\circ}\text{C};$$

$\Delta T_{\varepsilon cf}$  – поправка на степень деформации при холодном гнутье  $\varepsilon_{cf}$ . Так как сварная балка изготовлена из стали по стандарту EN 10025, то:

$$\Delta T_{\varepsilon cf} = 0\text{ }^{\circ}\text{C};$$

Таким образом,

$$T_{Ed} = T_{md} + \Delta T_r + \Delta T_{\sigma} + \Delta T_R + \Delta T_{\varepsilon} + \Delta T_{\varepsilon cf} = -38 - 5 + 0 + 0 + 0 + 0 = -43\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Следовательно, расчетная температура при выборе стали с учетом ударной вязкости для стальной балки для г. Атырау равна:

$$T_{Ed} = -43\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

### 3) Определение максимально допустимых значений толщины проката

Максимально допустимая толщина частей сечения балки (стенка, полка) определяется на основании значения напряжения сжатия в сечении и данных из Таблицы 2.1 СН РК EN 1993-1-10.

Напряжение сжатия в балке, подверженной действию изгиба, определяется по формуле:

$$\sigma_{c,k} = \frac{M_{y,k}}{W_{El,y}},$$

где  $M_{y,k}$  – максимальное характеристическое значение изгибающего момента;

$W_{El,y}$  – момент сопротивления сечения сварной балки, равный:

$$W_{El,y} = 1500 \times 10^3 \text{ мм}^3.$$

Согласно Формуле (2.1) СН РК EN 1993-1-10 берется характеристическое значения постоянного воздействия и характеристическое значение переменного воздействия. Значит, характеристический изгибающий момент для стальной балки длиной  $L = 4,0$  м и расстояние между балками  $B = 3,0$  м равен:

$$M_{y,k} = \frac{f_k \cdot L^2}{2} = \frac{(Q_k + \psi_1 \cdot G_k) \cdot L^2}{2} = \frac{(q_k + \psi_1 \cdot g_k) \cdot B \cdot L}{2} = \frac{(3,0 + 0,5 \times 4,0) \times 3 \times 4^2}{2}$$

$$M_{y,k} = 120,0 \text{ кН} \cdot \text{м} = 120,0 \times 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Тогда,

$$\sigma_{c,k} = \frac{M_{y,k}}{W_{El,y}} = \frac{120,0 \times 10^3}{1500 \times 10^3 \times 10^{-9}} = 80,0 \times 10^6 \text{ Н/м}^2 = 80,0 \text{ МПа}.$$

Следовательно, напряжение сжатия в стальной балке равно:

$$\sigma_{c,k} = 80,0 \text{ МПа}.$$

Наиболее толстая часть сечения сварной балки – это полка с толщиной, равной:

$$t_f = 15,0 \text{ мм}.$$

Предел текучести стали марки S275J0 для толщины листа  $t_f = 15,0$  мм и исходной толщины  $t_0 = 1,0$  мм определяется по указаниям Пункта 2.3.2(1) СН РК EN 1993-1-10:

$$f_y(t_f) = f_{y,nom} - 0,25 \cdot \frac{t}{t_0} = 275 - 0,25 \times \frac{15,0}{1} = 271,25 \text{ МПа}$$

Тогда,

$$\sigma_{c.Ed} = \frac{\sigma_{c.k}}{f_y(t_f)} = \frac{80,0}{271,25} = 0,3 \cdot f_y(t_f).$$

Выбор подмарки стали возможен двумя методами:

- методом интерполяции;
- приближительным методом.

Метод интерполяции – более точный и экономичный выбор толщины листа и подмарки стали с учетом требований по ударной вязкости. Но согласно Примечанию 1 Пункта 2.3.2(1) СН РК EN 1993-1-10 экстраполяция сверх экстремальных величин Таблицы 2.1 СН РК EN 1993-1-10 применять недопустимо.

Необходимо выполнить интерполяцию для  $\sigma_{c.Ed} = 0,3 \cdot f_y(t_f)$  между значениями  $0,25 \cdot f_y(t)$  и  $0,50 \cdot f_y(t)$  из Таблицы 2.1 СН РК EN 1993-1-10.

Выполнив интерполяцию, получаем, что стальная сварная балка удовлетворяет требованиям максимальной толщины проката, а марка S275J0 удовлетворяет требованиям по ударной вязкости при расчетной температуре:  $T_{Ed} = -43$  °C для города Атырау.

Приближительный метод – это простое сравнение толщины наиболее толстой части сечения с максимальной толщиной листа для данной расчетной температуры:

$$T_{Ed} = -43 \text{ °C}.$$

По Таблице 2.1 СН РК EN 1993-1-10 для  $T_{Ed} = -50$  °C для подмарки S275J0 и напряжением сжатия  $\sigma_{Ed} = 0,5 \cdot f_y(t)$  максимальная толщина листа не должна превышать  $t = 40$  мм. Таким образом:

$$t_f = 15,0 \text{ мм} < t = 40,0 \text{ мм}.$$

Следовательно, условие выполняется.

#### 4) Определение внутренних усилий

Значение расчетной погонной действующей нагрузки (см. Формулу (6.10b) СН РК EN 1990):

$$F_d = f_d \cdot B = (\xi \cdot \gamma_g \cdot g_k + \gamma_q \cdot q_k) \cdot B;$$

$$F_d = (0,85 \times 1,35 \times 4,0 + 1,5 \times 3,0) \cdot B = (4,59 + 4,5) \times 3,0 = 27,27 \text{ кН/м}.$$

Значения расчетной действующей поперечной силы:

$$V_{Ed} = \frac{F_d \cdot L}{2} = \frac{27,27 \times 4,0}{2} = 54,54 \text{ кН};$$

Значения расчетного действующего изгибающего момента:

$$M_{Ed} = \frac{F_d \cdot L^2}{8} = \frac{27,27 \times 4,0^2}{8} = 54,54 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

#### 5) Определение класса сечения

Определение класса сечения ведется согласно требованиям Пункта 5.2.2 и Таблицы 5.2 СН РК EN 1993-1-1.

Поперечное сечение сварной балки – сечение 1 класса.

#### 6) Проверка несущей способности по прочности

##### 6.1) Расчет несущей способности по изгибающему моменту

Условие прочности по Формуле (6.12) СН РК EN 1993-1-1:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0$$

Расчетная несущая способность по прочности при действии изгибающего момента:

$$M_{c,Rd} = 91,0 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Проверка условия:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{54,54}{91,0} = 0,6 \leq 1,0$$

Условие прочности выполняется.

6.2) Расчет несущей способности по поперечной силе

Условие прочности по Формуле (6.17) СН РК EN 1993-1-1:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$$

Расчетная несущая способность по прочности при действии поперечной силы:

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = 120 \text{ кН}$$

Проверка условия:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{54,54}{110} = 0,49 \leq 1,0$$

Условие прочности выполняется.

6.3) Расчет потери местной устойчивости на действие поперечной силы (см. Пункт 6.2.6(6)

СН РК EN 1993-1-1)

Проверка условия Пункта 5.1(2) СН РК EN 1993-1-5:

$$\frac{h_w}{t_w} > \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon$$

Значит,

$$\begin{aligned} \frac{h_w}{t_w} &= \frac{378,8}{10,0} = 37,9 \\ 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} &= 72 \times \frac{0,81}{1,0} = 58,32 \end{aligned}$$

Проверка условия:

$$37,9 < 58,32$$

Следовательно, согласно Пункту 5.1(2) СН РК EN 1993-1-5 поперечные ребра жесткости не требуются.

6.4) Расчет несущей способности при совместном действии изгиба и поперечной силы

При действии поперечной силы следует учитывать их совместное влияние на несущую способность на изгиб (см. Пункт 6.2.8 СН РК EN 1993-1-1).

Согласно Пункту 6.2.8(2) СН РК EN 1993-1-1 при условии если:

$$\begin{aligned} V_{Ed} &> 0,5 \cdot V_{pl,Rd} \\ 0,5 \cdot V_{pl,Rd} &= 0,5 \times 120 = 60,0 \text{ кН} \\ 60,0 \text{ кН} &> 54,54 \text{ кН} \end{aligned}$$

то влиянием действия поперечной силы на несущую способность по изгибающему моменту можно пренебречь.

7) Проверка несущей способности по устойчивости

7.1) Расчет несущей способности по изгибающему моменту (см. Пункт 6.3.2 СН РК EN 1993-1-1)

Условие устойчивости по Формуле (6.54) СН РК EN 1993-1-1:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0.$$

Частный коэффициент безопасности (см. НП.2.13 СН РК EN 1993-1-1):

$$\gamma_{M0} = 1,0.$$

Расчетное значение несущей способности сжатого элемента по устойчивости по Формуле (6.55) СН РК EN 1993-1-1:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_y \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}.$$

Понижающий коэффициент  $\chi_{LT}$  относительно оси Y-Y по Формуле (6.57) СН РК EN 1993-1-1:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}}, \text{ но } \chi_{LT} \leq 1,0 \text{ и } \chi_{LT} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2}.$$

Величина  $\Phi_{LT}$  для определения понижающего коэффициента  $\chi_{LT}$  (см. Пункт 6.3.2.3(1) СН РК EN 1993-1-1):

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot \left[ 1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

Коэффициент  $\alpha_{LT}$ , учитывающий начальные несовершенства определяется по Таблице 6.3 СН РК EN 1993-1-1. Коэффициент зависит от типа потери устойчивости. Выбор типа кривой потери устойчивости зависит от вида поперечного сечения и отношения высоты к ширине сечения  $h/b = 450/190 = 2,37 > 2$  (см. Таблицу 6.5 СН РК EN 1993-1-1). Для сварной двутавровой балки тип кривой потери устойчивости – «с». Следовательно:

$$\alpha_{LT} = 0,49 \quad (\text{см. Таблицу 6.3 СН РК EN 1993-1-1})$$

$$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4 \quad (\text{см. Пункт 6.3.2.3(1) СН РК EN 1993-1-1})$$

$$\beta = 0,75 \quad (\text{см. Пункт 6.3.2.3(1) СН РК EN 1993-1-1})$$

Определение условной гибкости  $\bar{\lambda}_{LT}$  выполняется по следующей формуле (см. Пункт 6.3.2.2(1) СН РК EN 1993-1-1):

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} \quad (\text{для сечений класса 1 и 2}).$$

Момент сопротивления поперечного сечения

$$W_y = W_{pl,y} = 1702000 \text{ мм}^3$$

Определение коэффициента  $C_1$ :

$$q = (g + q)_{ed} = 63,7 \text{ кН/м}$$

$$L = 3000 \text{ мм}$$

$M = 260 \text{ кНм}$  (максимальный момент на участке)

$$\psi = \frac{134}{260} = 0,515$$

$$\mu = \frac{q \cdot L^2}{8 \cdot M} = \frac{63,7 \times 3^2}{8 \times 260} = 0,275 \rightarrow C_1 = 1,65$$

Определение критического момента  $M_{cr}$ :

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L^2} \cdot \sqrt{\left[ \frac{I_w}{I_z} + \frac{L^2 \cdot G \cdot I_T}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} \right]} =$$

$$= 1,65 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 210 \times 16760 \times 10^3}{3000^3} \sqrt{\frac{791 \times 10^9}{16760 \times 10^3} + \frac{3000^2 \times 80700 \times 668,7 \cdot 10^3}{\pi^2 \cdot 210 \times 16760 \times 10^3}} = 375 \text{ кНм}$$

Значит,

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1702 \times 10^3 \times 275}{375 \times 10^6}} = 1,11$$

Так как,  $\bar{\lambda}_{LT} = 1,07 > \bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$ , то расчет на устойчивость необходим.

Определение величины  $\Phi_{LT}$ :

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2]$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (1,11 - 0,4) + 0,75 \times 1,11^2] = 1,14$$

Определение коэффициента  $\chi_{LT}$ :

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,14 + \sqrt{1,14^2 - 0,75 \times 1,11^2}} = 0,57$$

$$\frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} = \frac{1}{1,11^2} = 0,83$$

Значит, понижающий коэффициент  $\chi_{LT}$  согласно Формуле (6.57) СН РК EN 1993-1-1 равен:

$$\chi_{LT} = \min[0,57; 0,83; 1,0] = 0,57$$

Следовательно, если:

$$M_{Ed} = 260 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

то расчетное значение несущей способности сжатого элемента по устойчивости равно:

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,57 \times 1703 \times 275 \times 10^{-3}}{1,00} = 270 \text{ кН}$$

Проверка условия:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{260}{270} = 0,96 > 1,0$$

Условие устойчивости выполняется.

#### 4.4 Оценка с использованием механики разрушения

4.4.1 [2.4(1) СН РК EN 1993-1-10] Для расчета с использованием механики разрушения требование к трещиностойкости и свойства трещиностойкости материалов могут быть выражены величинами CTOD, величинами J-интеграла,  $K_{IC}$ -величинами или KV-величинами, а сравнение должно быть выполнено с использованием соответствующих методов механики разрушения.

4.4.2 [2.4(2) СН РК EN 1993-1-10] Должно соблюдаться следующее условие для расчетной температуры:

$$T_{Ed} \geq T_{Rd}, \quad (4.11)$$

где  $T_{Rd}$  - температура, при которой можно рассчитывать на безопасный уровень вязкости разрушения при расчетных условиях.

4.4.3 [2.4(3) СН РК EN 1993-1-10] Должен быть смоделирован механизм потенциального разрушения с использованием соответствующего дефекта, который снижает площадь сечения нетто материала, таким образом делая его более восприимчивым к разрушению отрывом образца с выточкой. Дефект должен соответствовать следующим требованиям:

а) местоположение и форма должны соответствовать профилю надреза. Таблицы классификации усталости в СН РК EN 1993-1-9 могут использоваться для руководства по соответствующим положениям трещины;

б) для элементов, не работающих на усталость, размер дефекта должен быть максимальным, но соответствующим требованиям пунктов, включенных в EN 1090.

Предполагаемый дефект должен быть расположен в месте неблагоприятной концентрации напряжений;

в) для элементов, работающих на усталость, размер дефекта должен соответствовать размеру начального дефекта, выращенного усталостью. Размер начальной трещины должен быть выбран таким образом, чтобы он представлял минимальную величину, которую можно обнаружить методами контроля, используемыми в соответствии с СН РК EN 1090. Рост трещины от усталости должен быть вычислен с помощью соответствующей модели механики разрушения с применением нагрузок, действующих на сооружение во время безопасного проектного срока эксплуатации или инспекционного интервала (соответственно).

4.4.4 [2.4(4) СН РК EN 1993-1-10] Если на деталь конструкции не распространяется СН РК EN 1993-1-9, или если применяются более строгие методы, позволяющие получить результаты более точные, чем приведенные в Таблице 4.6 настоящего пособия, то должны быть произведены специальные испытания с использованием фактических испытаний на ударный изгиб на крупномасштабных образцах.

**ПРИМЕЧАНИЕ** Обработка результатов испытаний может быть проведена с использованием методики, приведенной в Приложении D СН РК EN 1990.

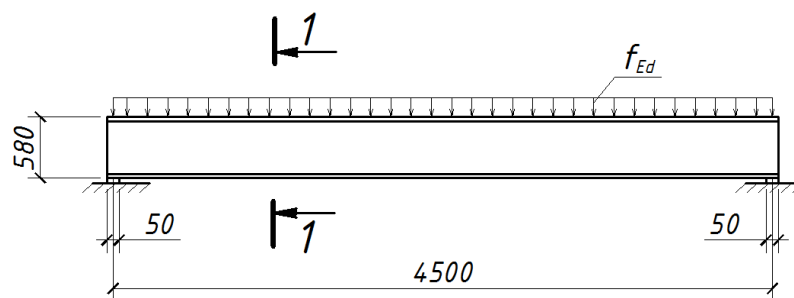
**ПРИМЕР 3** Расчет по определению расчетной температуры  $T_{Ed}$  в месте потенциального разрушения сварной балки, подверженной действию ударного воздействия

1) Исходные данные

Сварная балка - сварной двутавровый профиль (см. Рисунок 1 и Рисунок 2). Сварная балка подвержена действию ударного воздействия от электрооборудования вызывающей скорость деформации  $\dot{\epsilon} = 1,8 \times 10^{-2}$  л/с.

Материал, из которой изготовлена сварная балка, это сталь марки S275 с пределом текучести  $f_y = 235$  МПа.

Место строительства – город Петропавловск (Северо-Казахстанская область).



**Рисунок 1 - Схема сварной однопролетной балки**

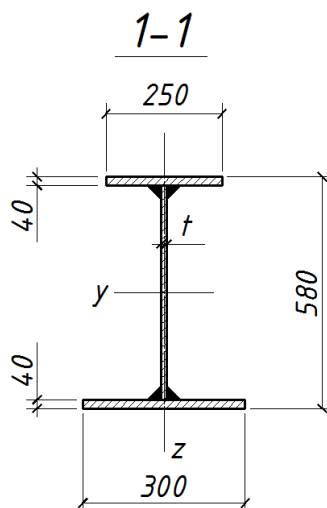


Рисунок 2 - Поперечное сечение сварной однопролетной балки

2) Определение расчетной температуры в месте потенциального разрушения  $T_{ed}$

Процедура по определению  $T_{ed}$  приведена в Пункте 2.2 СН РК EN 1993-1-10. Согласно Формулы (2.2) СН РК EN 1993-1-10, расчетная температура  $T_{ed}$  равна:

$$T_{ed} = T_{md} + \Delta T_r + \Delta T_\sigma + \Delta T_R + \Delta T_\varepsilon + \Delta T_{ecf}$$

где  $T_{md}$  – самая низкая температура воздуха в период эксплуатации, согласно СН РК EN 1991-1-5 для города Петропавловск Северо-Казахстанской области равна:

$$T_{md} = -44^\circ\text{C};$$

$\Delta T_r$  – поправка на потери при излучении (радиационные потери), для стальных элементов, равная:

$$T_r = -5^\circ\text{C};$$

$\Delta T_\sigma$  – поправка на напряжения и предел текучести материала, наличие трещин, а так же форму и размеры элемента, согласно Примечания 2 Пункта 2.2 (5) СН РК EN 1993-1-10:

$$T_\sigma = 0^\circ\text{C};$$

$\Delta T_R$  – запас безопасности, согласно Примечанию 1 Пункта 2.2 (5) СН РК EN 1993-1-10, равный:

$$T_R = 0^\circ\text{C};$$

$\Delta T_{ecf}$  – поправка на степень деформации при холодном гнущем  $\varepsilon_{cf}$ . Так как стальная балка изготовлена «горячим способом» (по стандарту EN 10025), то:

$$\Delta T_{ecf} = 0^\circ\text{C};$$

$\Delta T_\varepsilon$  – поправка на скорость деформации, отличную от исходной  $\dot{\varepsilon} = 4 \cdot 10^{-4}$  1/с. Так как в данном примере скорость деформации равна:

$$\dot{\varepsilon} = 1,8 \times 10^{-2} \text{ 1/с};$$

то  $\Delta T_\varepsilon$  определяется по Формуле (2.3) СН РК EN 1993-1-10:

$$\Delta T_\varepsilon = \frac{1440 - f_y(t)}{550} \cdot \left( \ln \frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right)^{1,5};$$

где  $f_y(t)$  – предел текучести стали марки S 275. Согласно Примечанию 3 Пункта 2.2(4) СН РК EN 1993-1-10, напряжение сжатия в сечении не должно превышать  $0,75 \cdot f_y$ .

Значит,

$$f_y(t) = 0,75 \cdot f_y = 0,75 \times 275 = 206,25 \text{ МПа}.$$

Таким образом,

$$\Delta T_{\varepsilon} = \frac{1440 - 206,25}{550} \cdot \left( \ln \frac{1,8 \times 10^{-2}}{4 \times 10^{-4}} \right)^{1,5} = 16,6^{\circ}\text{C}.$$

Следовательно, расчетная температура равна:

$$T_{\text{ед}} = -44 - 5 + 0 + 0 - 16,6 + 0 = -65,6^{\circ}\text{C}.$$

## 5 ВЫБОР МАТЕРИАЛА ПО СВОЙСТВАМ В НАПРАВЛЕНИИ ТОЛЩИНЫ ПРОКАТА

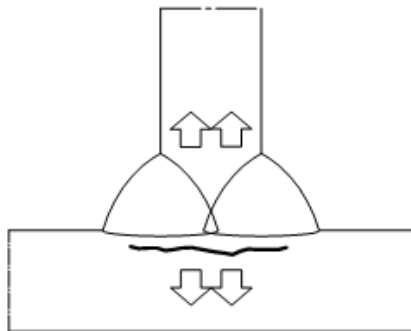
### 5.1 Общие положения

5.1.1 В Разделе 5 настоящего пособия приведены указания по применению норматива СН РК EN 1993-1-10 при выборе марки стали с учетом свойств стали в направлении толщины проката.

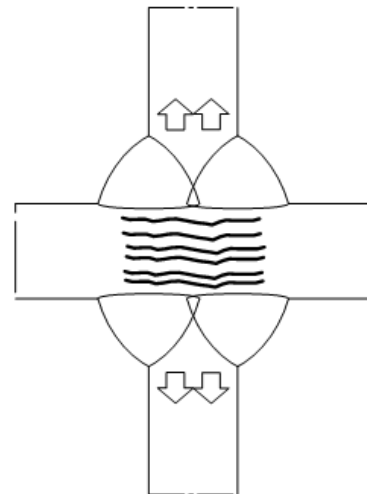
5.1.2 Выбор марки стали по свойствам в направлении толщины проката осуществляется для недопущения растрескивания в элементах стальных конструкций.

**ПРИМЕЧАНИЕ** Растрескивание – дефект в материале, вызванный сваркой, который можно обнаружить при ультразвуковой дефекта скопии. Основной риск растрескивания наблюдается у крестообразных, Т-образных, и угловых соединений, а также у сварных швов с полным проплавлением. Данный дефект обусловлен усадкой сварного шва (см. Рисунок 5.1).

а)



б)



а) Т-образный угловое сварное соединение;  
б) крестообразное угловое сварное соединение

**Рисунок 5.1 – Растрескивание стального проката**

5.1.3 Выбор марки стали для недопущения растрескивания должен учитывать условия сварочных работ (см. EN 1461) и монтажа стальных конструкции (см. EN 1090).

5.1.4 Выбор марки стали должен осуществляться на основании класса элементов конструкций и толщины проката.



5.1.5 [3.1(1) СН РК EN 1993-1-10] Классы качества элементов конструкций и толщина проката принимаются по Таблице 3.1 (см. Таблицу 5.1 настоящего пособия) в зависимости от последствий растрескивания листов.

**Таблица 5.1 - Выбор класса качества**

Класс	Область применения
1	Все стальные изделия и все толщины, перечисленные в европейских стандартах для всех областей применения
2	Конкретные стальные изделия и конкретные толщины, перечисленные в европейских стандартах и/или перечисленные области применения

ПРИМЕЧАНИЕ Согласно Пункту НП.2.4 Национального приложения к СН РК EN 1993-1-10 рекомендуется принимать класс 1.

5.1.6 В зависимости от класса качества элементов конструкций и толщины проката (см. Таблицу 5.1 настоящего пособия) необходимо выполнить одно из двух следующих требований:

а) определить свойства стали в направлении толщины проката по указаниям стандарта EN 10164;

б) выполнить приемочный контроль стальных изделий и конструкций на растрескивание проката.

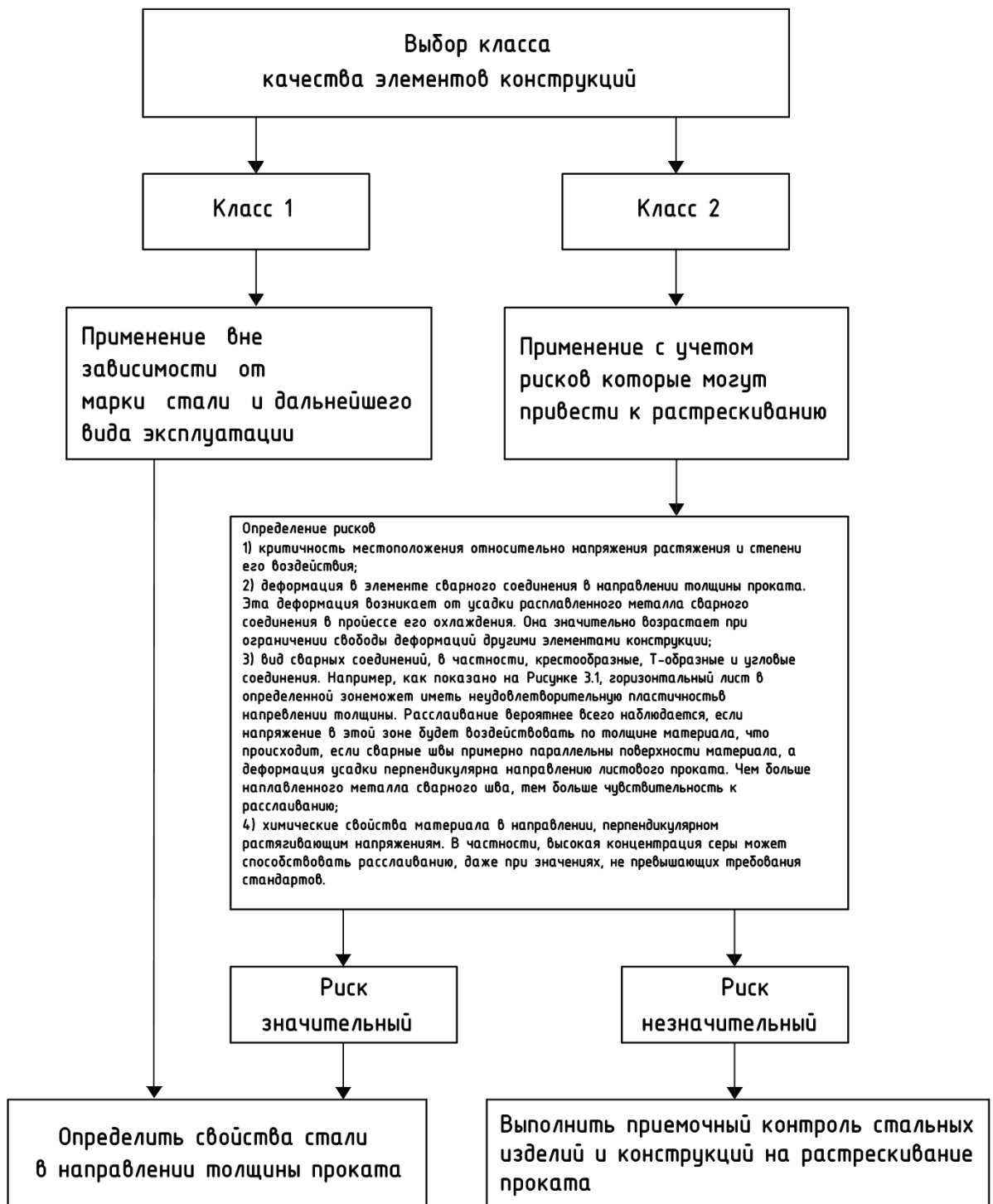
На Рисунке 5.2 настоящего пособия приведена блок-схема выбора марки стали согласно требованиям Пунктов 5.1.4, 5.1.5 и 5.1.6 настоящего пособия.

5.1.7 Восприимчивость стали к растрескиванию, определяемая по указаниям стандарта EN 10164, необходимо определять на основании показания пластичности – «Z - величина».

ПРИМЕЧАНИЕ Показатель пластичности «Z - величина» - показатель относительного сужения площади поперечного сечения при испытаниях на растяжение (см. стандарт EN 10002) в направлении толщины проката, выраженное в процентах.

5.1.8 Особое внимание по критерию растрескивания следует уделять сварным стыкам балки и колонны и пластинам фланцевых соединений, подверженных действию растяжения в направлении толщины проката.

5.1.9 Для предотвращения растрескивания стальных элементов и конструкций при сварочных работах необходимо выполнить требования стандарта EN 1011-2 (Приложение F).



**Рисунок 5.2 - Блок-схема выбора марки стали с учетом требований по недопущению растрескивания**

## 5.2 Процедура расчета

5.2.1 Местные напряжения, которые могут быть причиной исчерпания пластичности материала и привести к растрескиванию, зависят от следующих факторов:

- а) величина эффективной высоты сварного шва (параметр  $Z_a$ );

б) форма и расположение сварного шва (параметр  $Z_b$ );

г) наличие элементов конструкций, которые ограничивают усадку сварного шва (параметр  $Z_d$ );

д) предварительный нагрев (параметр  $Z_e$ );

5.2.2 Растрескиванием материала, которое может привести к наступлению критического предельного состояния (ULS), разрешается пренебречь, если выполняется следующее условие:

$$Z_{Ed} \leq Z_{Rd} , \quad (5.1)$$

где  $Z_{Ed}$  – требуемое расчетное значение «z - величины», которое определяется по Формуле (5.2) настоящего пособия;

$Z_{Rd}$  – нормируемое расчетное значение «z - величины» для материала.

5.2.3 Требуемое расчетное значение  $Z_{Ed}$ , которое характеризует способность материала к растрескиванию, рекомендуется определять по следующей формуле:

$$Z_{Ed} = Z_a + Z_b + Z_c + Z_d + Z_e , \quad (5.2)$$

где  $Z_a$ ,  $Z_b$ ,  $Z_c$ ,  $Z_d$  и  $Z_e$  – параметры, которые определяются по Таблице 5.3 настоящего пособия.

5.2.4 Нормируемое расчетное значение  $Z_{Rd}$  определяется по указаниям стандарта EN 10164 (см. Таблицу 5.2 настоящего пособия) в соответствии с разделением по классам качества (Z15, Z25, Z35).

**Таблица 5.2 – Класс качества и минимальные значения относительного уменьшения (сужения) поперечного сечения**

Класс качества	Уменьшение поперечного сечения, [%]	
	Минимальное среднее значение при 3 испытаниях	Минимальное значение при 1 испытании
Z 15	15	10
Z 25	25	15
Z 35	35	25

В случае если разделение по классам качества не приведено, то с достаточным уровнем безопасности рекомендуется принимать класс качества – Z10.

**ПРИМЕЧАНИЕ** Разделение по классам качества – см. соответствующие разделы СН РК EN 1993-1-1, СН РК EN 1993-2, СН РК EN 1993-3-1, СН РК EN 1993-3-2, СН РК EN 1993-4-1, СН РК EN 1993-4-2, СН РК EN 1993-4-3, СН РК EN 1993-5 и СН РК EN 1993-6.

Таблица 5.3 - Критерии, влияющие на расчетное значение  $Z_{Ed}$ 

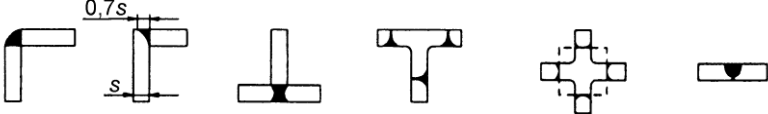

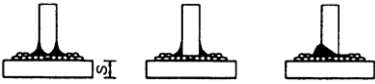
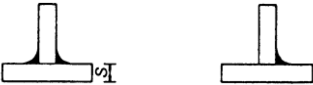
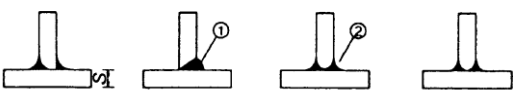
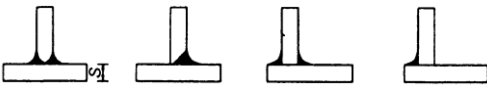

а)	Высота сварного шва, создающая растяжение от усадки металла	Эффективная высота шва $a_{eff}$ (см. Рисунок 5.2)	Размер толщины $a$ угловых швов	$Z_i$
		$a_{eff} \leq 7$ мм	$a = 5$ мм	$Z_a = 0$
		$7 < a_{eff} \leq 10$ мм	$a = 7$ мм	$Z_a = 3$
		$10 < a_{eff} \leq 20$ мм	$a = 14$ мм	$Z_a = 6$
		$20 < a_{eff} \leq 30$ мм	$a = 21$ мм	$Z_a = 9$
		$30 < a_{eff} \leq 40$ мм	$a = 28$ мм	$Z_a = 12$
		$40 < a_{eff} \leq 50$ мм	$a = 35$ мм	$Z_a = 15$
		$50 < a_{eff}$	$a > 35$ мм	$Z_a = 15$
б)	Форма и положение сварных швов в Т-образных, крестообразных и угловых соединениях			$Z_b = -25$
		Угловые соединения		$Z_b = -10$
		Однослойные угловые швы $Z_a = 0$ или угловые швы с $Z_a > 1$ с наплавленным металлом низкой прочности		$Z_b = -5$
		Многослойные угловые швы		$Z_b = 0$
		При соответствующей последовательности сварки, чтобы уменьшить воздействие усадки		$Z_b = 3$
		Швы с частичным и полным проплавлением		
		Швы с частичным и полным проплавлением		
		Угловые соединения		$Z_b = 8$
в)	Влияние толщины материала $s$ на сдерживание усадки	$s \leq 10$ мм		$Z_c = 2^*$
		$10 < s \leq 20$ мм		$Z_c = 4^*$
		$20 < s \leq 30$ мм		$Z_c = 6^*$
		$30 < s \leq 40$ мм		$Z_c = 8^*$
		$40 < s \leq 50$ мм		$Z_c = 10^*$
		$50 < s \leq 60$ мм		$Z_c = 12^*$
		$60 < s \leq 70$ мм		$Z_c = 15^*$
		$70 < s$		$Z_c = 15^*$

Таблица 5.3 - Критерии, влияющие на расчетное значение  $Z_{Ed}$ 

г)	Отдаленное сдерживание усадки другими частями конструкции после сварки	Эффективная высота шва $a_{eff}$ (см. Рисунок 5.2)	Размер толщины $a$ угловых швов	$Z_i$
		Низкое сдерживание: свободная усадка возможна (например Т-соединения)		$Z_d = 0$
		Среднее сдерживание: свободная усадка ограничена (например диафрагмы в коробчатых сечениях)		$Z_d = 3$
		Высокое сдерживание: свободная усадка невозможна (например продольные балки в ортотропных плитах)		$Z_d = 5$
д)	Влияние предварительного нагрева	без нагрева		$Z_e = 0$
		предварительный нагрев $\geq 100\text{ }^{\circ}\text{C}$		$Z_e = -8$

\* Может быть уменьшено на 50 % для напряженного материала, в направлении толщины проката сжатием из-за преимущественно статических нагрузок.

## ПРИМЕР 4 Расчет узла сварной балки на растрескивание

## 1) Исходные данные

Сварная балка, изготовленная из стали марки S 275 с пределом текучести  $f_y = 235\text{ МПа}$ , имеет длину  $L = 5,0\text{ м}$  (см. Рисунок 1).

Необходимо выполнить расчет сварного узла на растрескивание (см. Рисунок 2, б).

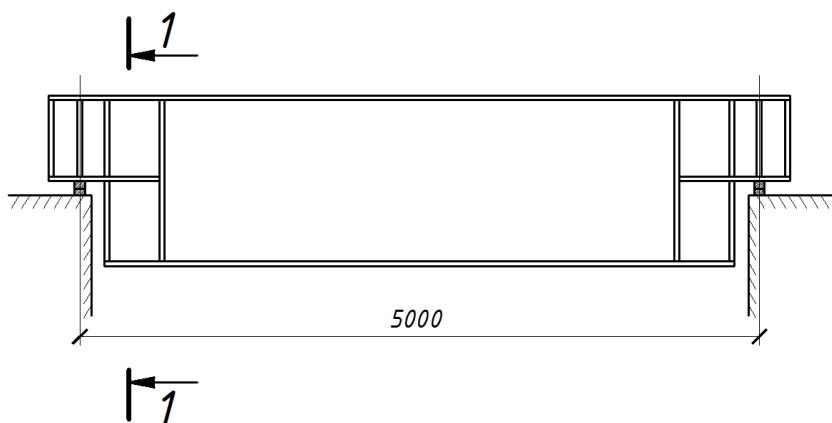


Рисунок 1 - Схема сварной балки

2) Разъяснение понятия « $Z$  – величина»

Согласно Пункту 1.3.5 СН РК EN 1993-1-10, « $Z$  – величина» – относительное уменьшение поперечного сечения (сужение) стального образца при испытаниях на растяжение (испытания выполняются по стандарту EN 10002), « $Z$  – величина» дается в процентах.

Более точное разъяснение понятия и определение « $Z$  – величины» дается в Пункте 5.1 стандарта EN 10164, где приведена формула по определению « $Z$  – величины», а именно:

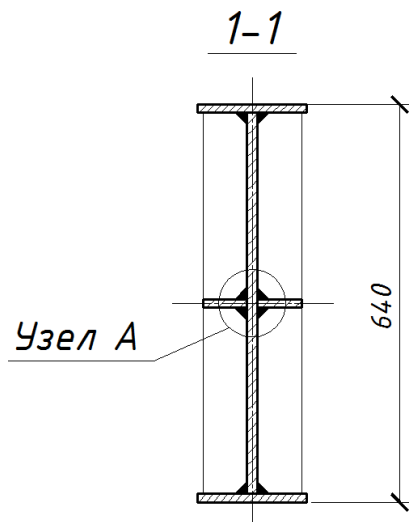
$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \cdot 100\%;$$

где  $S_0$  – первоначальная площадь поперечного сечения стального образца.

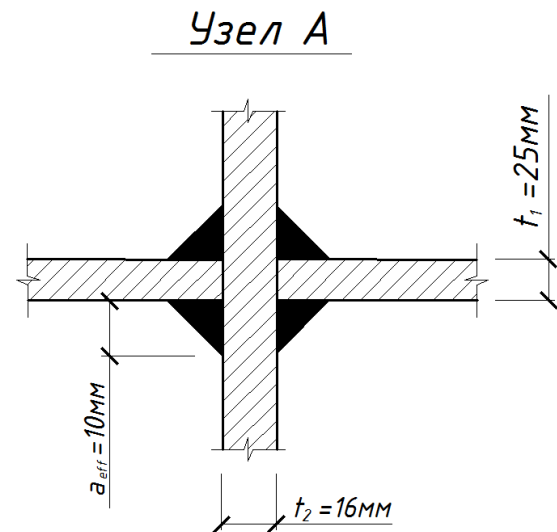
$S_u$  – минимальная площадь поперечного сечения в момент разрушения стального образца.

Кроме того, в Разделе 5 стандарта EN 10164 приведена таблица с данным по « $Z$  – величине» (См. Таблицу 1).

а)



б)



а) поперечное сечение сварной балки; б) узел сварной балки

Рисунок 2 – Сечение сварной балки

Таблица 1 – Класс качества (Z – величина) и минимальные значения относительного уменьшения (сужения) поперечного сечения

Класс качества	Уменьшение поперечного сечения, [%]	
	Минимальное среднее значение при 3 испытаниях	Минимальное значение при 1 испытании
Z 15	15	10
Z 25	25	15
Z 35	35	25

Таким образом, Z – величина – это не только показатель физико-механических свойств стали, но и обозначение класса качества стали.

### 3) Расчет на растрескивание

В данном примере расчет на растрескивание выполняется для крестового узла сопряжения предельных ребер жесткости к стенке сварной балки (см. Рисунок 2, б).

Сварной шов сопряжения ребер жесткости – угловой с эффективной высотой:

$$a_{\text{eff}} = 10 \text{ мм.}$$

Согласно Указаниям Таблицы 3.2 СН РК СН РК EN 1993-1-10, при эффективной высоте сварного шва в 10 мм величина  $z_a$  равна:

$$z_a = 3.$$

По Таблице 3.2 СН РК СН РК EN 1993-1-10, для крестового узла с многослойным сварным швом величина  $z_b$  равна:

$$z_b = 0.$$

По Таблице 3.2 СН РК СН РК EN 1993-1-10, при толщине стенки сварной балки  $t = 16 \text{ мм}$ , к которой приваривается ребра жесткости, величина  $z_c$  равна:

$$t_2 = s = 16 \text{ мм;}$$

$$10 < t_2 = 16 \text{ мм} < 20 \text{ мм} \rightarrow z_c = 4.$$

В данном сварном узле возможна свободная усадка сварного шва, следовательно, величина  $z_b$  равна:

$$z_d = 0.$$

Так как сварной узел выполнен без предварительного нагрева, то величина  $z_e$  равна:

$$z_e = 0.$$

Требуемое расчетное значение  $z_{ed}$  определяется по Формуле (3.2) СН РК СН РК EN 1993-1-10:

$$z_{ed} = z_a + z_b + z_c + z_d + z_e.$$

Таким образом,

$$z_{ed} = 3 + 0 + 4 + 0 + 0 = 7.$$

Значит, расслаиванием можно пренебречь для всех классов качества (т.е. Z 15, Z 25, Z 35), так как:

$$z_{ed} = 7;$$

$$z_{Rd} = z_{Rd,min} = 10;$$

$$z_{ed} = 7 < z_{Rd} = 10.$$

Следовательно, условие Формулы (3.1) СН РК EN 1993-1-10 выполняется.

**Приложение А**  
(информационное)

**Аналоги отечественных марок стали**

Для выбора аналогов сталей, изготовленных по ГОСТ и ТУ, с целью определения нормативных значений предела текучести и предела временного сопротивления допускается использование Таблицы А.1.

**Таблица А.1 – Аналоги отечественных марок сталей и сталей по стандартам EN**

Сталь по соответствующему стандарту EN		Отечественная сталь	
EN 10025-2-2004 (E)		Аналог по ГОСТ 27772-88	
Марка стали	Номер материала	Обозначение	Марка стали
S235JR	1.0038	С 235	Ст. 3 кл. 2; Ст. 3 кл. 2-1
S275JR	1.0044	С 275	Ст. 3 пс 6-2
S355JR	1.0045	С 345	12Г2С гр.-1
EN 10025-3-2004 (E)		Аналог по ГОСТ 19281	
Марка стали	Номер материала	Обозначение	Марка стали
S420N	1.8902	С 440	12Г2АФ, 18Г2АФПС, 15Г2СФ термоупрочненная
EN 10025-6-2004 (E)		Аналог по ГОСТ ТУ14-1-1-1772	
Марка стали	Номер материала	Обозначение	Марка стали
S550Q	1.8904	С 590	12Г2СМФ

**ПРИМЕЧАНИЕ 1** Представленные в Таблице А.1 аналоги отечественных сталей допускается использовать при выборе нормативных значений предела текучести и временного сопротивления для стальных конструкций, воспринимающих статические и повторно статические нагрузки (см. Пункт НП.2.13 Национального Приложения к СН РК EN 1993-1-1).

**ПРИМЕЧАНИЕ 2** Расширение таблицы аналогов отечественных сталей с включением сталей классов С 245, С 255, С 345Т, С 345К, С 375, С 375Т, С 390, С 390Т, С 390К должно быть проведено после накопления достаточного объема результатов стандартных лабораторных сравнительных испытаний по соответствующим методикам.

**ПРИМЕЧАНИЕ 3** Оценка ударной вязкости отечественных сталей должна быть проведена для образцов с концентратом вида V (образцы по методике Шарпи). По результатам данных лабораторных испытаний будут откорректированы расчетные значения величин ударной вязкости для отечественных сталей с концентратом вида U, эксплуатируемых при вибрационных, динамических, ударных нагрузках и воздействиях, а также сталей, работающих в условиях, допускающих хрупкое разрушение стальных конструкций.



УДК 620.113.41

МКС 91.010

---

**Ключевые слова:** хрупкое разрушение, ударная вязкость, низкие температуры, метод Шарпи, трещиностойкость, расслоение, сварные дефекты, максимальная толщина проката.

---

*Ресми басылым*

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҰЛТТЫҚ ЭКОНОМИКА МИНИСТРЛІГІНІҢ  
ҚҰРЫЛЫС, ТҮРҒЫН ҮЙ-КОММУНАЛДЫҚ ШАРУАШЫЛЫҚ ІСТЕРІ ЖӘНЕ  
ЖЕР РЕСУРСТАРЫН БАСҚАРУ КОМИТЕТІ

**Қазақстан Республикасының  
НОРМАТИВТІК-ТЕХНИКАЛЫҚ ҚҰРАЛЫ**

**НТҚ 03-01-10.1-2012**

**БОЛАТ КОНСТРУКЦИЯЛАРДЫ ЖОБАЛАУ.**

**Илем қалыңдығы бағытындағы материалдың соққылық тұтқырлығы мен  
беріктік қасиеттері бөлімі**

Басылымға жауаптылар: «ҚазҚСҒЗИ» АҚ

050046, Алматы қаласы, Солодовников көшесі, 21  
Тел./факс: +7 (727) 392-76-16 – қабылдау бөлмесі

*Издание официальное*

КОМИТЕТ ПО ДЕЛАМ СТРОИТЕЛЬСТВА, ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО  
ХОЗЯЙСТВА И УПРАВЛЕНИЯ ЗЕМЕЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ МИНИСТЕРСТВА  
НАЦИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

**НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ  
Республики Казахстан**

**НТП 03-01-10.1-2012**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

**Часть. Вязкость материала и прочностные свойства  
в направлении толщины проката**

Ответственные за выпуск: АО «КазНИИСА»

050046, г. Алматы, ул. Солодовникова, 21  
Тел./факс: +7 (727) 392-76-16 – приемная  
Тел./факс: +7 (727) 392 76 16 – приемная