

621.77

C34

4.3

**Н. С. Сембаев**

# **МАТЕРИАЛДАРДЫ ӨҢДЕУ ТЕХНОЛОГИЯСЫ ЖӘНЕ ҚҰРАЛ-ЖАБДЫҚТАРЫ**

TORAIGHYROV UNIVERSITY

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ АЛМАТЫ АҚПАРАТТЫҚ ОРТАНЫ

Павлодар

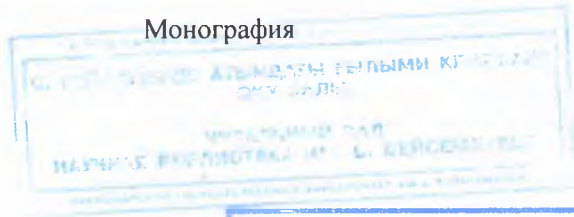
Қазақстан Республикасының Білім және ғылым министрлігі

С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті

Н. С. Сембаев

# МАТЕРИАЛДАРДЫ ӨНДЕУ ТЕХНОЛОГИЯСЫ ЖӘНЕ ҚҰРАЛ-ЖАБДЫҚТАРЫ

Монография



448486

Павлодар  
Toraighyrov University  
2020

**С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университетінің  
Ғылыми кеңесімен баспаға ұсынылды**

**Пікірсарапшылар:**

А. К. Каракаев – техника ғылымдарының докторы, профессор  
С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті;

С. С. Құлнияз – техника ғылымдарының докторы, профессор  
К. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік мемлекеттік университеті;

А. А. Бакушев – техника ғылымдарының кандидаты, доцент Жәңгір  
хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті;

**Сембаев Н. С.**

С12 Материалдарды өңдеу технологиясы және құрал-жабдықтары :  
монография / Н. С. Сембаев. – Павлодар : «Toraighyrov  
University», 2020. – 151 б.

ISBN 978-601-345-067-4

Монографияда илемдеу өндірісінің жай-күйіне әдеби талдау жүргізілген және қаңылтырлы илемді алудың дамуының әлемдік тенденциялары талданып сипатталған. Дайындамалар мен қаңылтырлы илемді өндіру технологиясының негізгі мәселелері қарастырылған.

Эксперименталды зерттеулер кезінде эксперимент жүргізуден алынған нәтижелерді өңдеудің ғылыми-негізделген әдіснамалары, материалдарды өңдеуде өндірісте қолданылатын жабдықтар сипатталған.

Монография жоғары оқу орындарының білімалушыларына, магистранттар мен докторанттарға, сондай-ақ металлургиялық және машина жасау зауыттарының илемдеу цехтарының инженер-техникалық қызметкерлеріне пайдалы болуы мүмкін.

ӘОЖ 621.771 (035.3)

КБЖ 34.623

© Сембаев Н. С., 2020

© Toraighyrov University, 2020

ISBN 978-601-345-067-4

## Кіріспе

Ыстықтай илемдейтін кеңжолакты орнақтардың (БИКЖО) тұржиыны кейінгі он жыл ішінде елеулі өзгерістерге ұшырады: ыстықтай илемделген болат жолақтарының ең төмен қалыңдығы 1,8 – 2,0 мм-ден 0,8 – 1,2 мм-ге дейін төмендетілді. Мұндай қалыңдықтары бар жолақтар тек суықтай илемдеу орнақтарында өндіріледі. Алайда машина жасау мен құрылыс индустриясының бірқатар кәсіпорындары, мұндай аса арзан ыстықтай илемделген жолақтарды, олардың механикалық сипаттары мен беттерінің сапасы халықаралық стандартқа сай келетін жағдайда ғана пайдалануды қажет етеді. Ыстықтай илемделген жұқа металл табағына деген сұраныс, қазіргі уақыттағы металл өнімдері нарығында өсіп келе жатуына байланысты, кәсіпорындар үздіксіз ыстықтай илемдеу орнақтарында жұқа металл жолақтарып шығарудың өнімділігін арттыру және илем бетінің сапасына қойылатын жоғары талаптарды орындау бағыттарында көп жұмыс жасап жатыр. Ыстықтай илемделген жұқа металл табағын шығаруды жетілдірудің басты бағыттары: цехтарды жаңа, өнімділігі жоғары жабдықтармен жарактау, илем бетінің сапасын жақсарту және олардың өлшем дәлдігін арттыру, табак материалының механикалық қасиеттерін жақсарту, орнақтар мен агрегаттардың өнімділігін арттыру, өнім шығарудың жарамдығын арттыру, өндіріс шығындарын азайту.

Жаңа орнақтың құрылымын зірлеу, жұқа табакты болатты өндіру технологиясын жетілдіру, кернеулі-деформацияланған күйдің (КДК) таралу заңдылығын зерттеу және металды илемдеу кезінде энергиякүштік параметрлері мен илемділік қорын қолдану дәрежесін (ИКҚД) есептеу әдістемесін зірлеу негізінде осы мәселелерді тиімді шешуге болады.

Осыған байланысты, өнімнің сапасын арттырумен, өндіріс шығындарын азайтумен, жолақтардың үзілгіштігін болдырмайтын илемдеу орнағының жаңа құрылымын жобалаумен, ыстықтай илемдеу үрдісінің ИКҚД және энергиякүштік параметрлерін есептеумен байланысты әдістемелерді жасау, сондай-ақ қазіргі өндіріс талаптарына сай келетін жұқа табакты болатты өндіру технологиясын жетілдіру міндеттері аса өзекті және дұрыс болып табылады.

Бүгінгі күні колданыстағы орнақ жабдықтарында үзіктердің пайда болу заңдылықтарын зерттеп, алынған зерттеу нәтижелерін пайдаланып, жабдық элементтерінің жиынтығын өзгертпей жұқа жолақтарды илемдеуге арналған орнақ құрылымын зірлеу және осы орнақты теориялық негіздеу осы ұсынылып отырған монографияда жазылған.

## **1 Илемдеу өндірісінің мәселелері**

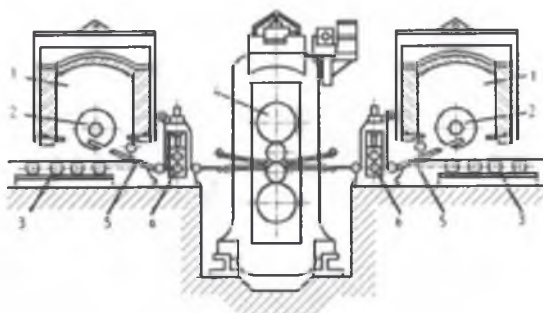
Қазіргі уақытта машина жасау және металлургия материалдық және еңбек қорлары жағынан үлкен тапшылық көрініс отыр. Осыған байланысты өнімсіз еңбек шығындарын болдырмауға, материалдық және энергетикалық қорлардың сапасын жақсарту және анағұрлым толық пайдалануға, сондай-ақ еңбек құралдарын (шикізаттарды, материалдарды, қуатты) мүмкіндігінше сақтауға бағытталған барлық іс-шараларды әзірлеу және оны мүмкіндігінше тез енгізу аса маңызды мәнге ие. Материалдық қорларды ұтымды пайдалануда негізді жаңа тәсілдерге қол жеткізуге болады, атап айтқанда табақ материалдарының сапасын көтеру және жан-жақты пайдалану. Бір жолғы пайдалану тұжырымдамасы экономикалық жағынан да техникалық жағынан да тиімсіз болды. Микрометаллургиялық зауыттың құрылысын салу және осы зауыттарда болашағы бар технологияларды жасау және кеңінен енгізу негізінде бұл мәселені түбегейлі шешуге мүмкіндік береді [1–5].

### **1.1 Ыстықтай илемделген табақ өндірісін дамыту жолдары**

ТМД елдері орнақтарының параметрлері заманға сай орнақтар деңгейіне сәйкес келеді және жұқа табақтардың өндірісін дәстүрлі дамыту мүмкіндіктерін толығымен жойған [6]. Әлем бойынша осындай жоғары сапалы табақтарды анағұрлым арзан әдістермен өндіруге мүмкіндік беретін басқа да шешімдер қарастырылуда. Ыстықтай илемделген табақ өндірісі үшін шағын зауыттардың құрылысын салу дамып келе жатыр [1].

Осындай шешімдердің бірі таза қапас тобының [7] орнына Стеккель орнақтарын (1.1 сурет) пайдалану болып табылады. Қаралай өңдейтін қапас тобында илемдеу дәстүрлі технология бойынша жүзеге асырылады, сондықтан қаралай өңдейтін қапас суретте көрсетілмеген. Қаралай өңдейтін қапас тобында тік және көлденең біліктері бар қапас орнатылған, оларда жұқарту реверсивті тәртіпте жүргізіледі.

Қаралай илемдегеннен кейін жайылым Стеккель орнағының (пеште орналасқан орауышы бар орнақ) ажырамды біліктері арқылы өтеді және оң жақтағы орағышқа жинақталады. Сол жақтағы орағышқа қайта ораған кезде біліктердің арасындағы қашықтық қажетті жаншуға дейін азаяды. Бірнеше реверсивті өткізгіштен кейін орнақта орам түрінде 1,2–2,0 мм болатын илемнің қажетті қалыңдығы алынады да суықтай илемдеу цехына түседі.

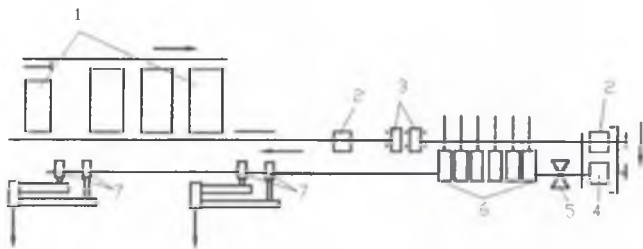


1 – қалпақты пеш; 2 – пеш орағышы; 3 - рольганг; 4 – кварто тазалау қалпасы; 5 – өткізбелер; 6 – тартылмалы аунақшалар

1.1-сурет – Пеш орағыштары бар Стеккель орнағының сұлбасы

Бұл орнақтар негізінен болаттардың арнайы маркаларына (мысалы электртехникалық) арналған, сондақтан олар өте аз мөлшерде шығарылады және құрамы дәстүрлі кең жолақты орнақтарға (КЖО) қарағанда қарапайым. Илемдеудің тұрақты температура жағдайына байланысты жолақта температуралық сына жоқ, сондай-ақ қапас пен орағыштың арасындағы жолақты керудің тұрақты жағдайы қамтамасыз етіледі. Ұзына бойлай және көлденең бағыттағы түрлі қалыңдық ең аз мөлшерде және 0,03 мм аспайды, бұл электр техникалық болаттар үшін өте маңызды. Осындай орнақтардың кемшілігі өнімділіктің төмендігінде және илемдеу температурасына дейін қыздырылған (1100–1150 °С) пеште орналасқан орағыш жұмысының ауыр жағдайы болып табылады.

Цех алаңын шағындайтын және кейбір агрегаттарды жеңілдететін [7,108–112 б.] дәстүрлі орнақ жабдығын жаңадан жинақтау бойынша шешімдер бар. АҚШ фирмаларының бірі қара және таза тобының ағынға қарсы орналасу сұлбасын (1.2-сурет) жасап шығарды. Орнақ Стеккель орнағы мен үздіксіз кең жолақты орнақтың (ҮКЖО) аралық жағдайда орын алады. Орнақта қалыңдығы 230 және 285 мм слябтар қолданылады. Беттің түржиыны 1 мм-ден 19 мм-ге дейін. Таза топтың үш қалыңдықтарының біріне арналған жартылай таза илем – 45, 32 және 19 мм – жердегі аралық орауыштарға жинақталады, сонан соң орнақтағы таза тізбекте орнатылған таркатқышқа өткізіледі Қара топтағы орауыштың барабаны 900 – 1000 °С температурасына дейін қыздырылған.



1 – қыздыру пештері; 2 – жердегі орауыштар; 3 - қапастардың кара топтары; 4 – орауыш-таратқыш; 5 – қайшылар; 6 – қапастардың таза тобы; 7 – таза орауыштар.

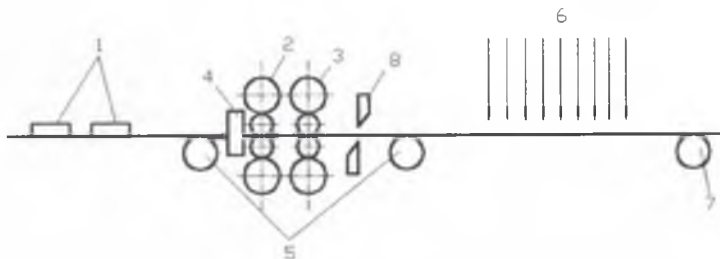
1.2-сурет– Қапастардың кара және таза топтарында ағынға қарсы орналасқан ҮКЖО сұлбасы

Қапастардың таза тобының алдыңғы қайшысы алдыңғы ұшын кесіп қана қоймай, таза топқа келіп түсетін жолақтың ұзындығын реттеп отырады. Бұл барлық табақтар үшін максималды өлшемді слябтарды пайдалануға және орнақтың өндірісін арттыруға мүмкіндік береді. Таза қапастарда жолақтың қалыңдығын және пішінін автоматты түрде реттеу жүйесі бар. Цехтың жалпы ұзындығы 230 м (карапайым КЖО ұзындығы – 500 астам), күрделі қаржы салымы 14 % төмендеді. ағымдағы шығыстар – 28 %. Орнақтың өнімділігі жылына 1 млн. тонна.

Көрсетілген бағыт бойынша негізгі әзірлемелерді «Фест-Альпине» австриялық фирмасы [7, 108–112 б.] орындаған. Осы фирма Линце қаласында реверсивті тұтас кең жолақты орнақтардың (КЖО) құрылысын салды, ол екі жағынан да қыздырылатын орауыштары бар бір тік және бір, басқа нұсқаларда екі, кейбір жағдайларда үш көлденең кварто қапастарынан тұрады (1.3-сурет). Қалыңдығы 250 мм слябтар таза қапастардың біліктері ажырамды болған жағдайда бірінші (таза) көлденең қапастардың реверсивті тәртібінде илемделеді. Сонан соң екі қапастан да бірнеше өткізулер бір уақытта жүзеге асырылады. 2 мм қалыңдыққа дейінгі таза өткізулер орауыштардың біріне кезегімен жолақтарды орай отырып кара қапастар ажырамды болған жағдайда таза қапастарда ғана аяқталады. Орауыштардың барабандары индукторлардың көмегімен 900 – 1000 °С температурасына дейін қыздырады. 3 білікті нұсқасында кара қабыршық сындырғышымен қосымша қапас квартосы екі білікті

топтың алдына орнатылған. Ол кешеннің өндірісін арттыруға арналған.

Өнімділігі жылына 500 мың т. осы шамалас КЖО 1420 Канадада орнатылған [7, 108–112 б.]. Қапастардың қара тобының да екі реверсивті қапасы бар, оның сляб қалыңдығы 150-ден 10 мм ге дейін азаяды. Соңғы өткізулер қыздырылатын орауыштардағы жолақтарды орай отырып жүзеге асырылады. Бұдан әрі илемдеу дағдылы тәртіп бойынша таза топта жүргізіледі.

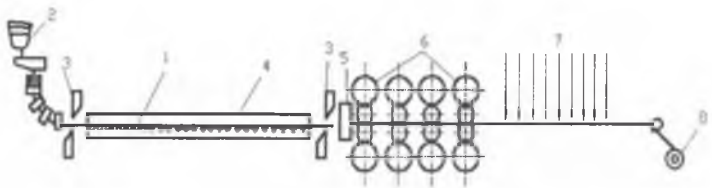


1 – қыздыру пештері; 2, 3 –кварто қапастары; 4 – дуо қапасы; 5 – қыздырылатын орауыштар; 6 – себезгі кондырғы 7 – орауыш; 8 – қайшы

1.3-сурет – Қыздырылатын орауыштары бар екі қапасты орнақтың сұлбасы

Әлемде слябтарды үздіксіз құю машиналарын (СҮҚМ) кең жолақты орнақтармен [6, 93 б.] біріктіру мәселелеріне көп көңіл бөлінуде. Бірінші бір жылғалы кондырғы (1.4-сурет) 1989 жылы АҚШ-та орнатылған. Оған қима бойынша слябтардың температурасын қалыпқа келтіру және слябтарды жинау үшін ұзындығы 40 м аралық пеш пен СҮҚМ кіреді. Қалыңдығы 50 мм слябтарды құйып алу кезінде қапастардың таза тобы қажет етілмейді және илемдеу гидроқағу мен төрт кварто қапасы бар қапастардың таза тобында ғана жүргізіледі. Жалпы кешеннің ұзындығы күрт қысқарады, құйып алу және илемдеу кондырғыларының сомалық құны, илемдеуге арналған слябтарды қыздыруға шығындар азаяды. Бірақ осындай кешендердің өнімділігі төмен, өйткені дәстүрлі илемдеу жылдамдығына қарағанда құйып алу жылдамдығы азырақ. Көрсетілген орнақта ол 0,23 м/с тең, сондықтан орнақтың соңғы қапасындағы жолақтың шығу жылдамдығы 4,6 м/с аспайды.

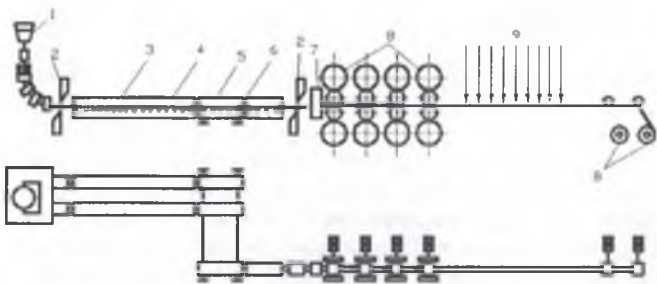




1 – сляб; 2 – шөміш; 3 – кайшы; 4 – пеш; 5 – беруші қондырғы; 6 – кварто қапастары бар үздіксіз орнак; 7 – себезгі қондырғы; 8 – орауыш

1.4-сурет – Бір жылғалы қондырғы

Өнімділігін арттыру үшін АҚШ пен Жапонияда екі СҮҚМ бар бірқатар қондырғылар салынды (1.5-сурет – екі проекция) [7, 108–112 б.]. Шыға берісіндегі жылдамдық 6,5 м/с (жолақтың қалыңдығы 2,5 мм болған жағдайда) дейін. Өнімділігі жылына 800 мыңнан 1,5 млн. т. дейін артады. Бұл дәстүрлі ҮКЖО өнімділігіне қарағанда елеулі түрде аз, ол 3,6–6,0 млн. т. шегінде өзгеріп отырады. Алайда осындай орнактардың құрылғыларына кететін шығыстар елеулі түрде төмен және ҮКЖО бір жылғалы құрылғылар үшін барлығы 18 %, ал екі жылғалы 27,5 % құрайды.

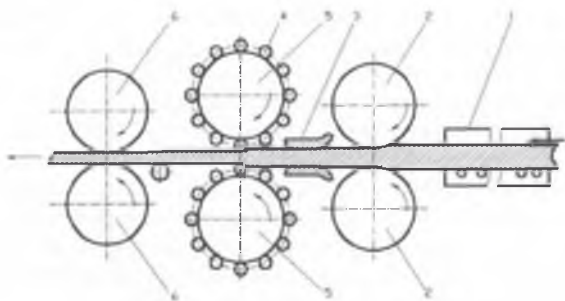


1 – кристалдаушы; 2 – кайшы; 3,4 – қыздыру пеші; 5 – көлік және тарату құралы; 6 – пеш; 7 – беруші қондырғы; 8 – кварто қапастары бар үздіксіз орнак; 9 – себезгі қондырғы; 10 – орауыштар

1.5-сурет – Екі жылғалы қондырғы

Қю-илемдеу кешеніндегі илемдеу жабдықтарының мүмкіндіктерін толығымен пайдалану үшін қю жылдамдығын арттыру қажет. Ол үшін құйылатын слябтың қалыңдығын азайту қажет. Егер қалыңдығы 50–80 мм слябтарда жылдамдық 3–7 м/мин. жетсе, онда қалыңдығы 20–40 мм слябтарда оны 15 м/мин. дейін арттыруға болады. Жұқа құйылмалы слябтарды пайдалану табақты илемдеу кешенінің жабдығы құрамының толықтай өзгеріске ұшауына әкеп соқтырады. Болашақта жылдамдығы 60 м/мин дейінгі қалыңдығы 1–8 мм және илемдеуге анағұрлым аз шығын кететін жолақтар құйылуы мүмкін. Бірақ құрамы жағынан илемделген металға ұқсайтын металдың майда қиыршықты құрылым қасиетінің сәйкес келуін және жолақтың қажет етілген қалыңдығын және жазықтығын қамтамасыз ету қажет.

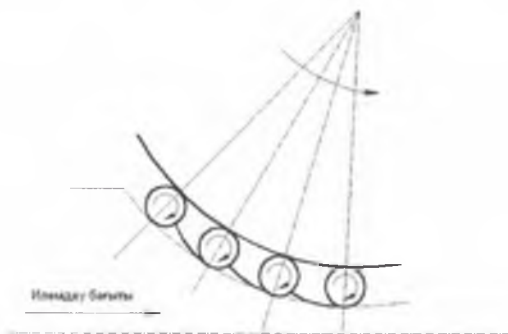
Планетарлық орнақтар [7,108–112 б.] дұрыс қолданылған жағдайда үздіксіз қю және илемдеу жылдамдығы дұрыс сәйкес келеді. Осындай кешенді Дуйсбургтағы «Круп» фирмасы әзірлеген. Қалыңдығы 80 мм үздіксіз сляб құятын машинадан 1,5–0 м/с жылдамдықпен шығады және ұзындығы 30 м өткізу пешіне келіп түседі. Сонан соң беруші біліктердің көмегімен жаншу 10–20 % аспайтын металл планетарлық қапасқа беріледі, онда бір өткізу кезінде қалыңдығы бірден 2 мм дейін төмендейді (1.6-сурет). Планетарлық қапастан кейін орнатылған дуо тегістеу қапасының ұзын бойғы бағытындағы жолақтың қалыңдығын түзеткеннен кейін жолақ орамға оралады.



1 – өткізу пеші; 2 – беруші біліктер; 3 – өткізгіштер; 4 – жұмысқа қажетті планетарлық біліктер; 5 – тірек біліктер (барабандар); 6 – тегістеу біліктері

1.6-сурет – Планетарлық орнақпен орнату сұлбасы

Диаметрі аз жұмыс біліктері тиін доңғалақтары түріндегі сепараторға жинақталған және диаметрі үлкен жетекті барабаиға келіп тіреледі. Барабан илемдеу жағына қарай айналған кезде үйкелу есебінен жұмыс біліктері кері бағытқа қарай жылдам айналады. Деформация ошағында жұмыс біліктері металдың азғана бөлшегін іліп алады және жаншып ұстайды (1.7 сурет). Жиынтық деформациясы мұнымен коса біршама мәнді болуы мүмкін, бір өту жолында 90 – 98 % жетеді. Анағұрлым жетілген планетарлық орнак планетарлық біліктердің екі қатарына ие болады. Аралық біліктер илемдеу бағыттарына қарсы айналады, ал жұмыс біліктері – илемдеу бағыты бойынша айналады, бұл беруші біліктердің жұмысын жеңілдетеді және үрдісті тұрақтандырады.



1.6-сурет – Планетарлы илемдеу кезіндегі металл деформация-сының сұлбасы

Цех ауданы болат балқыту қондырғыларымен бірге 145x40 м құрайды, кешеннің жылдық өнімділігі жолақ еніне байланысты 450–900 мың т құрайды [7, 108–112 б.]. Осындай қондырғылар еуропа елдерінде және АҚШ-та көп, алайда олар ТМД елдерінде өнеркәсіпте пайдаланылмайды. Себебі, планетарлық илемдеудің екі елеулі кемшілігі бар. Алғашқысы, илемдеу қапасынан кейін жолақ планетарлық илемдеу ерекшелігімен байланысты болатын үлкен бойлықтағы әр түрлі қалыңдыққа ие болуынан құралады: әрбір білік илемдеуді аяқтай отыра өзінен кейін біршама қалыңдатылған бөлімді қалдырады, осы бөлімдердің мерзімділігі планетарлық қапастың жұмыс біліктері арасындағы қашықтыққа сәйкес келеді. Келесі дуо қапасы әр түрлі қалыңдықты толық тегістемейді. Екінші кемшілік

планетарлық орнақтың құрылымына байланысты: жұмыс біліктері және сепаратор беріктілік сипаттары бойынша аса мықты болмайды және жиі істен шығып отырады.

«Sendzimir» фирмасы (АҚШ) жылына 400–500 мың т арналған үлгілік шағын зауытты әзірледі, оның құрамына мыналар енеді: екі доғалы 100 тонналы қорытпа пештері, қалыңдығы 230 мм және ені 800–1050 мм дайындаманы құюға арналған қисық сызық үлгісіндегі бір бұлақты СҮҚМ, температураны 1100 °С деңгейіне теңдестіретін туннель пеші және жұқарту орнағы [7, 126–143б]. Орнақтың тік қапастан, екі реверсивсіз дуо қапасынан және жұқарту орнағынан тұратын кара қапастар тобы болады, одан шығу жолында илемдеу екі таза кварто қапасында соңғы 2 мм қалыңдығына дейін жүзеге асырылады. Кешен «шексіз» және әлсіз илемдеу режимдерін іске асыруға қабілетті.

Тұтас алғанда, жұқа ыстықтай илемделген табақты илемдеудің жаңа технологиялық сызбалары үздіксіз кең жолақты орнақтарда жұқартуды ығыстырып шығармайды, олар өзінің технологиялық текшесінде ғана орын алады.

## **1.2 Кең жолақты орнақтарда шексіз ыстықтай илемдеудің технологиясы және құрал-жабдығы, мәселелері мен келешектегі көріністері**

Өндіруге шығындарды азайту кезінде нарықтағы талаптарды анағұрлым толық қанағаттандыруға ұмтылу табақты илемдеу әдісімен алынатын металл бұйымдарды өндірушілердің суықтай илемдеуге жақын келетін және артпайтын қасиеттердің кешен деңгейі бойынша ыстықтай илемделген жолақтарды алу мәселесіне көшуге мәжбүр етті [8]. Қазіргі уақытта бұл мәселе ХХ ғасырдың 90-жылдарының принципті тұрғыда жаңа техникалық әзірлемелердің негізінде шешімін тауып отыр. Технология мен құрал-жабдықты дамытудың жалпы әлемдік қарқыны барлық операциялардың үздіксіз болуын және үйлестіруін арттырудан құралады [8,10–30 б.]: болатты құюдан бастап дайын илемделген металл бұйымын алуға дейін.

Үрдістің үздіксіз болуын арттырудың алғашқы деңгейіне слябтың бастапқы салмағын арттырумен қол жеткізіледі және жартылай шексіз илемдеу (ЖШИ) ретінде топтастырылады [8, 10–30 б.]. Осы үрдісті іске асыруды құю-илемдеу агрегаттарында (ҚИА) жүргізген ең қолайлы болып табылады.

Үздіксіздіктің екінші немесе ең жоғары деңгейіне ыстықтай илемдеудің кең жолақты орнақтарының (ЫИКО) немесе ҚИА тікелей таза қапастары алдында илеуді пісірумен қол жеткізіледі [8,10–30 б.].

Бұл жағдайда үрдіс шексіз илемдеу (ШИ) ретінде топтастырылады. БИКО «шексіз илемдеу» термині [8,10–30 б.] орнақтың ауыспалы режімдердегі жұмыс ұзақтығын (жолақтың алдыңғы және соңғы ұштарын илемдеу) азайту жолымен таза қапастар топтарында жолақтарды илемдеу үрдісінің үздіксізділігі және тұрақтылығы деңгейін арттыруды білдіреді. Үрдістің шексіз илемдеу ретінде топтастырылатын деңгейге дейін үздіксіздік дәрежесін арттыру барлық жағдайларда таза қапастар тобына үздіксіз түсіп отыратын илемдеу салмағын арттыру және кейін орағыштарға жинақтаудың алдында жолақтарды кесу қамтамасыз етіледі.

1.2.1 Жұқа ыстықтай илемделген жолақтың нарықтық жағдайлары. Өнім түржиыны қатарын кеңейту қарқындылығы мен мақсаттары, жұқа ыстықтай илемделген жолақтар нарығы. Жұқа ыстықтай илемделген жолақтар түржиынын кеңейтудің негізгі мақсаты нарықтан суықтай илемделген жолақтарды ығыстырудан құралады, олардың шамамен 60 %-ын қалыңдығы 0,6–1,2 мм, жұмсақ, томен көміртекті болаттан өндіреді, ал 70 %-ы ені 900–1300 мм болады [9,10]. Қазіргі кезде қалыңдығы кемінде 1,5 мм жолақтар нарығына, негізінен, суықтай илемделген металмен қызмет көрсетіледі, алайда осындай жолақтар үлесінің ұдайы артып отыруы көп жағдайда олардың ыстық илемдеумен ауыстырылуына әкеп соқтырады [10,11]. 1995 жылдан бастап 2008 жыл аралығында ыстықтай илемделген жолақтарды тұтыну 48-ден 42 %-ға болжанған жалпы азаюына қарамастан, оларға деген сұраныс кемінде 2 мм қалыңдығымен артып отырады [12]. Жұқа ыстықтай илемделген жолақтардың мынадай жыл сайынғы өсімі болжанып отыр: АҚШ – 8,3 %; ЕЕ – 6,7 %; Жапония – 6,6 % [10]. Қалыңдығы кемінде 2 мм ыстықтай илемделген жолақтарды тұтынудың болжанған өсімі қалыңдығы 2–2,5 мм жолақтарға деген сұраныстың азаюымен ілесіп отыр [8]. Сонымен, қалыңдығы 1,2–1,99 мм жолақтарға деген сұраныс 1995 жылы 18 пайыздан 2008 жылы қалыңдығы 2–2,5 мм жолақтарға деген сұраныстың 82-ден 74-ке дейін азаюы барысында 20 пайызға дейін артады. [10, 56 б.]. АҚШ нарығына жеткізіліп отыратын, жұмсақ томен көміртекті болаттан жасалған суықтай илемделген жолақтардың 30–40 пайызын ыстықтай илемделген жолақтармен толық ауыстыруға болады деп есептеледі. Қалыңдығы 1–1,5 мм суықтай илемделген жолақтардың кейбір түрлері қазіргі кезде ыстықтай илемделген түріне ауысуы мүмкін деп есептеледі, мұнымен қоса қалыңдығы 1,3 және 1,5 мм жолақтар анағұрлым кең пайдаланылуы мүмкін деп пайымдайды.

Еуропада жақын 10–15 жыл ішінде осындай қалыңдығы бар суықтай илемделген жолақтарды 50 пайызға дейін ыстықтай илемделген жолаққа ауыстыру болжанып отырады.

Суықтай илемделген жолақтарды ыстықтай илемделген жолаққа ауыстыру мүмкіндігі көп жағдайда үстіңгі қабатының соңғы сапасымен анықталады [11]. Armco, АҚШ фирмаларының мәліметтері бойынша Менсфилдте Conroll қондырғысында шығарылатын ыстықтай илемделген жолақтардың үстіңгі қабаты Еуропалық орнақтардың *B* сыныбына сәйкес келеді, бұл оны автомобильдердің сыртқы бөліктерін әзірлеуге жарамды ретінде есептеуге мүмкіндік береді. Жұқа ыстықтай илемделген жолақтарды пайдаланудың жаңа саласын іздеудің мысалы Hylsa, Мексика фирмасының тәжірибесі болып табылады, бұл мұнай сыйымдылықтарын әзірлеуге арналған осындай жолақтарды шығарады. Суықтай илемделген жолақтарды ыстықтай илемделген жолақтарға ауыстырудың оң ерекшелігі мынадай, яғни ыстықтай илемделген жолақтың анағұрлым қатты үстіңгі қабаты лакпен сырлау жабыны үшін ең жақсы молекулярлы тартуды қамтамасыз етеді.

Жұқа ыстықтай илемделген жолақтарды тұтынуға қатысты басқа аудандар нарығына келетін болсақ [13,14], Индонезия мен Тайландта Kawasaki Steel фирмасының құбырларды әзірлеу үшін қалыңдығы 1 мм ыстықтай илемделген жолақтарды жеткізуді бастауын атап өту қажет.

1.2.2 Жұқа ыстықтай илемделген жолақтардың нарық талаптарын қанағаттандыруға қабілетгі өндірістік қуатын жалпы бағалау. Қалыңдығы кемінде 1,5 мм, ал бұрын 2 мм жолақтарды шығару үшін қуаттар АҚШ пен Еуропада ҚИА шоғырланған [15]. 1998 жылдың басына қарай АҚШ-та олар жылына 8,5 млн т құрады, ал Еуропада жылына 3 млн т құрады (фирмалар – ABC, Испания; Hoogowens, Нидерланды; Thyssen-Krupp Stahl, Германия; Arvedi Group, Италия), мұнымен қоса, тек Thyssen-Krupp Stahl фирмасы ғана ерекше жұқа ыстықтай илемделген жолақтардың жылына 1,2 млн т шығара алады.

Arvedi Group фирмасы жұқа ыстықтай илемделген жолақтарды еуропалық өндірушілер ішінде алғашқы болып олардың сапасын суықтай илемделген сапаға жақындату бағытында айқын қадамдар жасады [16], 1998 жылы ISP қондырғысынан түсіп отыратын жолақтар үшін түзулеу қапасы бар желіндіру тізбектерін құруға кірісті. Тізбек қалыңдығы 0,8–4 мм, ені 1330 мм 430 мың т жолақты жыл сайын өңдеуге арналған.

Жұқа ыстықтай илемделген жолақтарды жетекші шығарушы қазіргі уақытта Монтерреяда, Мексикада Hylsa фирмасының ҚИА болып табылады [17,18].

Қалыңдығы 0,91–2,05 мм жолақтар үлесі өндірістің жалпы көлемінің 53 пайызын құрайды, ал қалыңдығы 1–1,3 мм жолақтар өндіріс көлемінің 30 пайызын құрайды (айына шамамен 20 мың т) және қалыңдығы 0,91–1 мм жолақтар 10 пайызын құрайды. Қалыңдығы 0,91 мм ең төменгі қалыңдық деп белгіленген, оны осы агрегатта өндіруге экономикалық тұрғыдан пайдалы болады. Nylsa фирмасы жоғарыда келтірілген нәтижелерге аса жұқа жолақтарды илемдеу технологиясын бір жарым жыл игеруден кейін қол жеткізді.

Салыстыру ретінде көрсетілгендей, қалыңдығы 1–1,5 мм жолақтардың үлесі Кремонда Arvedi фирмасының зауытында 15–20 пайыздан аспайды, ал Франция, Tisco фирмасының аса жұқа жолақтарды илемдеуге мамандандырылған орнағында қалыңдығы кемінде 1,5 мм жолақтар үлесі салыстырылатын уақытша аралықтарда кемінде 5 пайызын құрайды [19]. Arvedi фирмасының тәжірибесі жаппай шығарудан гөрі, қалыңдығы 1 мм жолақтарды өндіру мүмкіндігін куәландырады. Бұдан басқа технология авторлары қалыңдығы кемінде 1 мм жолақтарды өндіру үрдістің үздіксізділігін, соның ішінде шексіз илемдеуді ұйымдастыру жолымен арттыруды талап ететінін атап өтеді.

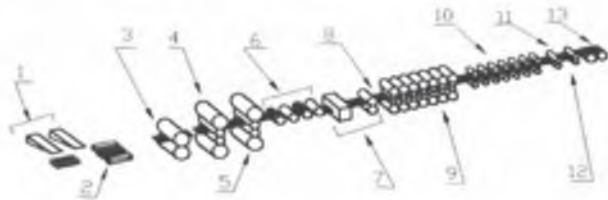
ШИ технологиясы базасында дәстүрлі ЫИКО жағдайларында ең жұқа жолақтарды өндіру алғаш рет Kawasaki Steel фирмасымен №3 орнағында Chiba ұйымдастырылды [20]. 1998 жылғы жағдай бойынша бұл технология өндірістің жалпы көлемінің 5-6 пайызына іске асырылады (жалпы өндіріс айына 250–450 мың т). Жакын арада жұқа және аса жұқа ыстықтай илемделген жолақтар нарығы Жапонияның Nippon Steel Oita және Sumimoto фирмаларының шексіз илемдеудің екі орнақ өнімімен толықтырылатыны айқын.

ШИ технологиясы аса жұқа жолақтар түржиынын біршама кеңейтті [9,17]. Қазіргі уақытта Kawasaki Steel (Chiba) фирмасының №3 орнағында 1,2×1600 және 1×1200 мм қиысу мөлшерімен, ал ҚИА – 1,2×1250 және 1×1100 мм жолақтарын алуға мүмкіндік бар. Шығарылатын өнім түржиындары бөлігінде ұқсас нәтижелеріне атап өтілген Tisco фирмасының орнағында қол жеткізілген [20], онда 1×1225 мм қиысу мөлшерімен жолақтар илемделген.

1.2.3 Жұқа жолақтарды игеруге және шексіз илемдеу үрдісін іске асыруға міндетті техникалық шешімдер. ШИ технологиясын аса жұқа ыстықтай илемделген жолақтарды тиімді өндіру құралы ретінде және мөлшерінде ғана емес, ал ЫИКО жұмысының сапасын болашақта түбегейлі арттырудың жалғыз мүмкіндігі ретінде көздеу қажет [21], онымен дәстүрлі өнімнің жаңа тұтыну қасиеттерін, өнімнің жаңа түрлерін және олардың бәсекелеске қабілетті өзіндік құнын алуды

түсіну қажет. Шексіз немесе жартылай шексіз илемдеу технологиясын әзірлеуге кірісу барысында оны шығарушылардың көп жылдық тәжірибесінен шығатын негізгі тұжырымдаманы түсіну және қабылдау маңызды. Тұжырымдама мәні шексіз және жартылай шексіз илемдеу тек қыздыру пешінен орауышка дейін созылатын толық автоматтандырылған орта пегізінде іске асырылу мүмкіндігінеп құралады. Ыстықтай илемдеудің толық автоматтандырылған тізбегі және негізгі технологиялық жабдықтың кешені шексіз үрдісті ұйымдастыру міндетіне жауап беретін өзінің мүмкіндіктері бойынша Kawasaki Steel (Chiba) фирмасының № 3 БИКО іске асырылған жаңа технологияның негізі ретінде қызмет атқарады.

Негізгі жабдыққа және іске асырылуы ШИ және ҚИА үрдісін әзірлеуден озуы қажет реттеу жүйелеріне қойылатын талаптарды көрсететін техникалық шешімдердің тізімі 1.1 кестеде келтірілген [22]. Кесте осы шешімдерді алғашқы кезде жұқа (қалыңдығы 0,8–1 мм) жолақтарды өндіруге арналған анағұрлым қазіргі заманғы БИКО және ҚИА іске асыру тәжірибесін талдау негізінде құрастырылған. Берілген кестелер шексіз илемделетін орнақтар мен агрегаттарды құруға арналған металлургиялық технология және жабдық саласында жұмыс істейтін жетекші еуропалық фирмалардың техникалық дайындығы туралы көрсетеді.



1 – пештер; 2 – слябтардың енін редуцирлеу баспағы; 3 – дуо реверсивті қапасы; 4 – кварто реверсивті қапасы; 5 – кварто қапасы; 6 - аралық қайта орау құралы (АҚОК); 7 – ұштарын кесу қайшысынан, илемдерді қосу мен пісіру машинасынан құралған пісіру бөлімі, шашырама алғыш; 8 – жиектерді қыздыру, илеу ұштарын кесу, қабыршықтарды жою бөлімдері; 9 – қапастардың таза тобы; 10 – жолақтарды суыту жүйесі; 11 – бөлу қайшалыраы; 12 – бағыттаушы (қысқыштар); 13 – орауыштар

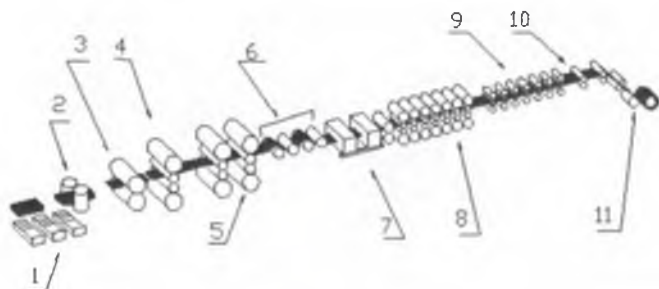
1.8-сурет – Kawasaki Steel фирмасының Chiba зауытында ШИ пайдаланумен БИКО негізгі жабдықты орналастыру сұлбасы



Шексіз илемдеу мәселесіне тұжырымдалған еуропалық тәсіл жапондық [13,23] тәсілден, ең алдымен, мынадай ерекшеленеді, яғни Еуропада шексіз илемдеудің техникалық нәтижесіне өнімнің біршама төмен озіндік құнымен ерекшеленетін құю-илемдеу агрегаттарының үздіксіз технологиясы базасында жеткілікті қымбат тұратын пісіру үрдісінсіз кол жеткізуге ұмтылады.

1.2.4 Шексіз илемдеу үрдісін іске асыруға арналған қолданыстағы жабдықтың сипаттамасы. Kawasaki Steel фирмасының технологиясы Chiba-да № 3 БИКО іске асырылды [37], ал Nippon Steel фирмасының технологиясы – Oita-да 1997–1998 жылдары БИКО іске асырылды[25,39]. Kawasaki Steel фирмасының жартылай таза илемді пісіру бөліміне күрделі салымдары таза қапастарға қашықты аппаратурамен бірге 12 млрд. иен құралы (~114 млн долл.), орнақтың жалпы құны 140 млрд. иен (~1330 млн долл.). Пісіру бөліміне күрделі салымдар орнақтың барлық құнының шамамен 10 %-ын құрайтынын атап өту қажет.

Sumitomo Metal фирмасы ШИ үшін жаңа жабдыкқа шамамен осындай салымдарды жасағанын атап өту қажет (12 млрд иен) [38]. Осы технологияны және Германия фирмасының технологиясын іске асыру деңгейі туралы ақпарат анықталған жоқ.



1 – пештер; 2 – тік қапас; 3 – № 1 дуо қапасы; 4 – № 2 кварто қапасы; 5 – № 3 және № 4 кварто қапасы; 6 – аралық қайта орау құралы (АҚОК); 7 – түйісу-пісіру машинасы; 8 – қапастардың таза тобы; 9 – ламинарлы суыту жүйесі; 10 – бөлу қайшылары; 11 – орауыштар

1.9-сурет – Nippon Steel фирмасының Oita зауытында ШИ пайдаланумен БИКО негізгі жабдықты орналастыру сұлбасы

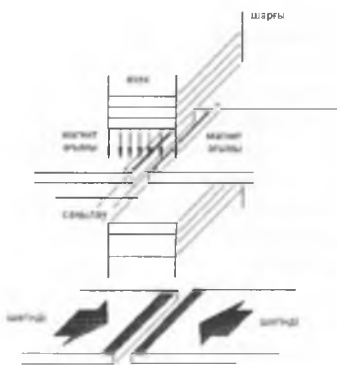
Chiba және Oita зауыттарында қолданыстағы екі БИКО жабдықтарын орналастыру сызбасы 1.8 және 1.9-суретте көрсетілген [8, 10–30 б.]. Chiba зауытында ШИ қолданумен БИКО пайдалану қорытындысы, технология және жабдық әдебиетте қатысты толық баяндалған [14,37,38]. Oita зауытында ШИ қолданумен БИКО технологиясы мен жабдығы туралы ақпарат мардымсыз және жолақтарды таза илемдеу алдында жайылымның қосылыстар ерекшеліктері мен операция жүйеліліктері туралы үлкейтіп көрсетуді ғана береді [38–40, 42, 43].

Пісіру технологиясы [33] (1.10 және 1.11-сурет): көлденең және тік жазықтарда жаюды орталықтандыру жүйесінен; қыздыру және тұндыру кезінде жартылай таза илем ұштарын ұстап тұратын қысқыштардан құралады. Пісіру технологиясына сәйкес алдыңғы жолақтың соңғы ұшы және кейінгі жолақтың алдыңғы ұшы алдымен кіші саңылаумен біріктіріледі және ауыспалы магнит жазығына салынады (1.11-сурет). Магнит жазығына салу кезінде индуцирленетін электр тоғы үстеме тиімділігі нәтижесінде ұшты қабаттар бойынша таңдап өтеді және оларды қыздырады. Қосу аймақтарын балқыту температурасына дейін қыздырғаннан кейін жартылай таза илем ұштарын илеуді біріктіре отыра, бір біріне қысып жаншиды. Тәжірибеде жартылай таза илем енінің 90 пайызына пісіру қосылысының бөліміндегі металл жолақтың негізгі бөлігінің металына ұқсас сипаттамаларға ие болады. Әр жағына ұзақтығы 50–70 мм артқы бөліктің жанындағы аймақтар ғана ерекшелік болып табылады [22].



1.10-сурет – Жолақтарды қосу үрдісінің сұлбасы (тік қиылыс)





1.1-сурет – Жолақтарды қосу үрдісі

Илемдеудің температуралық режімі мынаны анықтайтын негізгі сипаттамаға ие болады [8, 10–30 б.]: механикалық қасиеттер, шағын құрылымы, мөлшері мен нысанының дәлдігі бойынша дайын жолақтардың сапасы (таза қапастарда илемдеуді аяқтау температурасы); ығыстырып шығарылатын түржиын (таза қапастарда илемдеуді бастау температурасы); илемдеудің энергия сыйымдылығы (таза қапастарда илемдеудің температуралы диапазоны).

Әйтсе де, қалыңдығы 0,8–1,2 мм болатын ыстықтай илемделген, сапасы жағынан суықтай илемделген жолақтардан кем түспейтін, жолақтарды тұрақты түрде өндіру, тек шексіз немесе жартылай шексіз илемдеу технологиясының негізінде ғана мүмкін болады.

Құйма-илемдеу агрегатының негізінде шексіз немесе жартылай шексіз илемдеу технологиясы бойынша жұқа жолақтардың өндірісін ұйымдастыру экономикалық жағынан қолайлы болып табылады.

Ыстықтай илемделген жұқа жолақтардың өндірісінің бәсекеге қабілеттілігін арттыру металлургиялық кәсіпорындарда IF-болаттарды (ерекше күрделі созуға арналған болаттарды) өндіру технологиясын жасауды қажет етеді.

### 1.3 Жұқа болат жолақтарының өндірісіндегі ілгері дамуы

Жұқа слябтардан алынатын жолақтық илемдерді өндіретін алғашқы кішкентай зауытты іске қосқаннан кейін 20 жылдай уақыт өтті, ал күн тәртібінде жұқа жолақ құятын зауыт салу және одан нарықта едәуір үлкен келешегі бар тауарлық өнімді алу мәселесі пайда болды. Бұл әлемдік нарықтағы қатаң бәсекелестікке, қуат қорларын үнемдеу қажеттілігіне және металлургиялық өндіріске

қойылған экологиялық талаптардың артуына байланысты. Сондықтан металлургия мамандары жаңа үрдістерді жасауға үлкен қаражат жұмсауға мәжбүр болып отыр.

Жұқа жолақтардың құйма үрдісін жасауға байланысты жалпы жағдай [70] жұмысында қарастырылған. Өткен ғасырдың 80-ші жылдарының екінші жартысында құю кезінде тікелей жұқа болат жолақтарын алуға қызығушылық қатгы өсті, бұл соңында осы идеяны іске асыру бойынша тәжірибелік-өнеркәсіптік жұмыстарды қарқындандыруға әкелді. Мәселені шешу бойынша көптеген елдерде (Германия, Франция, Италия, Австрия, Жапония, Австралия, Швеция, Ресей және т.б.) шамамен 25–30 мамандар тобы жұмыс жасады. Шамамен 20 тәжірибелі қондырғы жасап шығарылды. Қондырғылардың құрылымдарында едәуір айырмашылықтар болды. Солардың арасында бірдей және әртүрлі диаметрлі біліктері бар қос білікті, жалғыз білікті және таспалы қондырғылар болды. Бірақ жасаушылардың біраз бөлігі ғана оң нәтижеге қол жеткізе алды. Бұл туралы 1999 жылдан кейін, Австралияда, Еуропада және Жапонияда тәжірибелік және тәжірибелік-өнеркәсіптік жұмыстар аяқталған кезде сенімділікпен айта бастады. Қазіргі уақытта жұқа құйылған жолақтарды алу үрдісін өнеркәсіптік салада іске асыру үміті қос білікті машиналарға байланысты, оларда сұйық болат біліктердің арасындағы саңылауға тігінен жоғарыдан төменге қарай құйылады. Төменде қара металлургияның дамуындағы жаңа сатыны ашатын аса сәтті шыққан еңбектер қаралған.

Бір мәселені шешу бойынша окшауланған күйде көптеген фирмалардың жұмыс істеген жағдайы [72] қаржылық және зияткерлік қорлардың текке кетуіне әкеп соқты, сондықтан да 1990 жылдан кейін жұмысты қайта ұйымдастыру мақсаты көзделді. 1995 жылы VAI фирмасы Тернидегі AST фирмасының зауытында орналасқан қондырғымен жұмыс істеуге тартылды. 1998 жылдың соңында KTN (Германия), VAI және AST фирмалары Крефельдте (Германия) жегідеге төзімді болатты құюға арналған жаңа тәжірибелік-өнеркәсіптік қондырғыны салу туралы шешім қабылдады. Тернидегі қондырғыда көміртекті және электртехникалық болаттарды құю технологиясы пайдаланылды.

1999 жылы [73] TKS (Германия), Usinor және VAI фирмалары серіктесе отырып, Eurostrip жолағын құю технологиясын жасайтын Еуропалық бірлестік құрды. 1988 жылы австралиялық ВНР фирмасы мен жапондық ІНІ фирмасы ені 600 мм болатын жолақты құюға және оны массасы 5т [74] болатын орамға орауға арналған тәжірибелі қондырғыны сала отырып, бірлескен жұмысын бастады.

Алдымен, жегідеге төзімді болатты құю технологиясын пайдаланды. 1990 жылға қарай қасиеті жағынан орнактарттардың талаптарына сәйкес келетін металл алынды. Одан кейін, көміртекті болаттарды құю жұмыстарын бастады, бұл аса күрделі міндет болды. Бұл жағдай Eurostrip жобасын орындау кезінде де байқалды. 1993 жылдың маусым айына қарай қалыңдығы 2 мм ені 1300 мм болатын салмағы 5т орамдағы көміртекті болаттан жасалған жолақ өндірілді. Алынған жолақ өңделді, суықтай илемдеу орнағында илектелді, мырышталды және одан бүгілген пішіндер жасалды. Алынған оң нәтижелерге байланысты 1993 жылы жариялық қондырғыны салу шешімі қабылданды. Бұл қондырғы өз жұмысын 1995 жылғы ақпан айында бастады. Онда салмағы 25т болатын орамдарға 60-т шөміштен болатты құю жүзеге асырылды. 2,5×1345 мм өлшемді жолақтың сапасы нарық талаптарын қанағаттандырды. Құюдың тізбекті жылдамдығы 80м/минутқа дейін жетті, жолақтың қалыңдығы бойынша илемделген қапастағы максималды деформация дәрежесі 50 %. Қондырғы 1990 жылдың соңына дейін жұмыс істеді. Осыдан кейін оны тоқтату туралы шешім қабылданды, себебі қондырғының техникалық қоры толығымен іске асырылды, қойылған міндеттер орындалды.

Құрамында Salzgitter AG, TKS, Mannesmann Demag (Германия), «Клаусталь» Техникалық университеті және Mefos (Швеция) фирмасы қатысқан Консорциум DSC (Direct Strip Casting – жұқа жолақтарды тікелей құю) [75] амалын жасақтаумен айналысады. Сұйық болат таспалық типтегі ДҮҚМ-де қатады. Таспа су себу арқылы салқындатылады да, ыдырап тіреуіш аунақшаларға қысылады. Ыстық жолақтың үстіңгі және астыңғы беттерінде қату жылдамдығы біркелкі болмағандықтан бірдей қатпайды, солай бола тұра бірыңғай технологиялық тізбекте бірлесе илемделгеннен кейін материалдың изотроптық қасиетіне қол жеткізіледі.

Клаустальдегі қондырғыда технологиялық тізбекте орағыштың алдында бір қапастағы бірлескен илемдеуді орындауға болады. Бұл бағыттағы еңбектер тәжірибелік сатыда қалып қойды.

Өнеркәсіптік сыныптағы немесе оған жуықтайтын жұқа жолақты құю қондырғыларының негізгі сипаттары [76] еңбегінде қарастырылған. Крефельдтегі (Германия) қондырғы цехта салынған, оның құрамында доғалы болат балқытатын пеш, конвертер және слябты ДҮҚМ бар (1.12-сурет). Зауытта слябтарды ыстықтай илемдейтін орнақ жоқ, сондықтан да қондырғыны салуда ғылыми және инженерлік мүдделен басқа іс жүзіндегі мақсат та болды – суықтай илемдеу орнағын меншік жартылай таза илеммен қамтамасыз ету.



1.12-сурет – Крефельдтегі жұқа жолақ құятын қондырғының жабдығының орналасу сызбасы

1.1-кесте – Қондырғының техникалық сипаттары

Параметрлер	Жартылай өнеркәсіптік қондырғы	Өнеркәсіптік қондырғы
Кристалдағыш біліктің диаметрі, мм	1500	1500
Құю жылдамдығы, м/мин	60–150	60–150
Жолақ қалыңдығы, мм	1,5–4,5	1,5–4,5
Жолақ ені, мм	1100–1450	1100–1450
Кезектілігі × шөміш сыйымдылығы, т	1×90	3×90
Аралық шөміштің сыйымдылығы, т	18	18
Ағымда илемдеу	Қапас 2001 ж. мамыр айында орнатылған	бар
ДУҚМ өнімділігі, мың. т/жыл	100	400

Негізгі техникалық сипаттары 1.1-кестеде көрсетілген қондырғы 10 ай ішінде және шартқа қол қойылғаннан кейін 12 айдан кейін салынған. Тернидегі зауыттағы қондырғы көбінесе көміртекті және кремний текті болаттардан жолақтарды үздіксіз құю үшін пайдаланылған, содан кейін ол [77] түрлендірілді. Түрлендіру кезінде қондырғының технологиялық тізбегіне жаншу қапасы ішіне орнатылды (VAI фирмасы жасаған, Еуропадағы, соның ішінде Тернидегі, тәжірибелік және өнеркәсіптік тәжірибелік қондырғыларға арналған жабдық).

## 2 Үздіксіз илемдеу орнағында жұқа жолақтарды ыстықтай илемдеу кезінде кернеулі-деформация күйін талдау

Қазіргі кезде, дәстүрлі ірі металлургиялық кәсіпорындармен қатар, шағын зауыттар пайда бола бастады [1,7]. Осы шағын зауыттарда үздіксіз құю мен илемдеу үрдістерін қатар қолдануды тек олардың өнімділігін келістіру тұрғысынан ғана емес, сонымен бірге, сапалы илем алу тұрғысынан да қарастыру керек. Бұл үздіксіз құйылған дайындамалардың беткі және ішкі ақауларының болуымен байланысты. Осыған байланысты, құйма-илем модулінің құрамына кіретін және үздіксіз құйылған дайындамаларды деформациялауға арналған агрегаттар сапалы илемді алуды және илемдеудің аз энергиякүштік параметрлерінде жарамды өнім шығаруды арттыруды қамтамасыз етуі керек. Құйма-илем модуліне арналған агрегаттардың параметрлерін және шекіз құйылған дайындамаларды деформациялаудың режимдерін аса негізді таңдау үшін жаңа агрегаттар мен деформация тәсілдерін теориялық және тәжірибелік зерттеулер жүргізу қажет.

Көп жағдайда үлкен кимасы бар дайындаманы қолдану арқылы қол жеткізілетін кермеулеу коэффициентін арттыру жолымен илем сапасын арттыруға болады. Бірақ, бұл үздіксіз құйылған дайындамадан алынған пішінді өндіру технологиясының бірқатар елеулі кемшіліктері бар, бұл кемшіліктер оны өндірісте пайдалануға мүмкіндік бермейді. Мұндай кемшіліктерге мыналар жатады [7]:

- көлемі 600×430мм астам кимасы бар дайындаманы құйып алу кезінде дайындаманы үздіксіз құю машинасының (ДУҚМ) көлемі мен құнының бірден артуы;

- қолданыстағы әдістемелік пештерде қалыңдығы 430мм асатын дайындамаларды қыздырудың қиындығы;

- басқа қапастарға қарағанда, жаншу қапасында дайындаманы ұзақ уақыт бойы илемдеу салдарынан орнақтың өнімділігінің төмендеуі.

Илемдеу орнағын жоғарғы кима дайындамасын әзірлеу жұмысына көшіру қосымша қапастарды орнату үшін қосымша өндіріс аумақтарын қажет етеді.

Осы мәселені шешудің бір нұсқасы ретінде, дайындаманы үздіксіз құю машинасын илемдеу орнақтарымен тікелей қатар қолдану кезінде байланыстырушы ретінде қатты жаншитын агрегаттарды қолдануды қарастырған жөн [7]. Бұл агрегаттардың көлемі шағын әрі бірқатар илемдеуші қапастардың орнын ауыстырады. Мұндай кешендерді құру өндірістік аумақтарды

қысқартуға, күрделі және пайдалдану шығындарын азайтуға, металдың, қуаттың шығынын едәуір төмендетуге, еңбекгін өнімділігі мен өнімнің сапасын арттыруға мүмкіндік береді. Осылайша, қазіргі кезде салыстырмалы гүрде шағын қаражат салымын қажет ететін және қайта жасау шығындарын төмендетуге мүмкіндік беретін жаңа қатты жаншу агрегаттары жасалып жатыр.

Екінші, азды-көпті келешегі бар нұсқа, ол құйма-илем модулінің құрамында пішіні мен өлшемі жағынан дайын бұйымға жақын, үздіксіз құйылған дайындамаларды алуға мүмкіндік беретін жаңа ДҮҚМ-ды, сондай-ақ аз қуат жұмсап жұқа табақ илемін илемдеуге мүмкіндік беретін жаңа орнақтарды қолдану болып табылады [58]. Осыған байланысты құйма-илем модулінің жабдығының құрылымын, құрамын негіздеу және қаражат шығынын төмендету, қорды үнемдейтін аз шығынды технологияны ендіру, илем сапасын арттыру мақсатында үздіксіз құйылған дайындаманың тиімді қимасын таңдап алу айқырша маңызды.

Қолданыстағы технология бойынша табақты болаттарды өндіру және жұқа слябты табақты илемдеу кезіндегі нәтижелерді салыстыру барысында әдепкі қалыңдықтағы слябтарды илемдеуге қарағанда, жұқа слябтарды илемдеу кезінде түйіршіктің көлемі әлдеқайда кіші болатындығы белгілі болды. Илемдеу кезінде дайындаманы шығару температурасының төмендеуімен байланыстырылған аса ұсақ түйіршікті құрылым соңғы өнімде де сақталады, осының арқасында уақытша кедергілердің аққыштық шегінің тұрақты көрсеткіштеріне қол жеткізіледі.

Тек жұқа слябта ғана, шағын бастапқы қалыңдығының арқасында, шығару температурасы төмен болады, оның көмегімен илемдеу кезінде қалың табақтың ең жақсы илемділік қасиеттеріне қол жеткізуге болады.

Осылайша, жұқа слябты технология шағын энергиякүштік параметрлері бар орнақтарда илемдеумен үйлесе отырып, қаражат шығындары мен қайта жасау шығындарын төмендетуге, сонымен бірге, дайын өнім материалының қасиетін жақсартуға мүмкіндік береді.

Алынатын табақтардың өнімділігі мен сапасын арттыру, сондай-ақ энергиякүштік параметрлерін төмендету мақсатында біз болаттан және қорытпалардан алынған жұқа жолақтарды илемдеуге арналған жаңа құрылымды орнақты ұсынамыз. Осы тарауда жаңа орнақта илемдеудің энергиякүштік параметрлерін есептеу жүргізіледі.



## 2.1 Болаттан және қорытпалардан алынған жұқа жолақтарды ыстықтай илемдеуге арналған жана құрылымды орнақ

Болаттан және қорытпалардан алынған жолақтарды илемдеуге арналған жана үздіксіз орнақтың құрамына мынандай жабдықтар кіреді: жұмыс қапастары, әмбебап айналдырық, электрқозғалтқыштар, тістегерішті қапастар, конусты тістегеріштері бар бәсеңдеткіш, қозғалтқышты жалғастырғыш, түбір жалғастырғыш, айналдырықты серіппелі теңгеретін құрылғылар, жетегі жоқ тіреуші пішінбіліктер, жетегі бар жұмысшы пішінбіліктер, тұғыр, тіреуіш такта, тұғырды бекітетін бұрандамалар (2.1-сурет). Сонымен бірге, айнымалы токпен жұмыс істейтін бір қозғалтқыштан жетек алатын қапастарда тұрақты диаметрлері бар жұмыс және тіреуіш пішінбіліктер орнатылған. Бұл жерде, кезектесіп орналасқан қапастардағы жұмыс пішінбіліктерінің диаметрі илемдеу бағытына қарай кішірейіп, ал тіреуіш пішінбіліктердің диаметрі ұлғаятындығын атап өту қажет. Сәйкесті қапастағы жұмыс және тіреуіш пішінбіліктердің диаметрлері мынандай формуламен анықталады:

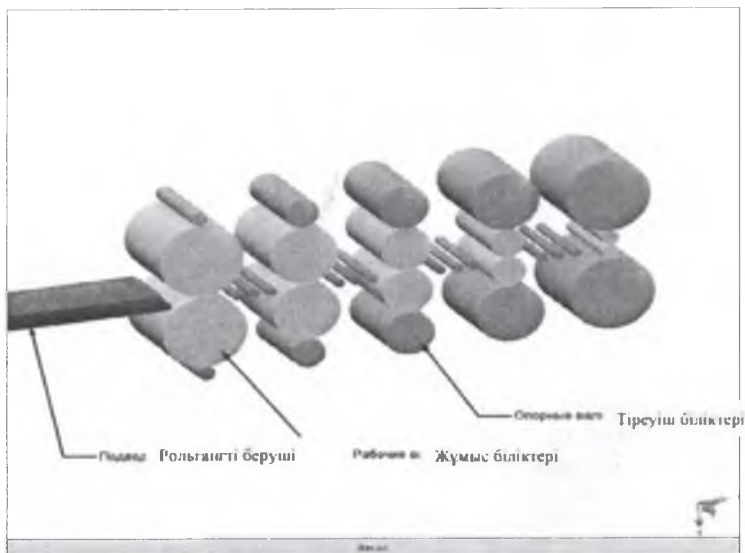
$$D_i = \frac{F_i \cdot D_{\rho_i} \cdot n_i}{F_j \cdot n_j}; \quad D_i = \frac{F_i \cdot D_{\rho_i} \cdot n_i}{F_j \cdot n_j}, \quad (i = 1, 2, \dots, N, j = N, \dots, 2, 1)$$

мұндағы  $F_i$  – тиісті қапаста илемделіп жатқан жолақтың көлденен қимасының ауданы;

$n$  – пішінбіліктердің айналу жылдамдығы;  $N$  – қапастың реттік нөмірі.

Болаттан және қорытпалардан жасалған жолақтарды үздіксіз орнақта илемдеу мынадай әдіспен жүзеге асырылады. Жұқа слябтар қыздыру үшін пешке келіп түседі, содан кейін рольгангпен ұсынылып отырған орнақтың бірінші қапасына жіберіледі. Жұқа сляб илемдеу бағытына қарай бірінен кейін бірі орналасқан қапастар арқылы жылжыған кезде жолақтың биіктігі төмендеп, талап етілетін қалыңдыққа дейін жетеді.

Ақаусыз деформациялануды және белгілі бір қорытпадан технологиялық және пайдалану қасиеттері аса жоғары жолақ алуды қамтамасыз ететін илемдеудің технологиялық режимдерін әзірлеу инженерлік тәжірибе үшін илемдеудің технологиялық параметрлерінің кернеу-деформация күйіне (КДК) әсері туралы дәлірек мәлімет алумен қатар жүреді.



2.1-сурет – Жұқа жолақтарды илемдеуге арналған үздіксіз орнақтың жалпы түрі

Бұл міндеттің табысты шешімі, ең алдымен, материалдық нүкте қозғалысының траекториясы бойындағы кернеу мен деформация тензорының сыңарларын дәл анықталуына байланысты.

Осы диссертациялық жұмыста кернеу мен деформация тензорының сыңарларын анықтау үшін қатты деформацияланатын дененің шекті элементтерінің теориялық әдісі қолданылды.

## 2.2 Кернеулі-деформация күйінің көлемдік есебін шекті-элементтік тәсілмен үлгілеу

Деформацияланатын дененің ҚДК-ін анықтау үшін бөлшектің қозғалу траекториясын, әр нүктедегі ығысу деформациясының қарқынын және кернеулі күй көрсеткіштерін анықтап алу керек. ҚДК кернеу тензорының алты сыңарымен, деформация тензорының алты сыңарымен және ағым жылдамдығы векторының үш сыңарымен сипатталады [99].

Серпімді илемділік міндеттеріне арналған көлемді мәселелерді шешу үшін массаны, импульсті және қуатты сақтау заңдарының себебі болып табылатын теңдеулер жүйесі пайдаланылады.

Координаталардың декарт жүйесіндегі тензорлық формадағы негізгі теңдеулердің түрлері [100,101]:

деформацияның үзілмеу теңдеуі,

$$\dot{x}_i = v_i \quad (2.1)$$

тұрақты көлем шарты бойынша,

$$V_0 \rho_0 = V \rho \quad (2.2)$$

козғалыс теңдеуі,

$$\rho \dot{v}_i = \sigma_{ij} \quad (2.3)$$

қуат теңдеуі,

$$\rho \dot{e} = \sigma_{ij} \dot{\epsilon}_{ij} \quad (2.4)$$

кернеу тензорының сынары

$$\sigma_{ij} = -\delta p + s_{ij} \quad (2.5)$$

мұндағы  $p$  функция ретінде анықталады  $p = p(\rho, e)$ .

Қатты дененің серпімді илемділік ағуын суреттеу үшін Мизестің акқышты шарты бойынша Прандтль – Рейс формасындағы физикалық арақатынасты қолданайық [100,101]:

$$\dot{s}_0 + \lambda s_0 = 2\mu \left( \dot{\epsilon}_0 - \frac{\dot{\epsilon}_0 \delta_0}{3} \right), \quad (2.6)$$

мұндағы мән  $\lambda = 0$  – деформация серпімді, ал  $\lambda > 0$  деформация илемді.

Теңдеулерде (2.1–2.6):  $\dot{x}_i$  – материалдық бөліктердің координаталары;  $v_i$  – жылдамдық векторының сынарлары;  $V$  – көлемі;  $\rho$  – тығыздылық;  $\sigma_{ij}$ ,  $s_{ij}$ ,  $\dot{\epsilon}_{ij}$  – кернеу тензорларының, кернеу девиаторының және деформация жылдамдығы тензорларының

сыңарлары;  $p$  – қысым;  $\delta_y$  – Кронекер таңбасы;  $\mu$  – ығысу модулі;  $e$  – ішкі меншікті қуаты; индекстердің әрқайсысы  $i, j$  кезекпен 1, 2, 3 мәндеріне ие болады. Айнымалы мәннің үстіндегі нүкте уақыт бойынша туынды мәнді білдіреді. ал олардың индекстерінің арасындағы үтір тиісті кеністік айнымалы мәнінің туындысын көрсетеді.

Кернеу тензоры девиаторының сыңарларынан алынған уақыт бойынша туынды  $\dot{s}$  есептеу материалдық бөлшек траекториясының бойымен Яуман туындысын есепке ала отырып жүргізіледі, яғни, кернеуді аққыштық шеңберіне келтіру. Яуман уақыты бойынша туындысы дене элементінің бұрылысын координаталардың бастапқы жүйесіне қатысты қатты бүтін ретіште ескертуге мүмкіндік береді.

Теңдеулер шешімін жүзеге асыру үшін (2.1–2.6) шекті элементтер әдісі пайдаланылады. Әдістің негізіне нысанды шекті элементтер деп аталатын элементарлы кішкентай бөліктерге бөлу жатады. Көлемдік үлгілеу үшін шекті элементтің геометриялық пішіні тетраэдрдің қалпын береді, 2.2-сурет.

$n$ -дік тетраэдрдің түзілімдік орын ауыстыру векторында 12 сыңар бар, олардағы әр түзілімде  $i, j, k, l$  3 ( $u_x, u_y, u_z$ ) компоненттен бар. Тетраэдрдің ішіндегі  $\varphi$  орын ауыстыруы сызықты полиномдармен жуықталады:

$$\varphi = \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y + \alpha_4 z, \quad (2.7)$$

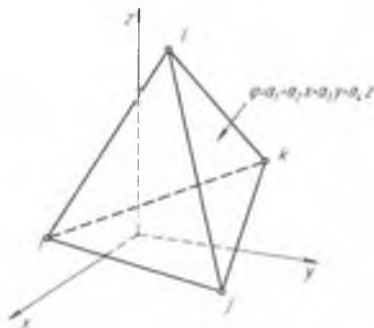
мұндағы  $\alpha_1 \dots \alpha_4$  коэффициенттері жалпы тәуелділіктен алынған төрт теңдеудің жүйесінен  $\varphi$  -ның орнын ауыстыру үшін, оларға түзілімдердің координаталарын және оларға сәйкес келетін түзілімдік орын ауыстыруларды алмастыру арқылы анықталады

$$\left. \begin{aligned} \varphi_i &= \alpha_1 + \alpha_2 x_i + \alpha_3 y_i + \alpha_4 z_i \\ \varphi_j &= \alpha_1 + \alpha_2 x_j + \alpha_3 y_j + \alpha_4 z_j \\ \varphi_k &= \alpha_1 + \alpha_2 x_k + \alpha_3 y_k + \alpha_4 z_k \\ \varphi_l &= \alpha_1 + \alpha_2 x_l + \alpha_3 y_l + \alpha_4 z_l \end{aligned} \right\} \quad (2.8)$$

$$\varphi = N_i \varphi_i + N_j \varphi_j + N_k \varphi_k + N_l \varphi_l = [N] \cdot \{\varphi\} \quad (2.9)$$

мұндағы  $\{\varphi\} = \begin{Bmatrix} \varphi_i \\ \varphi_j \\ \varphi_k \\ \varphi_l \end{Bmatrix}$  – түзілімдік орын ауыстырулар векторы;

$[N] = [N_i N_j N_k N_l]$  – пішін функцияларының матрицасы, мұндағы



2.2-сурет – Үш өлшемді шекті элементтер

Матрица түрінде теңдеу жүйесі былайша жазылады:

$$N_\rho = \frac{1}{6V} (a_\rho + b_\rho x + c_\rho y + d_\rho z) \quad (\rho = i, j, k, l), \quad (2.10)$$

$a_\rho, b_\rho, c_\rho, d_\rho$  коэффициенттері – түзілімдердің координаталары арқылы анықталады

$$a_i = \begin{vmatrix} x_j & y_j & z_j \\ x_k & y_k & z_k \\ x_l & y_l & z_l \end{vmatrix}, \quad b_i = - \begin{vmatrix} 1 & y_j & z_j \\ 1 & y_k & z_k \\ 1 & y_l & z_l \end{vmatrix}, \quad c_i = \begin{vmatrix} 1 & x_j & z_j \\ 1 & x_k & z_k \\ 1 & x_l & z_l \end{vmatrix},$$

$$d_i = - \begin{vmatrix} 1 & x_j & y_j \\ 1 & x_k & y_k \\ 1 & x_l & y_l \end{vmatrix}.$$

Қалған коэффициенттер индекстердің циклдік орын ауыстыруы арқылы алынады;

$$V = \frac{1}{6} \begin{vmatrix} 1 & x_i & y_i & z_i \\ 1 & x_j & y_j & z_j \\ 1 & x_k & y_k & z_k \\ 1 & x_l & y_l & z_l \end{vmatrix} - ijkl \text{ тетраэдр көлемі.}$$

$\varphi = [N] \{ \rho \}$  болса, онда  $n$ -ді тетраэдрдің түзілімдік орын ауыстыруларының толық өсімше векторының түрі мынадай болады:

$$\{ \Delta U \} = \begin{Bmatrix} \Delta U_x \\ \Delta U_y \\ \Delta U_z \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} N_i & 0 & 0 & N_j & 0 & 0 & N_k & 0 & 0 & N_l & 0 & 0 \\ 0 & N_i & 0 & 0 & N_j & 0 & 0 & N_k & 0 & 0 & N_l & 0 \\ 0 & 0 & N_i & 0 & 0 & N_j & 0 & 0 & N_k & 0 & 0 & N_l \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta U_x \\ \Delta U_y \\ \Delta U_z \\ \Delta U_x \\ \Delta U_y \\ \Delta U_z \\ \Delta U_x \\ \Delta U_y \\ \Delta U_z \\ \Delta U_x \\ \Delta U_y \\ \Delta U_z \end{Bmatrix} \quad (2.11)$$

$n$ -ді тетраэдрдің деформация өсімшесінің векторының түрі мындай:

$$\{ \Delta \varepsilon \} = [B] \{ \Delta U \} \quad (2.12)$$

мұндағы матрица  $[B]$  алдыңғы өрнекті кеңістікті координаталар бойынша және  $N_p$  ескере отырып дифференциялау арқылы алынған

$$[B] = \frac{1}{6V} \begin{bmatrix} b_i & 0 & 0 & b_j & 0 & 0 & b_k & 0 & 0 & b_l & 0 & 0 \\ 0 & c_i & 0 & 0 & c_j & 0 & 0 & c_k & 0 & 0 & c_l & 0 \\ 0 & 0 & d_i & 0 & 0 & d_j & 0 & 0 & d_k & 0 & 0 & d_l \\ c_i & b_i & 0 & c_j & b_j & 0 & c_k & b_k & 0 & c_l & b_l & 0 \\ d_i & 0 & b_i & d_j & 0 & b_j & d_k & 0 & b_k & d_l & 0 & b_l \\ 0 & d_i & c_i & 0 & d_j & c_j & 0 & d_k & c_k & 0 & d_l & c_l \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

$n$ -ді элементтің кернеуі мен деформациясын өсімшелеу векторы арақатынасқа байланысты.

Жоғарғы өрнек – бұл Гук заңы. төменгісі – илемді деформация кезінде нығайтуды көрсетеді.

Түзілімдік орын ауыстыру өсімшелерінің толық векторын біле отырып, әрбір элементтің деформация және кернеу өсімшелері анықталады. Әрбір элементтің ағымдағы деформация және кернеу мәні жүктеудің  $q$ -ші қадамында былайша анықталады:

$$\begin{cases} \{\varepsilon\}_q = \{\varepsilon\}_{q-1} + \{\Delta\varepsilon\}_q, \\ \{\sigma\}_q = \{\sigma\}_{q-1} + \{\Delta\sigma\}_q. \end{cases} \quad (2.15)$$

Басты деформацияның үш мәні  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$ , және  $\varepsilon_3$  деформация векторының сыңарларымен анықталатын кубтық теңдеудің түбірі болып табылады:

$$\begin{vmatrix} \varepsilon_x - \varepsilon_0 & 0,5\varepsilon_{xy} & 0,5\varepsilon_{xz} \\ 0,5\varepsilon_{xy} & \varepsilon_y - \varepsilon_0 & 0,5\varepsilon_{yz} \\ 0,5\varepsilon_{xz} & 0,5\varepsilon_{yz} & \varepsilon_z - \varepsilon_0 \end{vmatrix} = 0. \quad (2.16)$$

Басты деформациялар келесі рет бойынша орналасқан:  $\varepsilon_1$  ең үлкен оң деформация болып табылады, ал  $\varepsilon_3$  – ең үлкен теріс деформация.

Деформацияның қарқындылығы  $\varepsilon_{\text{инт}}$  үш түрлі басты деформациялардың ең үлкенінің абсолюттік шамасы болып табылады:

$$\varepsilon_{\text{инт}} = \text{MAX} (|\varepsilon_1 - \varepsilon_2| \cdot |\varepsilon_2 - \varepsilon_3| \cdot |\varepsilon_3 - \varepsilon_1|). \quad (2.17)$$

Мизес деформациясы немесе эквиваленті деформация  $\varepsilon_{\text{эв}}$  келесі формула бойынша есептеледі:

$$\varepsilon_{\text{эв}} = \sqrt{2/3} \sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_1 - \varepsilon_3)^2}. \quad (2.18)$$

Басты кернеулердің үш мәні  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ , және  $\sigma_3$  кернеу векторының сыңарларымен анықталатын кубтық теңдеудің түбірі болып табылады:

$$\begin{vmatrix} \sigma_x - \sigma_y & 0,5\sigma_y & 0,5\sigma_x \\ 0,5\sigma_y & \sigma_y - \sigma_z & 0,5\sigma_z \\ 0,5\sigma_x & 0,5\sigma_z & \sigma_z - \sigma_x \end{vmatrix} = 0. \quad (2.19)$$

Басты деформациялар келесі рет бойынша орналасқан:  $\sigma_1$  ең үлкен оң деформация болып табылады, ал  $\sigma_3$  – ең үлкен теріс деформация.

Деформацияның қарқындылығы  $\sigma_{\text{инт}}$  үш түрлі басты деформациялардың ең үлкенінің абсолюттік шамасы болып табылады:

$$\sigma_{\text{инт}} = \text{MAX} (|\sigma_1 - \sigma_2| \cdot |\sigma_2 - \sigma_3| \cdot |\sigma_3 - \sigma_1|). \quad (2.20)$$

Мизес кернеуі немесе эквивалентті кернеу  $\sigma_{\text{экив}}$  келесі формула бойынша есептеледі:

$$\sigma_{\text{экив}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}. \quad (2.21)$$

Эквивалентті кернеулер эквивалентті деформациялармен келесі арақатынас бойынша байланысқан:

$$\sigma_{\text{экив}} = 2\varepsilon_{\text{экив}} \cdot G, \quad (2.22)$$

мұндағы  $G = E / (2 \cdot (1 + \nu))$  – ығысу модулі;

$E$  – Юнга модулі;

$\nu$  – Пуассон коэффициенті.

Материалдың серпімді қасиеттерінің болжамында есептелген эквивалентті кернеу аққыштық шегінен асып кеткен жағдайда илемді деформация пайда болады. Бұл кезде кернеулер бастапқы аққыштық жағдайын қанағаттандыратындай етіп азаяды (2.6), мұндай жағдайда илемді деформацияның өсімшесін, ауыспалы кернеулердің, деформациялардың түзілімін және Эйлердің кері сұлбасының негізінде аққыштық бетіне ішкі айнымалы мәндерді пайдалана отырып, анықтау қиын болмайды.

Уақыт бойынша шешімнің алғашқы қадамында ағымдағы температурадағы аққыштық кернеу  $\sigma_y$  анықталады. Одан кейін сынамалық деформациялардың мәндері негізінде кернеулер анықталады  $\{\varepsilon^{\text{ср}}\}$ , олар алдыңғы уақыт моментінде алынған илемді деформацияны есептемегенде, жалпы деформация болып табылады:



$$\{\Delta\sigma^{np}\} = [D]\{\varepsilon^{np}\} \quad (2.23)$$

Төңдөу бойынша әрі қарай (2.21) эквивалентті кернеу  $\sigma_{эқв}$  орналасқан. Егер  $\sigma_{эқв} < \sigma_y$  жағдайы орындалса, онда материал серпімді болып қалады және илемді деформацияның өсімшелері айқындалмайды.

Аққыштық шегінен эквивалентті кернеу артқан кезде келістіруші (илемділік) көбейткіш  $\lambda$  Ньютон-Рафсонның жекелеген итерациялық процедурасы арқылы анықталады:

$$\lambda = \frac{\left\{ \frac{\partial F}{\partial \sigma} \right\} \cdot [M] \cdot [D] \cdot \{\Delta \varepsilon\}}{-\left\{ \frac{\partial F}{\partial \sigma} \right\} \cdot \{\sigma\}^T \cdot [M] \cdot \left\{ \frac{\partial Q}{\partial \sigma} \right\} - C \cdot \left\{ \frac{\partial F}{\partial \alpha} \right\}^T \cdot [M] \cdot \left\{ \frac{\partial Q}{\partial \sigma} \right\} + \left\{ \frac{\partial F}{\partial \alpha} \right\}^T \cdot [M] \cdot [D] \cdot \left\{ \frac{\partial Q}{\partial \sigma} \right\}}, \quad (2.24)$$

мұндағы  $F$  – аққыштық критерийі;

$Q$  – илемді деформациялардың бағытын анықтайды;

$\alpha$  – аққыштық бетінің жылжуы;

$C$  – материалдың параметрі, трансляциялық көбейткіші;

$[M]$  – келісу матрицасы;

$T$  – матрицаны тасымалдау белгісі.

Илемді деформацияның өсімше векторын анықтаймыз:

$$\{\varepsilon^{ir}\} = \lambda \left\{ \frac{\partial Q}{\partial \sigma} \right\}. \quad (2.25)$$

Ағымдағы илемді деформация векторының түрін өзгертеміз:

$$\{\varepsilon^{nl}\}^n = \{\varepsilon^{nl}\}^{n-1} + \{\Delta\varepsilon^{nl}\} \quad (2.26)$$

және серпімді деформацияны анықтаймыз,

$$\{\varepsilon^{ypp}\} = \{\varepsilon^{np}\}^n - \{\Delta\varepsilon^{nl}\}. \quad (2.27)$$

Одан кейін формула бойынша (2.14) серпімді кернеулер векторын  $\{\Delta\sigma^{ypp}\}^n$  анықтаймыз және илемділік жұмыстың өсімшесін анықтаймыз:

$$\Delta\chi = \{\sigma^{ypp}\}^n \cdot [M] \cdot \{\Delta\varepsilon^{nl}\}. \quad (2.28)$$

Аққыштық бетінің ортасының орналасуын анықтаймыз:

$$\{\Delta\alpha\} = C\{\Delta\varepsilon^{nn}\}. \quad (2.29)$$

Ағымдағы мәндерді, илемділік өсімшесі, аққыштық бетінің ортасының орналасуын жаңартамыз:

$$\chi^n = \chi^{n-1} + \Delta\chi \quad \text{и} \quad \{\alpha\}^n = \{\alpha\}^{n-1} + \{\Delta\alpha\} \quad (2.30)$$

мұндағы, жоғарғы индекс  $n$  уақыт қадамына жатады.

Эквивалентті илемді деформацияның өсімшесі:

$$\Delta\varepsilon^{nn} = \sqrt{\frac{2}{3} \{\delta\varepsilon^{nn}\} [V] \{\delta\varepsilon^{nn}\}} \quad (2.31)$$

Нәтижелердің қорытындысын шығару үшін эквивалентті кернеуді  $\sigma_{эқв}$  (2.22) және эквивалентті илемді деформацияны  $\{\Delta\varepsilon^{nn}\}$  есептейміз:

$$\{\Delta\varepsilon^{nn}\} = \{\varepsilon^{nn}\}^n - \{\varepsilon^{nn}\}^{n-1}. \quad (2.32)$$

Осылайша, кернеу векторының сыңарларын біле отырып, эквивалентті кернеулерді тауып алуға болады. Түйіспе беттерде түйіспе элементтер үшін тиісті кернеулердің жалпы санын шығару аспапты жылжытудан пайда болатын сыртқы салмақтарды анықтауы керек. Сыртқы түйіспе беттерінде үйкеліс күші жоқ, күш болмаған жағдайда, нормальды кернеулердің проекциялары нөлге тең болады. Сыртқы күштер әсер еткен кезде шекара бойынша ішкі күштердің проекциялары таратылған сыртқы күштердің проекцияларына тең. Бұнымен тепе-теңдік теңдеулерін біріктірудің шекаралық жағдайлары орындалады.

Жетекші әлемдік машина жасау өнімдерін өндірушілер қазіргі кезде жобалау кезінде Computer Aided Engineering (CAE-жүйелерін) есептеу бағдарламалық кешендерін өте көп пайдаланады. Жаңа экономикалық жағдайлар барлық машина жасау салаларында шекті элементтер әдісін (ШЭӘ) пайдаланатын жүйелерді қолдануды талап етеді.

Машина жасау саласында есептеуінші жүйелерді (ЭЕМ +бағдарлама) пайдаланудан алынатын негізгі әсер, жиі көрсетілетіндей сызбалардың автоматтандырылған генерациясында емес, автоматтандырылған құжат айналымында да емес, керісінше, бұйымды жобалау сатыларын тездетуде, қымбат тұратын табиғи

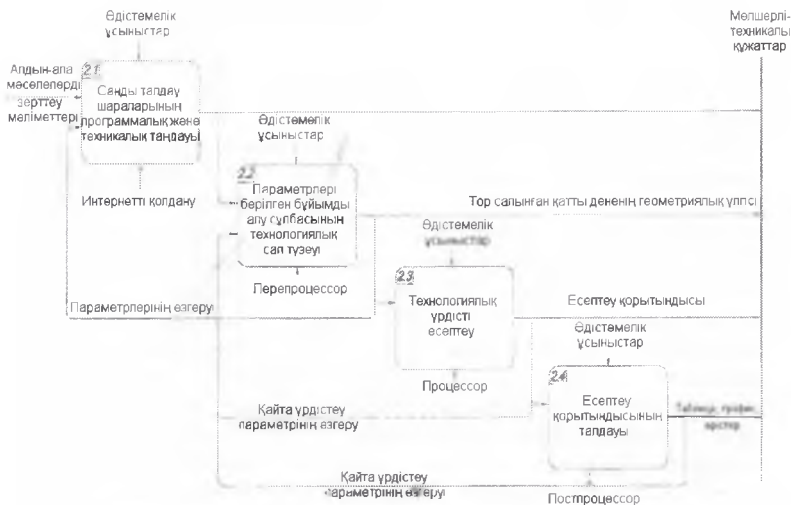
тәжірибелі есептеуіш жүйелерге ауыстыруда. Осылайша, машина жасау нысандарын әзірлеу кезінде CAE-жүйелерін пайдалану бұйымның өзіндік құнын төмендетіп қана қоймай, сонымен бірге олардың сапасын едәуір жоғарылатуға мүмкіндік береді.

Ғылыми жұмыста үздіксіз ыстықтай илемдейтін орнақта илемдеу тәсілін пайдалана отырып жолақтарды әзірлеу үрдісін имитациялық үлгілеуді жүргізу міндеті қойылған болатын. Көбінесе, ыстықтай илемделген жолақтардың кернеулі-деформациялы күйін (КДК) есептеу болатын.

Үлгілеуші және есептеуші аспап ретінде әйгілі MSC.SuperForge CAE-пакеті таңдап алынды. MSC.SuperForge – 30 жыл бойы әлемдік көшбасшы болып тұрған әмбебап шекті-элементті пакет.

MSC.SuperForge-ті пайдаланып тетіктерді жасау технологиясының талдамасына арналған саты имитациялық үлгілеу сатыларының арасындағы ең жауаптысы болып табылады. MSC.SuperForge бағдарламасымен орындалатын барлық функциялар процессорлар деп аталатын топқа біріктірілген. Бағдарламада бір препроцессор, бір шешім процессоры, екі постпроцессор және онтайландырғышты қоса алғанда, бірнеше көмекші процессорлар бар. Препроцессор шекті-элементтік үлгіні жасау үшін және шешім процессорын орындау үшін опцияларды таңдау үшін пайдаланылады. Шешім процессоры күш салу мен шектік жағдайлар үшін, ал содан кейін үлгінің үн қатуын анықтау үшін пайдаланылады. Постпроцессордың көмегімен пайдаланушы шешімдердің нәтижелеріне есептік үлгінің әрекетін бағалау үшін, сондай-ақ қызығушылық танытқан қосымша есептеулерді жүргізу үшін жүгінеді. MSC.SuperForge ортасында бұйымды алу технологиясын талдау сатысы төменде ұсынылған функционалды сұлбада (2.3 сурет) талданады.

Жолақтарды алу міндеті үш өлшемді ортада дайындаманы 4 түзілімдік элементтерге (CTETRA) бөлу арқылы үлгіленеді. Біліктер мен жолақтардың тиетін беттері де («rigid-to-flexible» типті байланыс) тиісті элементтерге бөлінеді. Олардың арасындағы байланыс үйкелісті ескереді. Дайындама материалы изотроптық серпімді илемділік сызықты емес беріктендірумен (BISO) қабылданады. Деформациялаудың барлық үрдісі жеткілікті түрдегі шағын кадамдарға бөлінеді. Міндеттің қадамы тиісті ауысуды анықтайды. Теңдеудің тиісті сызықты емес жүйесінің шешу Ньютон-Рафсонның толық әдісінің көмегімен жүзеге асырылады. Дайындама қажетті температураға дейін қызады. Осылайша, беріктілік есебімен қатар термодинамика есептерін шешу жүзеге асырылады.



2.3-сурет – Бұйымды MSC.SuperForge құралдарымен алу технологиясын талдау

MSC.SuperForge жүйесіндегі имитациялық үлгілеу деректері нақты табиғи тәжірибесінің қорытындыларына жеткілікті түрде дәл сәйкес келеді. Пішін құру үрдісі кезінде дайындаманың кернеулі-деформацияланған күйі туралы алынған деректер жолақтарды алудың технологиялық үрдісін онтайландыруға мүмкіндік береді. MSC.SuperForge ортасында әзірленген илемді деформациялау үрдістерін зерттеудің өзіндік әдістемесі кернеулі-деформацияланған күйді анықтау бойынша есептерді барынша тиімді шешуге мүмкіндік береді.

### 2.3 Илемдеу кезінде илемділік қорын қолдану дәрежесін (ИҚКД) есептеу әдістемесі

Аса илемді деформация кезінде [12] бұзылу үрдісінен бұрын металдың жайылмалы қопсытумен қатар жүретін ақаулар жиынтығы жүреді. Осы кезде пайда болатын дислокациялық және вакансиялық механизмнің бұзылу жиынтығы ретінде микро- және субмикросызттарды тудыратын илемді деформация екені ортақ факт болып табылады. Субмикросызттарды тугызатын бірнеше дислокациялық механизм белгілі. Бұл механизмдердің әрқайсысы дислокация қозғалған кезде, яғни, илемді деформация кезінде дамиды,

олар кристалл торының түрлеріне, дислокацияның қиып өтетін кеңістікте қозғалу мүмкіндіктеріне, дислокациялық торларға және дислокациялық топталуларға, баламалар шегіне, субтүйіршік пен түйіршікаралық шектерге байланысты және т.с.с. Әрі қарайғы илемді деформация кезінде субмикросызттар дамып, тұрақты микрокеуектерге айналуы мүмкін. Микрокеуектердің пайда болу себебі екінші фаза қоспалары мен қатты бөліктері болып табылады. Осылайша, металда ақаулардың топталуы илемді деформацияның бірінші актілерінен басталады. Көптеген тәжірибелер металдың илемді деформация кезінде  $\Lambda$  деформациясы көбейген сайын көп бұзылатынын және деформация жағдайы мен сипатына байланысты болатынын көрсетті. Илемді деформация ұлғайған сайын жекелеген субмикросызттар мен субмикрокеуектер микросызттар мен микрокеуектер түзіп бірігеді, олардың бірігуі макрокеуектер мен магистралдық макросызттардың пайда болуын туғызады, мұның салдарынан металл макробұзылуларға ұшырайды. Сонымен қатар, макробұзылуға металдың деформацияға ұшырауынан бұрын оның құрамында болатын, кездейсоқ таралатын микро-, макрокеуектер, микро-, макросызаттар, металл емес қоспалар, магистралдық сызаттар әкеп соқтырады. Металдың бұзылуына, сондай-ақ, деформацияға ұшырау сипаты, сыртқы ортаның қатты әсері, металл бұйымдардың көлемі едәуір әсер етеді. Осыған байланысты бұзылғанға дейінгі деформацияланудың шекті дәрежесі қорытпаның белгілі бір маркасы үшін ғана қатты өзгермейді, ол бір қорытпадан шыққан, бір кесектен алынған металдар үшін де әртүрлі болады.

Сызаттардың пайда болу және дамуының қарапайым дислокациялық үлгілеріне жасалған талдау сызаттардың дамуы алдында болған деформацияның әсерінен жиналған дислокациялардың ұзындығынан, серпімділік модулінен, субмикросызттардың бастапқы ұзындығынан, қатысты кернеу шамасынан, жылжу жазықтығынан, сондай-ақ  $k$  және  $\nu$  деген екі шамамен сипатталған кернеу өрісі мен сыртқы жүктемелерден екенін көрсетеді [102]. Сонымен қатар, созылмалы тартылыстардың сызаттарды өрбітетіні, ал гидростатикалық қысым ақауларды «жазатын» сызаттың пайда болу және таралу үрдісін тежейтіні де белгілі. Бұған деформация жылдамдығының және температураның төмендеуі де әсер етеді. Осылайша, ақауларды жазатын  $\Lambda_p$  және  $a$  коэффициенттерін илемді деформация үрдісінің термомеханикалық параметрлерінің күрделі функциялары болып табылады деуге де болады.

## **2.4 Құрылымы жаңа илемдеу орнағында илемдеу үрдісінің үш өлшемді геометриялық және имитациялық үлгісін әзірлеу**

Металдың илемдеу кезіндегі кернеулі-деформациялы күйі жұқа табақты өнім сапасын анықтайтын маңызды фактор болып табылады. Оны суреттеу күрделі болғандықтан, жұқа жолақты орнақтарда илемдеу технологиясын жобалау кезінде әдетте, тиісті есеп қарастырылмайды.

Сондықтан да, өнімнің сапасын жақсарту, өнімнің шығындарын төмендету мақсатына арналған жұқа табақты болатты өндіру технологиясын жетілдіруге байланысты міндеттер өзекті болып табылады. Олар жаңа орнақты және табак металды илемдеудің, деформация ошағындағы пішін өзгерту мен кернеулерді бағалаудың және т.б. технологиялық тәсілдерін әзірлеу және іс жүзінде меңгеру арқылы шешілуі керек.

Бізге болат пен қорытпалардан [48] алынатын жұқа жолақтарды илемдеуге арналған үздіксіз орнақ ұсынылды. Ұсынылған орнақтың құрылымы жоғарыда келтірілген.

Ұсынылған орнақта жұқа слябтарды илемдеу кезіндегі кернеулі-деформацияланған күйді (КДК) зерттеу үшін илемдеу үрдісінің үш өлшемді геометриялық және имитациялық үлгісі жасақталған.

Илемдеу кезінде жұқа слябтың кернеулі-деформацияланған күйін математикалық үлгілеу тұрғысынан зерттеу анықтаушы параметрлердің өте көп және олардың әртүрлі әсер ететін сипаты болғандығынан өте күрделі болып табылады. Тіпті илемдеудің қарапайым түрлері үшін есептің түземелі қойылымы интегралды-дифференциалды жүйеге әкеледі, оны талдау жағынан шешу мүмкін емес. Дегенмен, қазіргі кезде осы тәріздес есептерді шешу үшін шекті-элемент талдамасының бағдарламалық өнімдерінде іске асырылған шекті элемент әдісі кеңінен қолданылады. Металдарды қысыммен өңдеу үрдістерін есептеуге арналған шекті-элемент талдамасының бағдарламалық өнімдеріндегі көшбасшы болып MSC.SuperForge табылады.

Илемдеу процесінде жұқа слябтың көлемдік кернеулі-деформациялы күйін зерттеу деформациялаудың температуралық режимдерін ескере отырып анықталатын түйіспелі, серпімді илемді, сызықты емес болып табылады. Жұқа слябтарда пайда болатын КДК мен температуралық өрісті есептеуді құрылымы жаңа орнақтың барлық қапастары арқылы дайындаманы бір рет өткен кезде жүргіздік.

Құрылымы бойынша жаңа орнақта жұқа слябты ыстықтай илемдеген кезде пайда болатын КДК анықтау үшін, металдарды қысыммен өңдеу үрдістерін есептеуге мамандандырылған, шекті

элементтік талдамасының өнімі болып келетін MSC.SuperForge бағдарламасын қолдандық.

Жұқа сляб болып өлшемі 5x20x50 мм болатын параллелепипед алынды (2.4-сурет). Дайындаманың материалы ретінде болат Ст3 қолданылды. Деформациялаудың температуралық ауқымы 1100–1250 °С. Дайындама материалының илемділік қасиетін үлгілеу үшін Джонсон-Куктің серпімді илемділік үлгісі тандап алынды.

MSC.SuperForge жүйесінде аспаптар өте қатты болып қабылданады және жылу өткізгіш және жылу бергіш қасиеттерін ғана қамтамасыз етеді, яғни, меншікті жылу өткізгіштігі, меншікті жылу сыйымдылығы және тығыздығы назарға алынады, ал механикалық қасиеттері еленбейді. Пішінбілік материалы бастапқы мәлімет ретінде берілмесе, онда H13 аспаптық болатын пішінбілік материалы ретінде белгіленеді. Сонымен бірге осы материал үшін тығыздық және жылулық қасиеттерін беру MSC.SuperForge жүйесінде қарастырылған.

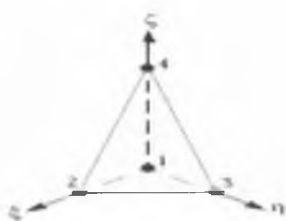
Қатты пішінбілік пен деформацияланатын дайындама материалының арасындағы өзара әрекеттесуі пішінбіліктің беті мен сляб бетінің арасындағы байланысу жағдайларын бейнелейтін жанасу беттері арқылы үлгіленеді. Үлгілеу процесінде жанасу жағдайлары, пішінбіліктің айналуы мен материалдың деформациялануын көрсете отырып, үнемі жаңарып тұрады. Бұл пішінбілік пен өңделетін дайындама материалының арасындағы сырғуды үлгілеуге мүмкіндік береді. Пішінбілік пен жұқа сляб арасындағы жанасу Кулон үйкелісімен үлгіленді. үйкеліс коэффициенті 0,3 болып қабылданды.

Илемдеу кезіндегі температура күйі пішінбілік, жұқа сляб және қоршаған орта арасындағы жылу алмасудан, сондай-ақ металды деформациялаудың нәтижесінде жылу пайда болып, температураның жоғарлауынан тұрады. Жылу тасымалы слябтың қоршаған ортамен конвективті және сәулелі жылу алмасуымен және пішінбіліктің жұқа слябпен жанауымен жүзеге асырылады. Илемдеу процесі бөлме температурасында жүргізіледі, сондықтан пішінбіліктің бастапқы температурасы 20 °С-ге тең деп қабылданды.

Жұқа сляб пен пішінбіліктің үш өлшемді геометриялық үлгісі Inventor CAD бағдарламасында жасалған және MSC.SuperForge CAE бағдарламасына импортталған. 2.4-суретте көрсетілген жұқа слябтың шекті-элемент үлгісін жасау кезінде үш өлшемді денелерді үлгілеу үшін қолданылатын CTETRA (төрт түзілімдік тетраэдр) үш өлшемді элемент пайдаланылды (2.5-сурет). Жұқа слябтың үлгісі үшін 2518 элемент және 3180 түзілім жұмсалды.



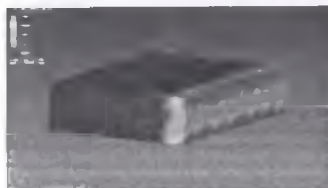
2.4-сурет – Шекті-элемент үлгісі



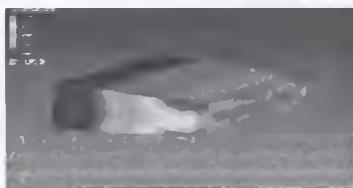
2.5-сурет – Шекті элемент CTETRA

Ұсынылған орнақтағы илемдеу процесін шартты түрде төрт сатыға бөлуге болады. Сондықтан есептеу нәтижесін көрнекті етіп көрсету үшін төрт сатыда арналған деректер толық деформациялану уақытына қатысты пайызбен алынды, яғни, мынадай аралықтар тандап алынды: толық деформациялану уақытынан бірінші саты 20, екінші саты 40, үшінші саты 60 және төртінші саты 80 пайыз.

2.6 –2.20 суреттерде кернеулер мен деформацияның қарқынын, жұқа слябтың температуралық өрісін тарату бейнелері көрсетілген.



а) 20 %



б) 40 %



в) 60 %



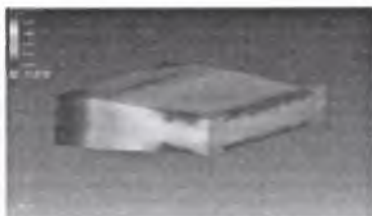
г) 80 %

2.6-сурет – Орнақтың I қапасында илемдеу кезіндегі жұқа слябтағы деформация қарқындылығының таралуы бейнесі





а) 20 %



б) 40 %



в) 60 %



г) 80 %

2.7-сурет – Орнақтың 1 қапасында илемдеу кезіндегі жұқа слябтағы кернеу қарқындылығының таралуы бейнесі



а) 20 %



б) 40 %

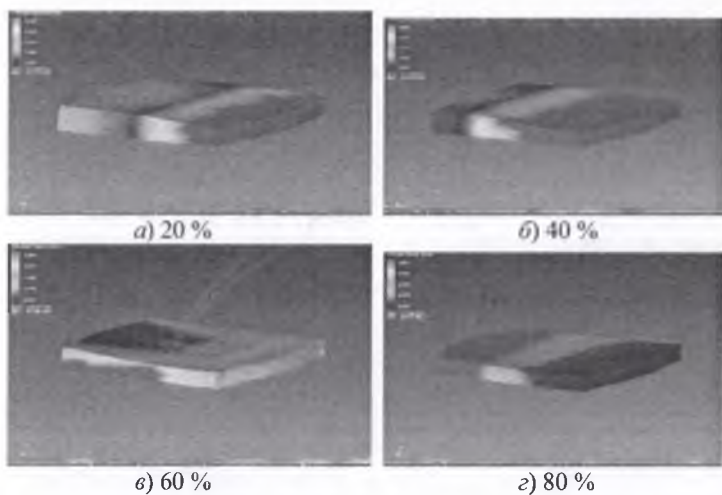


в) 60 %

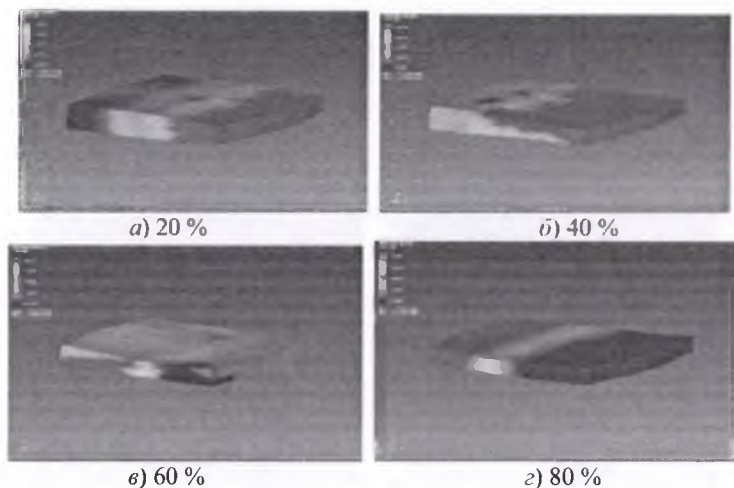


г) 80 %

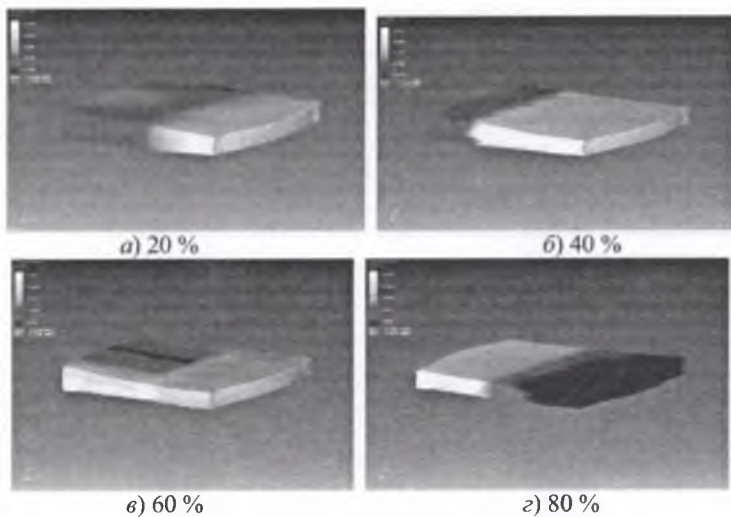
2.8-сурет – Орнақтың 1 қапасында илемдеу кезіндегі жұқа слябтың температура өрісінің таралу бейнесі



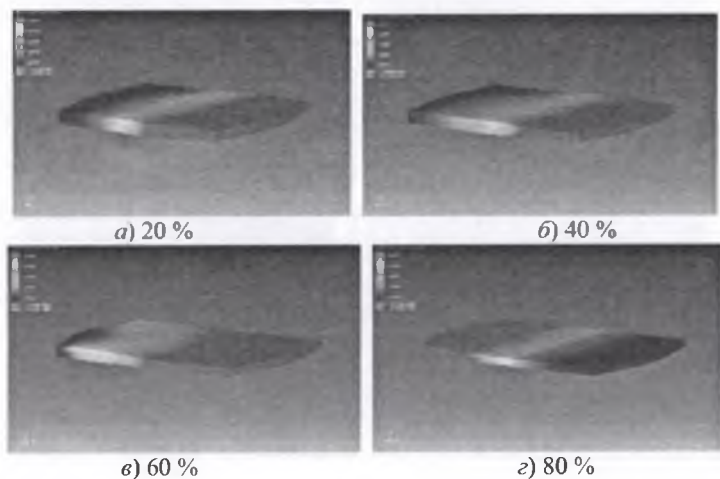
2.9-сурет – Орнақтың 2 қапасында илемдеу кезіндегі жұқа слябтағы деформация қарқындылығының таралуы бейнесі



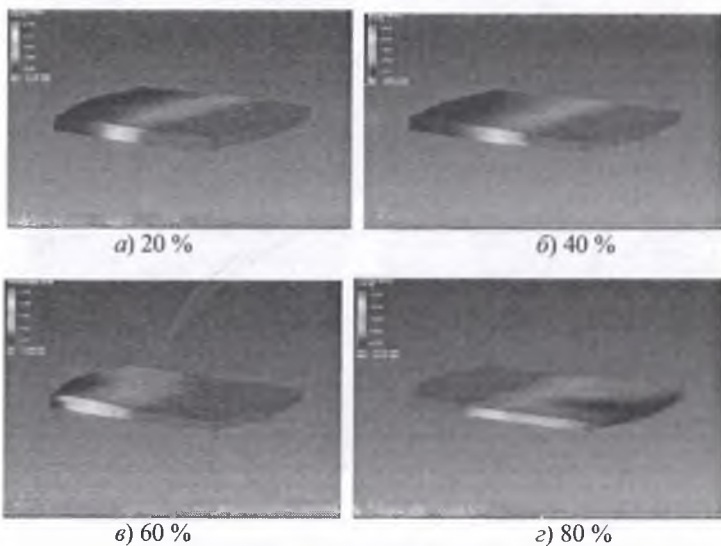
2.10-сурет – Орнақтың 2 қапасында илемдеу кезіндегі жұқа слябтағы кернеу қарқындылығының таралуы бейнесі



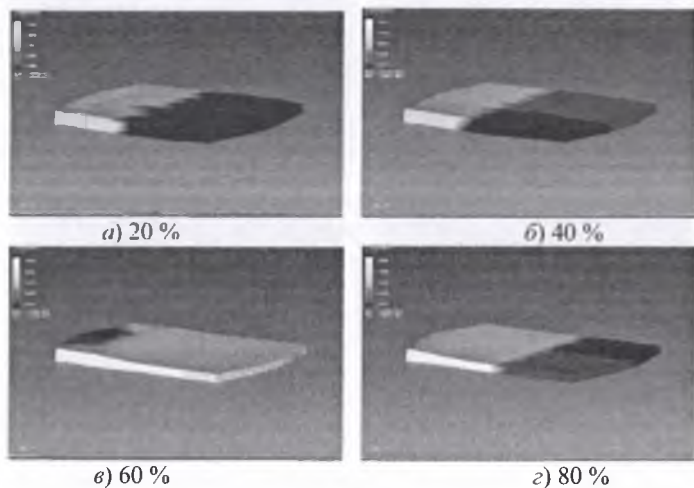
2.11-сурет – Орнақтың 2 қапасында илемдеу кезіндегі жұқа слябтың температура өрісінің таралу бейнесі



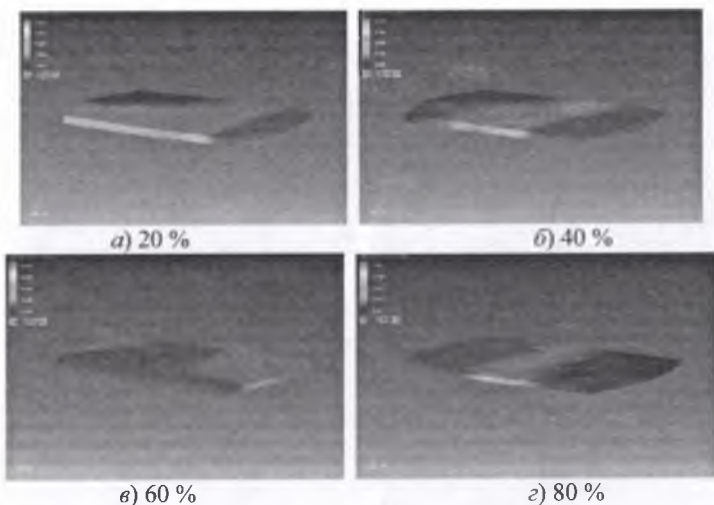
2.12-сурет – Орнақтың 3 қапасында илемдеу кезіндегі жұқа слябтағы деформация қарқындылығының таралуы бейнесі



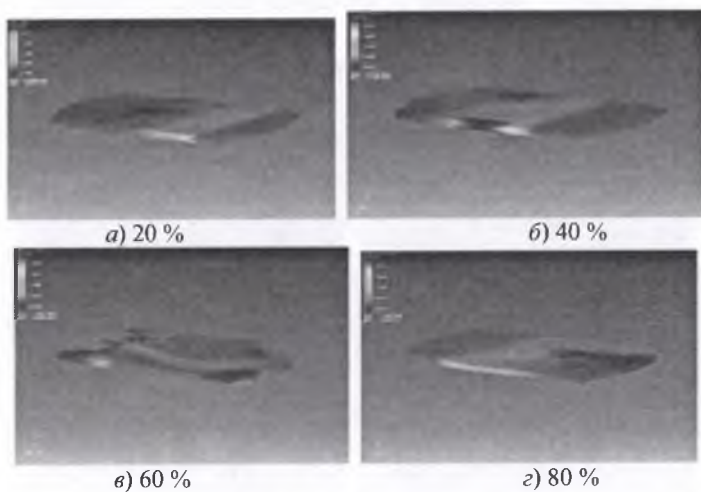
2.13-сурет – Орнақтың 3 қапасында илемдеу кезіндегі жұқа слябтағы кернеу қарқындылығының таралуы бейнесі



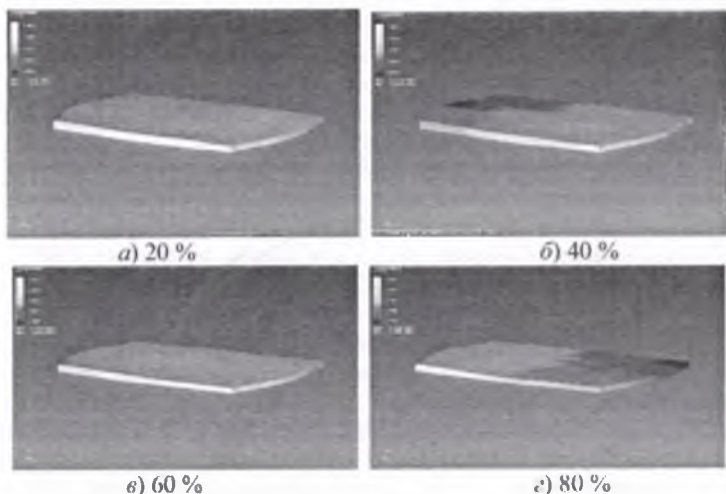
2.14-сурет – Орнақтың 3 қапасында илемдеу кезіндегі жұқа слябтың температура өрісінің таралу бейнесі



2.15-сурет – Орнақтың 4 қапасында илемдеу кезіндегі жұқа слябтағы деформация қарқындылығының таралуы бейнесі



2.16-сурет – Орнақтың 4 қапасында илемдеу кезіндегі жұқа слябтағы кернеу қарқындылығының таралуы бейнесі



2.17-сурет – Орнақтың 4 қапасында илемдеу кезіндегі жұқа слябтың температура өрісінің таралу бейнесі

Сандық үлгілеумен алынған нәтиженің негізінде мынандай қорытындылар жасалды:

1) Бірінші қапаста илемдегенде эквивалентті деформациялар ( $\Gamma$ ) мен кернеулер ( $\sigma_i$ ) илемдеудің бастапқы уақытында орнақтың пішінбіліктері металды қарпатын аймақта шоғырланады (2.6 және 2.7-суреттер).. Жаншуды көбейткен кезде  $\Gamma$  және  $\sigma_i$  мөлшерлерінің екіні деформацияланатын дайындаманың беткі жағынан ортасына және шеттеріне қарай ауысады. Жаншудың одан әрі артырған кезде  $\Gamma$  және  $\sigma_i$  мөлшерлері шамалы түрде біркелкі тарайды, ал өтімнің соңында эквивалентті деформациялар мен кернеулер деформация ошағының кіретін аймағыны шоғырланады;

2) Бірінші қапаста илемдеген кезде "ыстық металл - ішінбілік" жанасу аймақтарында температура төмендейді (2.8 сурет). Илемдеудің келесі сатыларында пішін өзгерту мен үйкелуден жылудың бөліну себебінен деформация ошағы бойынша температура төмендейді. Бірақта, өтімнің соңында деформация ошағынан шығатын дайындаманың бөлігі тез салқындайды;

3) Екінші, үшінші, төртінші және бесінші қапастарда илемдеу барысында  $\Gamma$  және  $\sigma_i$  мөлшерлерінің қарқынды шоғырланатын аймақтары илемдеу кезінде деформация ошағының басынан соңына

карай біртіндеп ауысады(2.9, 2.10, 2.12, 2.13, 2.15, 2.16, 2.18, 2.19-суреттер);

4) Температура өрісі екінші қапаста илемдеген кезде біркелкі таралмайды. Осы кезде деформация ошағының сыртында тұрған аймақтар қарқынды түрде суиды, ал деформация ошағында орналасқан дайындама металы қызады (2.11-сурет).

5) Үшінші, төртінші және бесінші қапастарда илемдеген кезде жоғары температуралы аймақтар деформация ошағымен бірге өгімнің басынан соңына қарай жылжиды (2.14, және 2.17-суреттер). Осы кезде деформацияланатын металл мен пішінбіліктің жанасатын аймағы, сондай-ақ деформация аймағынан тыс аймақтар салқындайды.

## **2.5 Жұқа жолақтарды құрылымы жаңа үздіксіз илемдеу орнағында дайындама көлемінің илемділік қорын қолдану дәрежесін есептеу әдістемесі**

Кернеулі-деформация күйді MSC.SuperForge ортада анықтайтын стандартты бағдарлама эквивалентті кернеулерді, деформацияларды және температуралық өрісті, яғни, кернеулі-деформация күйінің соңғы көрсеткіштерін есептеуге мүмкіндік береді. Дегенмен, бұл бағдарлама ыстықтай илемделген жолақтарды илемдеу кезінде илемділік қорын есептеуге мүмкіндік бермейді, себебі, ол кернеу мен деформация тензорының сыңарларының есептелген мәндерін бермейді.

Монографияда жоғарыда айтылғандарға байланысты MSC.SuperForge ортасында алынған деректердің негізінде дайындама көлемінің илемділік қорын қолдану дәрежесін есептеу әдістемесі ұсынылады.

Жоғарыда алынған деректер бойынша ИКҚД есептеу үшін деформация ошағының көлемінде кернеу мен деформация тензорының сыңарларын анықтап алу қажет, ал алынған деректермен кернеулі күй сұлбасының қатандық коэффициентін есептеу керек. Шаманың деректерін келесі кезектілікпен есептеді.

Жұқа жолақтарды илемдеу кезінде көлемнің тұрақтылық жағдайын келесі түрде жазуға болады [99]:

$$h_0 \cdot b_0 \cdot l_0 = y_i \cdot z_i \cdot x_i, \quad (2.41)$$

мұндағы  $h_0, b_0, l_0$  – деформация ошағының деформацияға дейінгі геометриялық өлшемдері;  $y_i, z_i, x_i$  – деформация ошағының  $i$  қапасында илемдегеннен кейінгі геометриялық өлшемдері.

Секундтық көлемдердің тұрақтылығының кинематикалық жағдайларын келесі түрде жазуға болады [7]:

$$h_0 \cdot b_0 \cdot v_0 = y_i \cdot z_i \cdot v_{xi}. \quad (2.42)$$

мұндағы  $v_0$  – деформация ошағына кіретін жердегі жолақтың көлденең жылдамдығы;

$v_{xi}$  – металдың орын ауысуы жылдамдығы.

(2.41) және (2.42) өрнектерін бірлесе шеше отырып және координата осьтерінің қабылданған бағытын ескере отырып, деформация ошағындағы металдың орын ауысуы жылдамдығын анықтаймыз

$$v_{xi} = \pm v_0 \frac{h \cdot b_0}{y_i \cdot z_i} = \pm v_0 \frac{x_i}{l_i}. \quad (2.43)$$

көлденең деформацияның коэффициенті

$$A = -\frac{\xi_x}{\xi_y} = -\frac{\ln \frac{z_i}{b}}{\ln \frac{x_i}{l_i}} \quad (2.44)$$

көлем тұрақтылық жағдайы

$$\xi_x + \xi_y + \xi_z = 0, \quad (2.45)$$

мұндағы  $\xi_x$ ,  $\xi_y$ ,  $\xi_z$  – деформация жылдамдығының сыңарларын енгізе отырып, орын ауыстыру жылдамдықтарының өрісін, ал содан кейін металл деформациясы жылдамдықтарының өрісін формулаларды пайдалана отырып есептеуге болады:



$$\left. \begin{aligned}
 v_x &= \pm v_0 \frac{x_1}{l_0}; & \xi_{xx} &= \pm \frac{v_0}{l_0}; \\
 v_x &= -\frac{\ln \frac{z_1}{b}}{\ln \frac{x_1}{l_0}} \frac{v_0}{l_0} z; & \xi_{xx} &= -\frac{\ln \frac{z_1}{b}}{\ln \frac{x_1}{l_0}} \frac{v_0}{l_0}; \\
 v_x &= \left( \mp 1 + \frac{\ln \frac{z_1}{b}}{\ln \frac{x_1}{l_0}} \right) \frac{v_0}{l_0} y; & \xi_{xx} &= \left( \mp 1 + \frac{\ln \frac{z_1}{b}}{\ln \frac{x_1}{l_0}} \right) \frac{v_0}{l_0}.
 \end{aligned} \right\} \quad (2.46)$$

Ығысу деформациясы жылдамдықтарының сыңарларын келесі формула бойынша анықтаймыз [99]:

$$\left. \begin{aligned}
 \xi_{xy} &= \frac{1}{2} \left( \frac{\partial v_{xi}}{\partial y} + \frac{\partial v_{yi}}{\partial x} \right); \\
 \xi_{xz} &= \frac{1}{2} \left( \frac{\partial v_{xi}}{\partial z} + \frac{\partial v_{zi}}{\partial x} \right); \\
 \xi_{yz} &= \frac{1}{2} \left( \frac{\partial v_{zi}}{\partial y} + \frac{\partial v_{yi}}{\partial z} \right).
 \end{aligned} \right\} \quad (2.47)$$

(2.46) өрнектен орын ауыстыру жылдамдығының өрісін (2.47) теңдеуге қоя отырып, мынаны аламыз:

$$\left. \begin{aligned} \xi_{xy} &= -\frac{\nu_0 \frac{y}{l_0} \ln \frac{z}{b}}{2y \ln^2 \frac{x}{l_0}} \\ \xi_{yz} &= \frac{\nu_0 \frac{y}{l_0}}{2z \ln \frac{x}{l_0}} \\ \xi_{zx} &= \frac{\nu_0 \frac{z}{l_0} \ln \frac{z}{b}}{2y \ln^2 \frac{x}{l_0}} \end{aligned} \right\} \quad (2.48)$$

Қозғалыс деформациясының жылдамдығының қарқындылығын келесі түрдегі теңдеуді пайдалана отырып анықтаймыз [99]

$$H = \frac{2}{\sqrt{6}} \sqrt{(\xi_{xx} - \xi_{yy})^2 + (\xi_{xx} - \xi_{zz})^2 + (\xi_{yy} - \xi_{zz})^2 + 6(\xi_{xy}^2 + \xi_{xz}^2 + \xi_{yz}^2)} \quad (2.49)$$

(2.49) теңдеуге деформация жылдамдығы тензорының сыңарларының табылған мәндерін қоя отырып келесіні табымыз:

$$H = \frac{2}{\sqrt{6}} \sqrt{1 - \frac{\ln \frac{z}{b}}{\ln \frac{x}{l_0}} + \frac{\ln^2 \frac{z}{b}}{\ln^2 \frac{x}{l_0}} + 3 \left( \frac{y^2 \ln^2 \frac{z}{b}}{x^2 \ln^4 \frac{x}{H}} + \frac{z^2 \ln^2 \frac{z}{b}}{x^2 \ln^4 \frac{x}{H}} + \frac{y^2}{z^2 \ln^4 \frac{x}{H}} \right)} \quad (2.50)$$

Деформация жылдамдығы тензорының сыңарларын біле отырып, кернеу тензорының сыңарын келесі формуланы пайдаланып анықтаймыз [99]:

$$\sigma_y - \frac{1}{3} \sigma_y \delta_y = \frac{2T}{H} \left( \xi_y - \frac{1}{3} \xi_y \delta_y \right). \quad (2.51)$$

немесе

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x - \sigma_0 &= \frac{2T}{H} (\xi_x - \xi_0) \\ \sigma_y - \sigma_0 &= \frac{2T}{H} (\xi_y - \xi_0) \\ \sigma_z - \sigma_0 &= \frac{2T}{H} (\xi_z - \xi_0) \\ \tau_{xy} &= \frac{2T}{H} \xi_{xy}; \tau_{xz} = \frac{2T}{H} \xi_{xz}; \tau_{yz} = \frac{2T}{H} \xi_{yz} \end{aligned} \right\} \quad (2.52)$$

Ығысу деформациясы жылдамдықтарының қарқындылығы шамасын біле отырып және «біртұтас қисық сызық» болжамын пайдалана отырып, жанамалы кернеулерді анықтаймыз. Осы кезде (2.51) жүйенің соңғы үш теңдеуіне (2.48) теңдеу бойынша табылған ығысу деформациясы жылдамдықтарының мәндерін қоя отырып жанама кернеулерді табамыз.

Нормальды кернеулерді  $\sigma_{xx}$   $\sigma_{yy}$   $\sigma_{zz}$  тепе-теңдіктің дифференциалды теңдеуінен табамыз

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} = 0. \quad (2.53)$$

Жеке туындылар  $\partial \tau_{xy} / \partial y$  және  $\partial \tau_{xz} / \partial z$  алып және (2.53) теңдеуін интегралдап  $\sigma_{xx}$  кернеуін анықтаймыз. Әрі қарай, ығысу деформациясы жылдамдықтарының қарқындылығы шамасын біле отырып және «біртұтас қисық сызық» болжамын пайдалана отырып (2.52) жүйенің бірінші теңдеуінен орташа кернеуді табамыз, келесі екі теңдеуді пайдалана отырып,  $\sigma_{yy}$  және  $\sigma_{zz}$  нормальды кернеулерін анықтаймыз.

Кернеулі-деформациялы күйді анықтаған кезінде 2.21–2.25 суреттерде келтірілген өлшенген деректер пайдаланылды.

Болат пен корытпаларды ұсынылған орнақта илемдеген кезде пайда болатын қирау жағдайын илемділік қорын қолдану дәрежесін (ИКҚД) есептеп бағаладық. Илемділік қорын қолдану дәрежесін мынандай формуламен есептедік[99]:

$$\psi = \int_0^1 \frac{H(\tau) d\tau}{\Lambda_p[k_x(\tau)]} = \int_0^1 \frac{H(\varepsilon) d\varepsilon}{\Lambda_p[k_x(\varepsilon)]} \quad (2.54)$$

мұндағы  $A_p$  – кернеулі күйден тәуелді болатын металдың шекті илемділігі;

$H$  – Ығысу деформациясы жылдамдығының қарқындылығы;

$k_{ж} = \sigma/T$  – кернеулі күй сұлбасының қатандық коэффициенті;

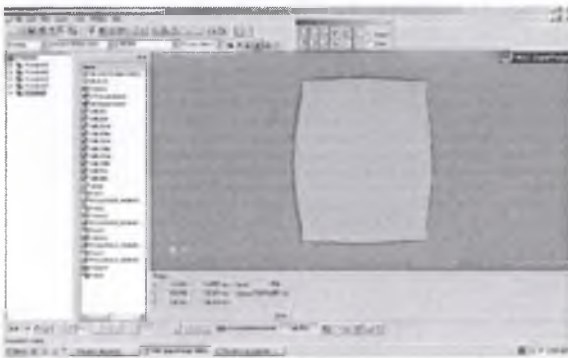
$$T = \frac{1}{\sqrt{6}} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_x - \sigma_z)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2)}$$

– жанама кернеудің қарқындылығы;  $\sigma$  – орташа кернеу.

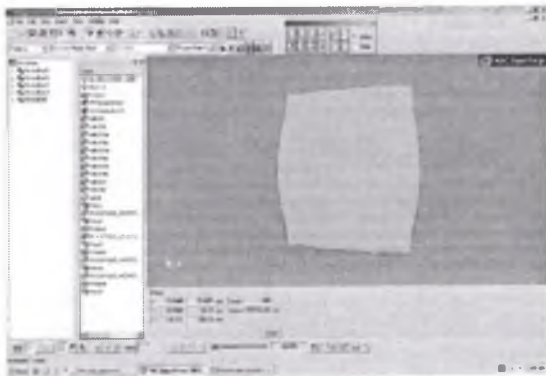
Ст3 болатын деформациялау кезінде  $A_p$  анықтау үшін [103] еңбегінде лынған регрессия теңдеуі пайдаланылды:

$$A_p = 2,58 + 3,1(T_n/1000)^2 - 0,73(T_n/1000)\ln \xi - 0,64(\sigma/T) + 0,1(\sigma/T)\ln \xi. \quad (2.55)$$

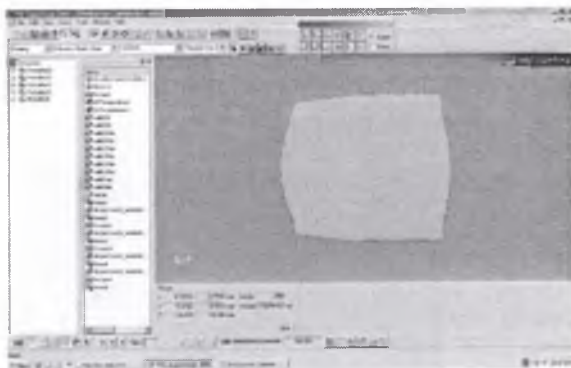
мұндағы  $T_n$  – қызу температурасы;  $\xi$  – деформация жылдамдығы.



2.21-сурет – 1-қапаста илемдегеннен кейінгі деформация ошағының геометриялық өлшемдері



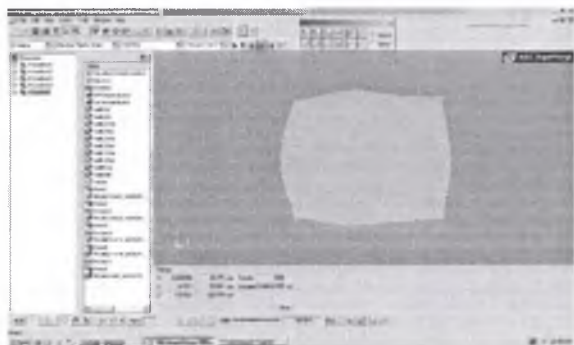
2.22-сурет – 2-капаста илемдегеннен кейінгі деформация ошағының



2.23-сурет – 3-капаста илемдегеннен кейінгі деформация ошағының геометриялық өлшемдері



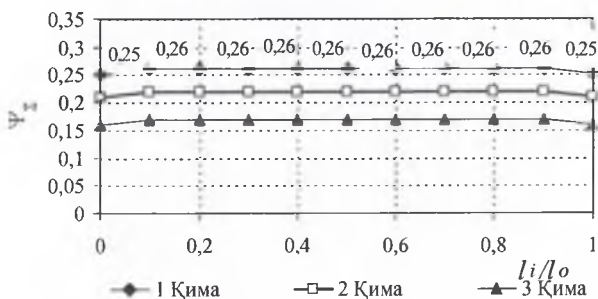
2.24-сурет – 4-қаптаста илемдегеннен кейінгі деформация ошағының геометриялық өлшемдері



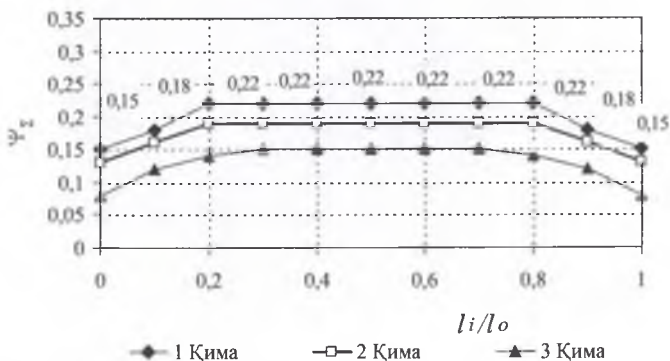
2.25-сурет – 5-қаптаста илемдегеннен кейінгі деформация ошағының геометриялық өлшемдері

Жоғарыда келтірілген әдістемені және MSC.SuperForge жүйесімен алынған деректерді қолданып есептелген ИҚҚД Ст.3 болатты ұсынылып отырған орнақта илемдеген кезде жолақ материалы бетінде ақаудың пайда болмайтындығын көрсетті. (2.26 және 2.27-суреттер,  $l_i$ ,  $h_i$ ,  $v_i$  – ұзындығы, биіктігі және ені бойынша

зерттелетін нүктеге дейінгі қашықтық;  $l_0$ ,  $h_0$   $v_0$  – деформация ошағының ұзындығы, биіктігі және ені).



2.26-сурет – Жаңа құрылымдағы орнақта илемдеу кезінде ИҚҚД-ні жолақтардың кимасы бойымен таралуы ( $v/v_0 = 0,1$ ) (1-кима -  $h_i/h_0 = 0,9$ ; 2-кима -  $h_i/h_0 = 0,75$ ; 3-кима -  $h_i/h_0 = 0,5$ )



2.27-сурет – Жаңа құрылымдағы орнақта илемдеу кезінде ИҚҚД-ін жолақтардың кимасы бойымен таралуы ( $v/v_0 = 0,5$ ) (1-кима -  $h_i/h_0 = 0,9$ ; 2-кима -  $h_i/h_0 = 0,75$ ; 3-кима -  $h_i/h_0 = 0,5$ )

## **Екінші тарау бойынша тұжырым**

1. Үздіксіз орнақтың жаңа құрылымы ұсынылған.
2. Жаңа орнақта илемдеу кезінде КДК зерттеу қорытындылары КДК сұлбасы «жұмсақ» болып шығатынын, ал эквивалентті деформация біркелкі таратыны көрсетілді.
3. MSC.SuperForge ортасында алынған деректер негізінде жаңа үздіксіз орнақта жұқа слябтарды илемдеу кезінде илемділік қорын қолдану дәрежесін есептеу әдістемесі әзірленген.
4. Есептеу жолы арқылы ұсынылған орнақта илемдеу кезінде бірыңғайлықтың бұзылуының жоқтығы дәлелденді.



### 3 Үздіксіз орнақта жұқа жолақтарды илемдеудің энергия күштік параметрлерін есептеу

Ыстықтай илемдейтін кеңжолақты орнақтардың түржиыны (БІИКЖО) кейінгі он жыл ішінде елеулі өзгерістерге ұшырады: ыстықтай илемделген болат жолақтарының ең төмен қалыңдығы 1,8–2,0 мм-ден 0,8–1,2 мм-ге дейін төмендетілді [104]. Мұндай қалыңдықтары бар жолақтар тек суықтай илемдеу орнақтарында өндіріледі. Алайда машина жасау мен құрылыс индустриясының бірқатар кәсіпорындары, мұндай аса арзан ыстықтай илемделген жолақтарды, олардың механикалық сипаттары мен беттерінің сапасы халықаралық стандартқа сай келетін жағдайда ғана пайдалануды қалайды.

Қалыңдығы 0,8–1,2 мм болатын ыстықтай илемделген жолақтарды өндіру деформация ошағының құрылымын және жолақ пен біліктердің арасындағы үйкеліс жағдайын өзгертумен көпталады [104]. Көбінесе, орнақтардың тазалай илемдейтін қапастарында жалпылай жаншу 90 %-ға, жекелей жаншу – 60 %-ға дейін артты. Осының салдарынан деформация ошағының серпінді бөлімінің ұзындығы артып, жолақ пен біліктердің арасындағы түйісу кернеулері 800 – 1100 МПа дейін, яғни қауіпті деңгейге дейін жоғарылайды.

Сипатталған деформация ошақтары құрылымының өзгерістері БІИКЖО-ның технологиялық үрдісінде пайда болатын бірқатар мәселелерді шешуді талап етеді, яғни [104]:

- жалпылай және жекелей жаншулар артып, жолақтарды илемдеуге жұмсалатын қуат шығыны өсетіндіктен, илемдеу орнақтарындағы бас жетек қозғалтқыштарына артық күштің түсуін;

- түйісу кернеулері деңгейінің артуы себебінен кеңжолақты орнақтардың соңғы қапастарындағы жұмыс біліктерінің орнықтылығының төмендеуін;

- жолақтардың ұзындығы бойынша технологиялық параметрлердің тұрақсыздығынан ұзына бойғы әртүрлі қалыңдық пен ендіктің ұлғаюын, (олардың ауытқулары жалпылай жаншудың артуына байланысты өсуге бейім болып келеді);

- БІИКЖО-ның жұмыс қапастарындағы илемдеу күштерінің ауытқулары (олардың орташа мәндерінің 5–10 %-ын құрайды) және жұмыс қапастары элементтерінің серпінді деформациясының себебінен біліктер арасындағы саңылаудың қосымша ауытқулары, осының салдарынан жолақтардың ұзына бойғы әртүрлі қалыңдық пен ендіктің артуы;

- жұқа жолақтарды ыстықтай илемдеу кезінде металдың кернеулі-деформацияланған күйін сипаттаудың күрделілігі.

Жаңа орнақтың құрылымын әзірлеу, жұқа табақты болатты өндіру технологиясын жетілдіру, кернеулі-деформация күйінің (КДК) таралу заңдылығын зерттеу және металды илемдеу кезінде энергиякүштік параметрлері мен илемділік қорын қолдану дәрежесін (ИҚҚД) есептеу әдістемесін әзірлеу негізінде осы мәселелерді тиімді шешуге болады, өйткені белгілі әдістемелерде деформация ошағындағы металдың кернеулі-деформация күйі ескерілмейді және жетекті жұмыс және бос тіреу біліктерінің түйісу кезінде пайда болатын тербелу үйкелісіне жұмсалатын энергия шығынын анықтайтын математикалық аппарат жоқ. Соңғы зерттеулерде көрсетілгендей [85, 86], ыстықтай илемдейтін орнақтың жұмыс қапастарындағы деформация ошағының ұзындығы 85–99 %, ал БИИЖО-ның соңғы қапастардағы серпімді бөлім ұзындығы 10–17 %. Одан басқа, [87, 88] еңбектерде жазылған зерттеулердің қорытындылары, БИИЖО-ның негізін құрайтын «кварто» қапастарында тербелу үйкелісі жұмсалатын қуаттың шығыны бас жетектің жалпы қуатының 30-50 %-ын құрайды.

Көрсетілген факторлардың белгілі әдістемелерде тіркелген есебінің жоқтығы өзгерген түржиын жағдайларында осы әдістемелер бойынша БИИЖО-ның энергиякүштік есебінің 20-30 % және одан көп кәсіптіктеріне әкеледі.

Сондықтан ыстықтай илемдеудің энергиякүштік параметрлерін есептеу әдістемесін инженерлік және технологиялық тәжірибеге енгізу мақсатымен жетілдіру, әсіресе жаңа орнақтың құрылымын әзірлеу кезінде аса өзекті және мақсатты болып табылады.

### **3.1 Үздіксіз орнақта ыстықтай илемдеу кезіндегі энергиякүштік параметрлерін есептеу әдістемесін жетілдіру**

Біз болат пен қорытпалардан алынған жұқа жолақтарды илемдеуге арналған үздіксіз орнақ ұсынып отырмыз [98]. Ұсынылған орнақтың құрылымы 2-тарауда сипатталған.

Соңғы 50 жылда жарияланған (А. И. Целиковтың, А. В. Третьяковтың, А. П. Грудевтің, М. Я. Бровманның, Л. В. Андреюктің және т.б.) еңбектерде [84, 87–92] ыстықтай илемдеу үрдісінің аса белгілі математикалық үлгілері талданған. Бұл еңбектерде ыстықтай илемдеу үрдісінің барлық үлгілері деформация ошағының серпімді бөліміндегі және жанама түйіспе кернеулері материалдың таза ығысуына кедергі келтіретін шамаға жететін ұзындық бөлігінде пайда болатын жабысу аумағындағы жолақтың кернеулі-деформация күйі ескерілмей әзірленген. Бұдан басқа, илемдеу қуатын есептеген кезде белгілі әдістемелер бағытты

деформация ошағының ұзындығы бойынша өзгертуі жанама кернеулердің илемдеу жұмысына әсер етуін ескермейді және нормальды түйіспелі кернеулердің илемдеу осіне перпендикуляр бағыттан ауытқуын елемейді.

Берілген орнақтың құрылымын және ыстықтай илемдеу үрдісінің энергиякүштік және технологиялық параметрлерін есептеу әдістемелерін талдай отырып, тараудың жоғарыда көрсетілген кемшіліктерді жоятын құрылымы жаңа орнақта илемдеудің энергиякүштік параметрлерін есептеу әдістемелерін жетілдіру туралы басты міндет қойылды.

Еңбектің [74–82] авторларының пікірінше, ыстықтай илемдеу кезіндегі деформация ошағындағы металдың кернеулі-деформация күйінің елеулі ерекшеліктерінің бірі оның ұзынбойлығының көп бөлігі жабысу аймағы болып табылатындығында, ол жолақтар мен білкілердің түйісетін беттерінің салыстырмалы сырғуымен сипатталады:

$$v_{\text{пов}} = v_{\text{в}}, \quad (3.1)$$

мұндағы  $v_{\text{пов}}$  – жолақтың білікпен түйісетін беткі қабатының қозғалу жылдамдығы;

$v_{\text{в}}$  – білік бөшкесінің айналатын жылдамдығы.

Таза топтың соңғы қапастарына жататын ыстықтай илемдейтін кеңжолақты орнақтардың деформация ошағының ерекшелігі – осы ошақтардың серпімді аймақтарының едәуір ұзынбойлығы, әсіресе жолақтардың қалыңдық бөлімдерін қалыпқа келтірудің екінші серпімді бөлімі.

Таза топтардың бірінші қапастарындағы осы аймақтардың деформация ошағының жалпы ұзындығынан үлесі 1–2 %-ды құрайды, ал соңғы қапастарда олар 15–17 %-ға дейін артады.

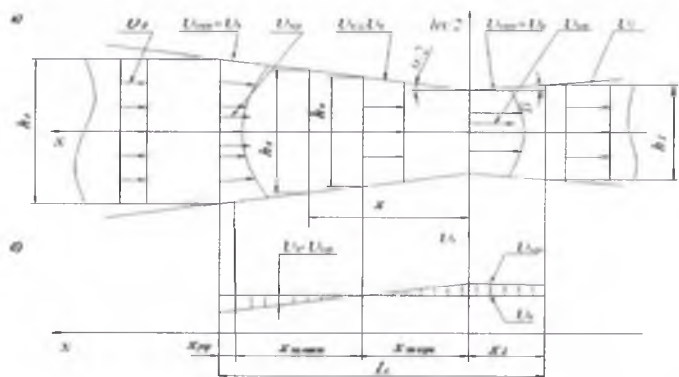
Құрылымы жаңа орнақтың илемдейтін энергиякүштік параметрлерін есептеу кезінде кеңжолақты орнақтарда ыстықтай илемдеу кезіндегі жұқа жолақтардың кернеулі-деформация күйін үлгілеудің дұрыс нәтижелері деформация ошағының серпімді-илемді үлгісінің негізінде ғана алынуы мүмкін. Еңбектерде [84–92] алынған нәтижелерді және құрылымы жаңа орнақтың жұмыс біліктері диаметрлерінің өзгеру заңдылықтарын талдап, біз мынадай деформация ошағының келесі түрлерін қабылдадық (3.1-сурет):

- бірінші қапас: ұзындығы  $x_{1\text{упр}}$  болатын жолақты серпімді жаншитын аймақ; ұзындығы  $x_{\text{пл}}$  тең болатын сырғу мен жабысу аймақтары құрамына кіретін илемді деформация аймағы;

- екінші, үшінші, төртінші қапас: ұзындығы  $x_{1\text{упр}}$  тең болатын жолақты серпімді жаншитын аймақ; ұзындығы  $x_{\text{пл}}$  тең болып тұтастай алғанда жабысу аймағы болып табылатын илемді деформация аймағы; ұзындығы  $x_2$  тең болып деформация ошағының шыға берісінде жолақтың қалыңдығының белгілі бір бөлімін серпімді қалыпқа келтіретін аймақ;

- бесінші қапас: ұзындығы  $x_{1\text{упр}}$  тең болып жолақты серпімді жаншитын аймақ; ұзындығы  $x_{\text{пл}}$  тең болып тұтастай алғанда жабысу аймағы болып табылатын илемді деформация аймағы; ұзындығы  $x_2$  тең болып деформация ошағының шыға берісінде жолақтың қалыңдығының белгілі бір бөлімін серпімді қалыпқа келтіретін аймақ.

Екінші, үшінші, төртінші қапастарда илемдеген кезде илемді аймақта жабысу құбылысы пайда болу себебінен жолақтың беткі қабатының жылдамдығы тұрақты болады. Сондықтан жолақтың қалыңдығы бойынша орташа жылдамдыққа ( $v_{\text{ср}}$ ) қатысты мынаны жазуға болады:  $h_x > h_n$  болған кезде  $v_{\text{ср}} < v_n$ ;  $h_x < h_n$  болған кезде  $v_{\text{ср}} > v_n$  шарттары орындалады, мұндағы  $h_n$  – жолақтың бейтарап қимадағы қалыңдығы. Жолақтың қалыңдығы бойынша орташа жылдамдыққа қатысты илемді бөлім мынандай екі аймақтан тұрады: ұзындығы  $x_{\text{пл.отст}}$  тең болатын қалатын аймақ; ұзындығы  $x_{\text{пл.опер}}$  тең болатын озатын аймақ.



3.1-сурет – Ыстықтай илемдейтін құрылымы жаңа орнақтың жұмыс қапастарының деформация ошығының сұлбасы және жолақ жылдамдықтарының өзгеру графигі

Деформация ошағының бірінші және екінші серпімді аймағының және илемді аймақтарының ұзындықтары 3.1-кестеле келтірілген формулалар бойынша анықталады [90].

3.1-кесте – Деформация ошағының құрылым параметрлері

Атауы	Белгіленуі, өлшемі	Формула
Бірінші серпімді және илемді бөлімдерінің жалпы ұзындығы	$x_{1\text{стр}} + x_{\text{ил}} \text{ мм}$	$\sqrt{\frac{D_r}{2} \Delta h_i + x_2^2}$
Деформация ошағының ұзындығы	$l_{ct}, \text{ мм}$	$x_{1\text{стр}} + x_{\text{пл}} + x_2$
Бірінші серпімді бөлімінің ұзындығы	$x_{1\text{стр}}, \text{ мм}$	$\frac{\Delta h_{1\text{ил}} (\delta_{1\text{ил}} + \delta_{\text{ил}})}{\Delta h_i + \Delta h_{2\text{ил}}}$
Илемді бөлімнің ұзындығы	$x_{\text{ил}}, \text{ мм}$	$\sqrt{\frac{D_r}{2} \Delta h_i + x_2^2} - x_{1\text{ил}}$
Илемді бөлімнің озған аймағының ұзындығы	$x_{\text{пл опер}}, \text{ мм}$	$\frac{(h_{i1} - h_i + \Delta h_{2\text{ил}})}{2\text{tg}(\alpha/2)}$
Илемді бөлімнің қалу аймағының ұзындығы	$x_{\text{пл отст}}, \text{ мм}$	$x_{\text{пл}} + x_{\text{пл опер}}$
Бұрыштар тангенстері $\alpha/2$ және $\beta$ .	$\text{tg}(\alpha/2); \text{tg}\beta$	$\frac{\Delta h_i + \Delta h_{2\text{ил}}}{2(\delta_{1\text{ил}} + \delta_{\text{ил}})}, \frac{\Delta h_{2\text{ил}}}{2x_2}$

Ескертпе –  $D_p$  – жұмыс білігі бөшкесінің диаметрі;  $\Delta h_i$  –  $i$ -ші қапастағы абсолюттік жаншу;  $\Delta h_{1\text{стр}}, \Delta h_{2\text{стр}}$  – жолақтың қалыңдығы бойынша ұзындығы  $x_{1\text{стр}}$  және  $x_2$  болатын бөлімдеріндегі абсолюттік серпімді деформациялардың максималды шамасы

Екінші серпімді бөлімнің ұзындығы Герц [105] формуласы бойынша анықталады:

$$x_2 = 8p_c R \left( \frac{1 - \nu_c^2}{\pi E_c} - \frac{1 - \nu_l^2}{\pi E_l} \right), \quad (3.2)$$

мұндағы  $p_{pc}$  – нормальды түйіспелі кернеулердің орташа мәні;  
 $R$  – жұмыс білігі бөшкесінің радиусы;

$\nu_B, \nu_{II}$  – біліктер мен жолақ материалдарының Пуассон коэффициенті;

$E_B, E_{II}$  – біліктер мен жолақ материалының серпімділік модулі.

Жолақты құрылымы жаңа орнақта илемдеген кезде пайда болатын кернеулі-деформациялы күйдің ерекшеліктерін ескеріп, жанасу кернеуін есептеудің жаңадан жасалған әдістемесінде үйкеліс кернеуін анықтаудың келесі үлгісі ұсынылған (3.2 суретті қараңыз):

- бірінші қапас: деформация ошағының серпімді және сырғу бөлімдерінде мынандай сырғудың үйкеліс заңы қолданылады[99]:

$$\tau_x = \mu p_x, \quad (3.3)$$

мұндағы  $\mu$  – үйкеліс коэффициенті.

Жабысу аймағы болып табылатын бөлімде жанама кернеулер сызықты түрде үлкен мәннен  $\tau_{xmax} = \tau_x$  кіші мәнге дейін  $\tau_x \geq -\tau_x$  бейтарап қимада  $\tau_x = 0$  мәні арқылы өте отырып өзгереді. Осы өзгеруді мынандай орнекпен бейнелеуге болады:

$$\tau_x = \tau_x \left( \frac{h_x - h_i}{h_{1.нәіе} - h_i} \right), \quad (3.4)$$

мұндағы  $h_{1.скол}$  – жолақтың сырғу және жабысу шекарасындағы бөлімінің қалыңдығы;

- екінші, үшінші, төртінші қапас: ұзындығы  $x_{1.упр}$  және  $x_2$  болатын деформация ошағында (3.3) формуламен есептелетін сырғу үйкелісінің заңы қолданылды, ал жабысу аймағы болып табылатын илемді бөлімде жанама кернеулер сызықты үлкен мәннен  $\tau_{xmax} = \tau_x$  бейтарап қимада  $\tau_x = 0$  мәнінен өте отырып  $\tau_x \geq -\tau_x$ , кіші мәнге дейін өзгереді. Осындай да айтылған өзгеруді мынандай өрнекпен бейнелеуге болады[79]:

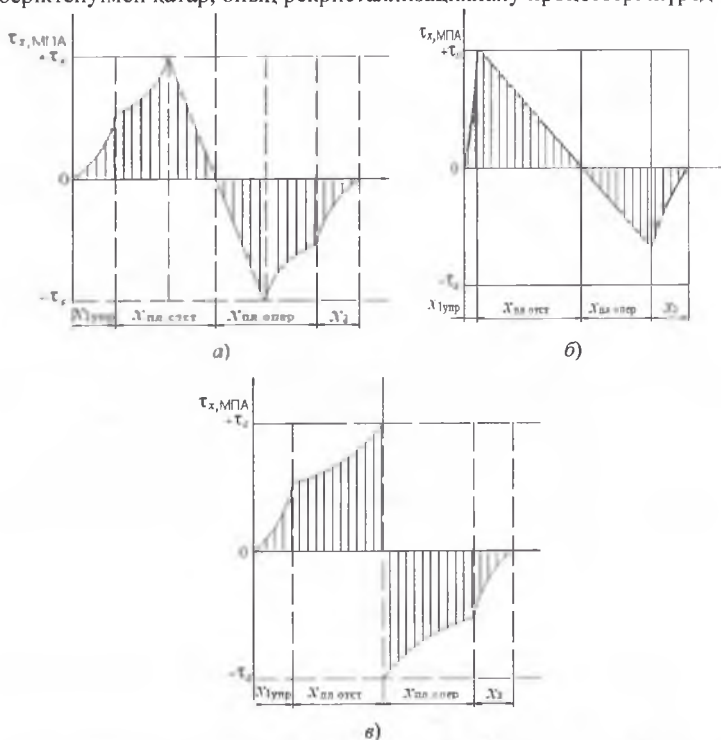
$$\tau_x = \tau_x \left( \frac{h_x - h_i}{h_{1.өіө} - h_i} \right), \quad (3.5)$$

мұндағы  $h_{1.упр}$  – жолақтың бірінші серпімді және илемді бөлімдерінің шекарасындағы қалыңдығы;

- бесінші қапас: деформация ошағынның серпімді және сырғу бөлімдерінде сырғу үйкелісінің (3.3) формуламен анықталатын заңы қолданылды.

Илемдеу күшін есептеудің әдістемесінде жабысу аймағы үшін үйкеліс жағдайының өзіне тән белгілі ерекшеліктері пайдаланылды.

Бұл аймақта нормальды және түйісетін жердегі жанама кернеулер сығу үйкелісінің коэффициентінен мүлде тәуелді емес. Осы кернеулер жолақ материалының таза ығысуға кедергісінен және жолақтың жылдамдығы  $v_{\text{ср}}$  (әрбір көлденең кимада орташа болатын) мен пішінбіліктер бөшкесінің айналу жылдамдығы  $v_b$  арасындағы айрымнан тәуелді болады. Түйісу кернеулерін есептеген кезде жанама кернеулерінің үлгілерімен бірге жолақтың деформацияға кедергі үлгісінің маңызы зор. Бұл бөлімде деформация кедергісінің келесі үлгісі ұсынылған (3.3-сурет): серпімді бөлімдерде – Гук заңы бойынша сызықты өзгеруі, илемді бөлімде – тұрақты мәнге ( $\sigma_{\text{ф.пл}}$ ) жақын етіп қабылдау. Өйткені ыстықтай илемдеген кезде металдың беріктенуімен қатар, оның рекристаллизациялану процестері жүреді.



*a* – бірінші қапас; *b* – екінші, үшінші, төртінші қапас; *в* – бесінші қапас

3.2-сурет – Деформация ошағындағы жанама түйіспелі кернеулердің өзгеру кестесі

Андерюк пен Тюленев әдісі болат маркасының деформация кедергісін  $\sigma_{ф.пл}$  анықтау үшін аса қолайлы, себебі бұл әдісте сыналған маркаларының қатары аса кең, олардың химиялық құрамы бойынша іріктеліп алынған [93].

В.И. Зюзин және А.В. Третьяков бойынша  $\sigma_{ф.пл}$  анықтау әдісі термомеханикалық коэффициенттерді және аздаған болат маркалары үшін тәжірибелі кесте бойынша негізгі кедергілерді анықтаумен байланысты. Деформация кедергісі  $\sigma_{ф.пл}$  температураның 900–1200 °С болған кезінде анықталады, бұл да осы әдісті аса төменгі температурада илемдеу өрісінде қолдануды шектейді [94]. В.И. Зюзин әдісі температура ауқымы бойынша ұқсас және аздаған болат түржіяны үшін қолданымды [95].

Болаттар үшін Зюзин мен Третьяковтың әдісіне қарағанда, деформация кедергісі 700–1200 °С температураларының аса кең ауқымында А.А. Динниктің графоталдамалық әдісі бойынша анықталады. Дегенмен, бұл әдісті қолдану да болаттың аздаған түржіянымен шектеулі [93].

Андерюктің әдісі илемделетін болаттардың химиялық құрамы бойынша  $\sigma_{ф.пл}$  деформация кедергісі үшін ЭЕМ-де қолдануға ыңғайлы, дегенмен бұл әдіс 800–1300 °С температурасының ауқымында қолданылады, 800 °С-ден кем температурада бұл әдістің қателігі үлкен болады [116].

Белгілі формулаларды талдағаннан кейін  $\sigma_{ф.пл}$  есептеу үшін Я. С. Шварцбарт-И.Г.Зуев ұсынған мынандай формуланы қолдандық [116]:

$$\sigma_{s0} = \sigma_{s1} \cdot \xi^{n_1} + D \cdot \bar{\varepsilon}_1 \cdot \exp \left[ \left( -\frac{\bar{\varepsilon}_{s1}}{\bar{\varepsilon}_{s2}} \right) \xi^{n_2} \right] - (\sigma_{s0} \cdot \xi^{n_1} - \sigma_{s1} \cdot \xi^{n_1}), \quad (3.6)$$

мұндағы  $\sigma_{s0} = \lim_{\xi \rightarrow 1} \sigma_s$  – аққыштық шегі;

$$D = -\frac{d\sigma_s}{d\varepsilon} - \text{бастапқы беріктенудің модулі};$$

$\bar{\varepsilon}_{s1}, \bar{\varepsilon}_{s2}$  – ең жоғары температурада алынған, максимальды мөлшері бар  $\sigma_s$ - $\varepsilon$  диаграммасындағы  $\sigma_{smax}$  - ке сәйкес келетін сипатамалық логарифмдік деформация;

$\sigma_{s1} = \lim_{\xi \rightarrow 0} \sigma_s$  – ағымның орныққан сатысындағы аққыштық кернеуі;

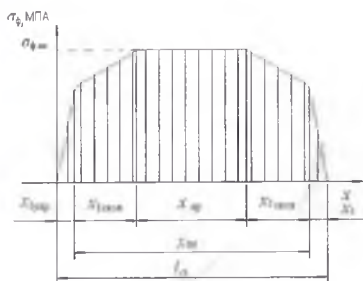
$n_1, n_{\varepsilon 1}, n_{\varepsilon 2}$  – жылдамдық көрсеткіштері.



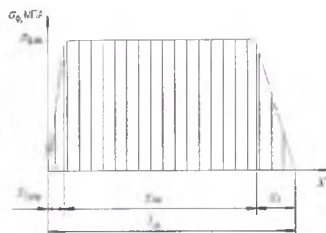
Я. С. Шварцбарт – И. Г. Зуевтің формуласы динамикалық қайтарумен және рекристаллизациямен пайда болғатын беріксіздену әсерлерін де ескереді.

3.2-кесте – Формула (3.6) бойынша  $\sigma_s$  есептеуге арналған реологикалық тұрақтылықтар

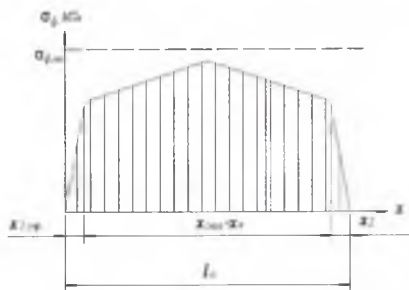
Қорытпа	t, °C	$\sigma_{s0}$ , МПа	D	$\bar{\epsilon}_r$	$\bar{\epsilon}_{x1}$	$\bar{\epsilon}_{x2}$	$\sigma_s$ , МПа	$n_1$	$n_j$	$n_{e1}$	$n_{e2}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
СтЗкп	700	230	120	0,32	0,54	0,73	170	0,08	0,11	0,05	0,04
	800	85	480	0,6	0,42	1,38	160	0,14	0,15	0,12	0,1
	900	60	615	0,35	0,27	1,06	85	0,15	0,14	0,10	0,04
	1000	45	540	0,33	0,25	1,13	62	0,18	0,13	0,07	0,05
	1100	31	450	0,3	0,24	1,14	45	0,2	0,18	0,14	0,08
	1200	26	407	0,25	0,21	1,09	35	0,21	0,19	0,07	0,06
Болат 45	700	220	1840	0,09	0,11	0,53	190	0,10	0,14	0,03	0,05
	800	86	820	0,5	0,37	1,45	118	0,12	0,10	0,07	0,07
	900	62	620	0,43	0,33	1,29	83	0,12	0,14	0,12	0,05
	1000	40	500	0,4	0,31	1,44	56	0,16	0,16	0,08	0,03
	1100	26	460	0,36	0,28	1,25	44	0,21	0,11	0,10	0,13
	1200	19	355	0,33	0,26	1,19	35	0,22	0,14	0,07	0,06
55см5 фа	900	103	605	0,51	-	-	103	0,12	-	-	-
	1100	55	265	0,43	-	-	55	0,15	-	-	-
65г	800	135	571	0,5	0,38	1,55	160	0,12	0,05	0,09	0,15
	900	80	430	0,45	0,33	1,22	120	0,10	0,06	0,09	0,09
	1000	50	430	0,5	0,30	1,14	88	0,18	0,17	0,13	0,1
17гс	600	430	700	0,2	-	-	430	0,07	-	-	-
	700	235	479	0,3	0,42	1,00	200	0,06	0,11	0,28	0,54
	800	150	394	0,62	0,46	1,77	183	0,10	0,08	0,18	0,03
	900	100	488	0,55	0,40	1,4	150	0,16	0,16	0,15	0,03
	1000	70	386	0,5	0,36	1,31	115	0,14	0,22	0,14	0,06
	1100	45	480	0,4	0,30	1,13	80	0,18	0,14	0,09	0,09



a)



б)



в)

*a* – бірінші қапас; *б* – екінші, үшінші, төртінші қапас; *в* – бесінші қапас

3.3-сурет – Ыстықтай илемдейтін кеңжолакты орнақтың *i*- қапасындағы түйісу доғасының ұзындығы бойынша деформация кедергісінің өзгеруінің үлгілі сұлбасы

Нормальды түйіспелі кернеулерді және илемдеу күштерін есептеу келесі формулалармен жүргізілді:

- бірінші қапас: Симсон формуласының негізіндегі көптеген регрессиялы талдауды қолданылған зерттеу нәтижелері бойынша [117] БИКО-ның (ыстықтай илемдейтін кеңжолакты орнақ) таза тобында жұқа жолақтарды илемдеу күшін анықтауға арналған үлгісі әзірленген. Жолақта ұзындығы  $x_{\text{лупр}}$  тең серпімді жаншуды пайда болғызатын және ұзындығы  $x_{\text{пл}}$  тең сырғу мен жабысу аймақтарын өзіне қосып илемді деформацияны пайда болғызатын бірінші қапаста нормальды түйіспелі кернеулерді және илемдеу күшін есептеу үшін мынанай түрі бар белгілі үлгіні қолдандық.

$$P_1 = \alpha_p \sigma_{\text{с.к.}} Q_p \left( 1 - \frac{q_0 + q_1}{2,3\sigma_{\text{с.к.}}} \right) / b, \quad (3.7)$$

мұндағы  $q_0$  мен  $q_1$  – артқы және алдыңғы меншікті тартылулар;  
 $Q_p$  – түйіспелі үйкелістің, сыртқы аймақтар ықпалын және жолақ енін ескеретін коэффициент;  
 $\alpha_p$  – бейімделу коэффициенті;  
 $Q_p$  есептеу үшін мына формула қолданылды

$$Q_p = 0,692 + 0,008 \frac{R}{h_1} + 1,984\varepsilon + 0,016\varepsilon \frac{R}{h_1} - 2 \cdot 10^{-6} \left( \frac{R}{h_1} \right)^2 - 1,188\varepsilon^2, \quad (3.8)$$

ал  $\alpha_p$  есептеген кезде тәжірибелік деректерді регрессиялық талдаумен алынған келесі теңдеуді пайдаландық [87]

$$\alpha_p = 0,2527 + 13,8433(1 - 0,0205\varepsilon + 0,2485k_l) Q_p \sqrt{\frac{h_1 \varepsilon}{R(1+\varepsilon)}}, \quad (3.9)$$

мұндағы  $R$  – жұмыс пішінбілік бөшкесінің радиусы;  $\varepsilon$  – салыстырмалы жаншу;

$h_1$  – жолақтың алдыңғы ұшындағы қалыңдық;

$k_l = l_{c1}/l_x$  – кабысу;

$$k_l = 1 + 3,95 \cdot 10^{-6} \sigma_{\text{с.к.}} \frac{R}{h_1} \sqrt{\frac{1+\varepsilon}{1-\varepsilon}}, \quad (3.10)$$

мұндағы  $l_{c1}$  және  $l_x$  – жұмыс пішінбіліктерінің кабысқаны ескерілген және ескерілмеген деформация ошағының ұзындығы;

- екінші, үшінші, төртінші қапас: екінші, үшінші, төртінші қапастарда пайда болатын нормальды түйіспелі кернеулердің орташа мәндерін есептеу үшін 3.3-кестесінде [110] келтірілген теңдеулер пайдаланылды.

Әрбір үш бөлімдегі кернеулердің белгілі болған орташа мәндері бойынша барлық деформация ошағы үшін орташа болатын орташа нормальды түйіспелі кернеуін мынандай формуланы қолданып есептедік:

$$p_{cpi} = \frac{1}{l_{ci}} (p_1 x_{1ypp} + p_{2,3} x_n + p_4 x_2) \quad (3.11)$$

- бесінші қапас: илемді бөлімдер мен деформация ошағының сырғу бөлімдерінде сырғу үйкелісінің заңы қолданғандықтан түйіспелі (меншікті) қысымды  $p_{cp}$  бағалау үшін А.И. Целиковтың мынандай формуласын қолдандық [89]:

$$p_{cp} = 1,15 \{ [x_{0i} \sigma_{s0i} h_0 / (d - 2)] [(h_0 / h_n)^{d-2} - 1] + [x_{1i} \sigma_{s1i} h_1 / (d + 2)] [(h_n / h_1)^{d+2} - 1] \} / \Delta h, \quad (3.12)$$

мұндағы  $h_0, h_1$  – деформация ошағынан шыға берістегі және кіре берістегі жолақтың қалыңдығы;

$p_{cp}$  -ға алдыңғы тартудың ықпалын сипаттайтын коэффициент:

$$x_{0i} = 1 - q_{0i} / (1,15 \sigma_{s0i}) - \quad (3.13)$$

$p_{cp}$  -ға артқы тартудың ықпалын сипаттайтын коэффициент:

$$x_{1i} = 1 - q_{1i} / (1,15 \sigma_{s1i}) - \quad (3.14)$$

деформация ошағының параметрі (Целиков А.И. бойынша):

$$d = 2\mu l_n / \Delta h - \quad (3.15)$$

$h_n = [x_{0i} / x_{1i} (h_0)^d - 1 (h_1)^d + 1]^{1/2d}$  – бейтарап қимадағы (жанама кернеулердің таңбасы өзгертін қимадағы) жолақтың қалыңдығы;  $\sigma_{s0i}, \sigma_{s1i}$  – деформация ошағының шыға берісі мен кіре берісіндегі илемді деформацияның кедергісі;  $\Delta h = h_0 - h_1$  – абсолюттік жаншу.

Екінші, үшінші, төртінші және бесінші қапастардағы илемдеу күшін есептеу үшін мынандай белгілі формуланы қолдандық [118]:

$$P = p_{cpi} \cdot l_{ci} \cdot b, \quad (3.16)$$

мұндағы  $b$  – илемделетін жолақтың ені;

3.3-кесте – Нормальды түйіспе кернеулердің орташа мәндерін есептеуге арналған формулалар [91]

Бөлім	Формула
Ұзындығы $x_{1\text{нп}}$ серпімді бөлім	$p_1 = 1,15E_{\text{II}} \left\{ \frac{1}{\delta_{i-1}} + \frac{L}{\delta_{i-1}} \left[ \left( \frac{\delta_{i-1} - 1}{(\delta_{i-1} + 1)\delta_{i-1}} - \frac{q_0}{1,15E_{\text{II}}} \right) (D^{\delta_{i-1} + 1} - 1) - 2 \ln D \right] \right\},$ <p>где <math>\delta_{i-1} = \frac{\mu_i}{\text{tg} \alpha / 2}</math>; <math>D = \frac{E_{\text{II}}}{E_{\text{II}} - \sigma_{i,i}}</math>; <math>L = \frac{\lambda_i - \sigma_{i,i}}{\sigma_{i,i}}</math></p>
Ұзындығы $x_{\text{II}}$ жабысу аймағы	$p_{2,3} = \frac{2r_s}{h_{2\text{нп}} - h_{1\text{нп}}} \left\{ 1 + \frac{0,5}{\text{tg} \alpha / 2 (h_{1\text{нп}} - h_{\text{II}})} \left[ h_{1\text{нп}} (\ln h_{2\text{нп}} - 1) - h_{1\text{нп}} (\ln h_{1\text{нп}} - 1) \right. \right.$ $\left. \frac{0,25(h_{2\text{нп}}^2 - h_{1\text{нп}}^2)}{\text{tg} \alpha / 2 (h_{1\text{нп}} - h_{\text{II}})} + \frac{p_{1\text{нп}}}{2r_s} + \frac{0,5}{\text{tg} \alpha / 2 (h_{1\text{нп}} - h_{\text{II}})} \right.$ $\left. - \left[ 1 + \frac{0,5}{\text{tg} \alpha / 2 (h_{1\text{нп}} - h_{\text{II}})} \right] \ln h_{1\text{нп}} (h_{2\text{нп}} - h_{1\text{нп}}) \right\}$
Ұзындығы $x_2$ серпімді бөлім	$p_4 = 1,15E_{\text{II}} \left\{ \frac{1}{\delta_i} + \frac{L}{\delta_i + 1} \left[ \left( \frac{\delta_i - 1}{(\delta_i + 1)\delta_i} - \frac{q_1}{1,15E_{\text{II}}} \right) (D^{\delta_i + 1} - 1) - 2 \ln D \right] \right\}$

Ескертпе –  $h_{1\text{нп}}$  – бірінші серпімді және илемді бөлімдер шекарасындағы жолақтың қалыңдығы;  $h_{2\text{нп}}$  – екінші серпімді және илемді бөлімдердің шекарасындағы жолақтың қалыңдығы  $v$ ;  $p_{1\text{нп}}$  – нормальды түйіспелі кернеудің мәні.

Илемдеу қуаты келесі жолмен анықталған:

Ұсынылған орнақтың бірінші қапасында жұқа жолақтарды илемдеген кезде жұмыс пішінбіліктерінің моментін есептеуге мынандай белгілі тәуелділікті пайдаландық [97]:

$$M_{1p} = K_M [2P\psi l_c + R(q_0 h_0 - q_1 h_1)] \quad (3.17)$$

мұндағы  $h_0$  – жолақтың артқы жағы ұшының қалыңдығы;  $\psi$  – іін коэффициенті;

[97] еңбегінде түрлі факторлардың әсер етуін ескере отырып көптеген регрессиялық талдау жасау арқылы алынады:

$$\psi = 0,168 - 0,31\sqrt{m_{\text{нп}}} + 5 \cdot 10^{-4} \left( \frac{R}{h_1} \right)^2 + 0,948 \frac{1}{k_1}, \quad (3.18)$$

мұндағы  $m_{\text{спл}} = 2l_c / (h_0 + h_1)$  – жұмыс біліктерінің серпімді қабысуы ескерілген деформация ошағының биіктік факторы;  
 $K_M$  – моменттің бейімделу коэффициенті.

$$K_M = 0,745 + 10,1 \left[ 1 - 0,576k_i - 2,133Q_r \sqrt{\frac{h_1 \varepsilon}{R(1+\varepsilon)}} \right] \varepsilon. \quad (3.19)$$

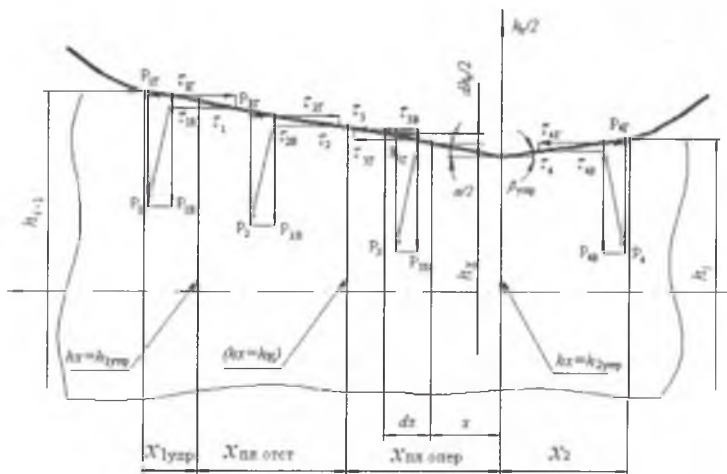
Жаца ориактың екінші, үшінші және төртінші қапастары үшін біз қабылдаған ыстықтай илемдеу қуатын есептеу әдістемесі [104-112] еңбектерден алынған және Э. А. Гарбер мен И. А. Кожевникова суықтай илемдеу ориактары үшін әзірлеген әдістемеге ұқсас. Бұл әдістеме 3.4-суретте ұсынылған деформация ошағы сұлбасына негізделген. Осы ретте деформация ошағы екі серпімді аймақтан және олардың арасында орналасқан бір илемді аймақтан тұрады деп қабылданды.

Серпімді бөлімдерде нормальды кернеулер  $p_x$  және түйіспелі кернеулер  $\tau_x$  формула (3.3) есептелетін үйкеліс заңымен байланысқан.

Илемді бөлім ұзындықтары  $x_{\text{пл отст}}$  және  $x_{\text{пл опер}}$  болатын қалу және озу аймақтарынан тұрады және тұтастай жабысу аймағында орналасқан, сондықтан осы бөлімде жолақ пен біліктердің беттері арасында сырғу болмайды, яғни, жолақтар мен біліктердің түйісуінде үйкеліс орны қалыпты. Жанама кернеулері бұл бөлімде тәуелділікке сәйкес өзгереді (3.5).

[34–62] еңбектерінде 3.4-суретінің есептік сұлбасына сәйкес илемдеу қуатын анықтау үшін әрбір деформация ошағының бөлімі үшін илемдеу осіне параллель және осы оське перпендикуляр бағыттағы нормальды және жанама күштерінің жұмысын қосып, илемдеудің меншікті жұмысының мәнін алдық.

Осындай жолмен алынған илемдеудің меншікті жұмысының мәндері 3.4-кестеде келтірілген.



3.4-сурет – Үйкеліс күшінің жұмысы мен деформация ошағының серпімді илемді үлгісін ескере отырып илемдеу қуатын анықтауға арналған есептеу сұлбасы

3.4-кесте – Өрбір деформация ошағы бөлімінде біліктер жүргізетін жолақты илемдеудің меншікті жұмыстарын есептеу формулалары [84–92]

Бөлім	Формула
Ұзындығы $x_{1yup}$ серпімді бөлім	$a_1 = \tau_1 \left( \frac{1}{tg\alpha/2} + tg\alpha/2 \right) \ln \frac{h_{1,1}}{h_{1yup}}, \quad (\tau = \mu p_1)$
Ұзындығы $x_{nл отст}$ калу аймағы	$a_2 = \frac{\tau_2}{2} \left( \frac{1}{tg\alpha/2} + tg\alpha/2 \right) \ln \frac{h_{1yup}}{h_n}$
Ұзындығы $x_{nл опер}$ озу аймағы	$a_3 = -\frac{\tau_2}{2} \left( \frac{h_n - h_{2yup}}{h_{1yup} - h_n} \right) \left( \frac{1}{tg\alpha/2} + tg\alpha/2 \right) \ln \frac{h_n}{h_{2yup}}$
Ұзындығы $x_2$ серпімді бөлім	$a_4 = -\tau_3 \left( \frac{1}{tg\beta_{yup}} + tg\beta_{yup} \right) \ln \frac{h_1}{h_{2yup}}, \quad (\tau_3 = \mu p_1)$

Бұл мәндердің Э. А. Гарбер мен И. А. Кожевникова суықтай илемдеу орнағы үшін алған илемдеудің меншікті жұмысының

формуласынан басты ерекшелігі илемді бөлімде  $a_2$  және  $a_3$  шамалары үйкеліс коэффициентіне тәуелді еместігінде.

3.4-кестеде келтірілген мәндерді талдау келесі тұжырымдарды [84–92] жасауға негіз болады:

1) Илемдеу жұмысы мен қуаты жанама кернеулерінен туындаған тек жанама күштеріне тәуелді, нормальды түйіспелі кернеулерге жұмыс тікелей тәуелді емес;

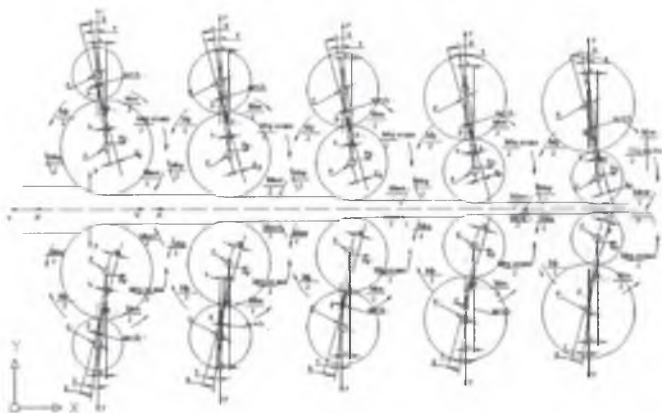
2) Біліктер пайдалы жұмысты тек бірінші серпімді бөлімде және қалу аймағында жасайды, ал озу аймағы мен екінші серпімді бөлімде жолақ білікке жұмсалған энергияның бөлігін қайтарады ( $a_3$  және  $a_4$  теріс шамалар).

Жолақ  $i$ -қапасында орналасқан пішінбілік арқылы өткен кезде 3.4-кесте [84–92] онда пайда болатын илемдеудің меншіктік жұмысын, меншіктік жұмыстарды өзара қосу арқылы анықтадық, яғни:

$$a_{\text{пр}} = a_1 + a_2 + a_3 + a_4. \quad (3.20)$$

$i$ -қапастағы жолақты илемдеу қуатын белгілі формула бойынша есептедік [89]:

$$N_{\text{пр}i} = a_{\text{пр}i} v_i h_i b. \quad (3.21)$$



3.5-сурет – Құрылымы жаңа орнақ қапастарының тұрақты жылдамдығы кезіндегі күштері мен моменттерін есептеу сұлбасы



Ұсынылған орнақтың екінші, үшінші, төртінші «кварто» қапастары мен суықтай илемдеу қапастарының құрылымы бірдей болғандықтан, бас жетектің параметрлерін есептеу үшін тербелу үйкелісінің шығындарын есепке алатын жалпы әдістемені қолдандық. «Кварто» қапасындағы күштер мен моменттердің есептеік сұлбасы 3.5 суретінде келтірілген.

Осы әдістемеге сәйкес, жұмыс қапастарының бас жетегі қозғалтқыштарының қуаты тұрақты илемдеу жылдамдығы кезінде мынаған тең [119]:

$$N_{\text{деп}} = N_p / \eta, \quad (3.22)$$

мұндағы  $\eta$  – бас жетектің тізбегінің ПӘК;

$N_p$  – илемді деформация жасау және үйкелістің барлық түрлерінен, соның ішінде жұмысшы және тіреуіш біліктердің арасындағы тербелу үйкелісінен өту үшін қажетті қуат [89]:

$$N_p = M_p \omega_p, \quad (3.23)$$

мұндағы  $\omega_p$  – жұмыс білігінің бұрыштық айналу жылдамдығы;

$M_p$  – жұмыс біліктерінің жетегіне қажетті момент (жылдамдық алу және тежеу кездеріндегі инерция моментін ескерілмеген) [89]:

$$M_p = M_{\text{пр}} + M_{\text{нат}} + M_{\text{тр.п}} + M_{\text{оп}}, \quad (3.24)$$

мұндағы  $M_{\text{пр}}$  – илемдеу моменті;

$M_{\text{нат}}$  – жолақтың тартылу күшінің моменті;

$M_{\text{тр.п}}$  – жұмысшы біліктерінің мойынтіректеріндегі үйкеліс моменті;

$M_{\text{оп}}$  – бос тіреу біліктерін айналдыру үшін қажетті момент.

Төменде әрбір көрсетілген моменттерді анықтау әдістері қарастырылған.

Илемдеу моментін илемдеу қуаты арқылы дұрыс есептеуге болады [89]:

$$M_{\text{пр}} = \frac{N_{\text{пр}}}{\omega_p}, \quad (3.25)$$

Артқы және алдыңғы тарту күштерінен пайда болатын момент мынаған тең [89]:

$$M = \Delta N \frac{D}{2}, \quad (3.26)$$

мұндағы  $\Delta N$  – жолақтың артқы және алдыңғы тартылуының айырмашылығы,  $\Delta N = N_0 - N_1$ ;

$D_p$  – жұмыс білігі бөшкесінің диаметрі.

Жұмыс біліктері мойынтіректерінің үйкеліс моменті мына формуламен анықталады [89]:

$$M_{TP} = \eta_{n,p} \frac{d_{n,p}}{2} [\Delta N - 2P \cdot \operatorname{tg}(\theta + \gamma)] \quad (3.27)$$

мұндағы  $\mu_{n,p}$  – жұмыс біліктері мойынтіректерінің үйкеліс коэффициенті;

$d_{n,p}$  – осы мойынтіректердің жұмыс диаметрі;  $P$  – илемдеу күші;

$\theta$  – білік арасындағы күштің түсу жазықтығы мен жұмыс біліктерінің осінен өтетін жазықтық арасындағы бұрышы;

$\gamma$  – тіреуіш біліктің тік остік жазықтығы мен жұмыс біліктерінің осінен өтетін жазықтық арасындағы бұрышы.

Бос тіреуіш біліктерінің жетектеріне кәжегті момент мынаған тең [89]:

$$M_{\text{бос}} = \frac{2P}{\cos(\theta + \gamma)} \left[ \frac{D_p}{2} \sin \theta + c b_{\text{он}} \cdot \cos \theta \right] \quad (3.28)$$

мұндағы  $c$  – тербелу үйкелісі иінінің өлшемсіздік коэффициенті;  $b_{\text{он}}$  – білік арасындағы түйісу алаңы енінің жартысы.

[94] еңбегінде тербелу үйкелісі иінінің коэффициентін анықтау үшін ыстықтай илемдеу режимдерінің технологиялық және энергиякүштік параметрлері туралы деректер жасады, оларда келесі мәліметтер бар: жаншу; қапсаралық тартылу; илемдеу жылдамдығы; түйісу кернеулері; илемдеу күші мен қуаты; тербелу үйкелісінің иіні коэффициентінің шамасы, олардың ішінде жұмыс қапастары қозғалтқыштары қуатының өлшенген және есепті мәндерінің арасындағы айырмашылығы төмен; білік арасындағы түйісуде нормальды кернеу жоғары; жұмыс және тіреуіш біліктердің салыстырмалы бұрыштық жылдамдықтары.

Алынған деректер қоры өңделіп, регрессиялы теңдеулер алынды:

$$c = 1,256938 - 0,000409\rho_0 - 0,04717 \omega_{\text{отн.}} \quad (3.29)$$

Жаңа құрылымдағы орнақта болат маркасына, жаншу және тарту режімдеріне қарамастан илемдеу кезінде деформация ошақтарындағы жабысу аймақтары болмайтындығы белгілі болды.

Құрылымы жаңа орнақтың бесінші қапасына дейін 3.5-кестесінде [90] келтірілген илемдеудің меншікті жұмысының мәнін пайдалануға болады.

3.5-кесте – Біліктер әрбір деформация ошағында жасайтын, жолақтарды илемдеу меншікті жұмысының есептік формулалары

Бөлім	Формула
Ұзындығы $x_{1\text{упр}}$ серпімді бөлім	$a_1 = \tau_1 \left( \frac{1}{\text{tg}\alpha/2} + \text{tg}\alpha/2 \right) \ln \frac{h_a}{h_{1\text{упр}}}$ ,
Ұзындығы $x_{\text{пл отст}}$ калу аймағы	$a_2 = \tau_2 \left( \frac{1}{\text{tg}\alpha/2} + \text{tg}\alpha/2 \right) \ln \frac{h_{1\text{упр}}}{h_{\text{т}}}$
Ұзындығы $x_{\text{пл опер}}$ озу аймағы	$a_2 = \tau_3 \left( \frac{1}{\text{tg}\alpha/2} + \text{tg}\alpha/2 \right) \ln \frac{h_{\text{т}}}{h_{2\text{упр}}}$
Ұзындығы $x_2$ серпімді бөлім	$a_4 = -\tau_4 \left( \frac{1}{\text{tg}\beta} + \text{tg}\beta \right) \ln \frac{h_c}{h_{2\text{упр}}}$ ,

Жолақтың 5-қапастың білігі арқылы өткен кезіндегі илемдеудің меншікті жұмысы 3.5-кестеде көрсетілген меншікті жұмыстың (3.20) жиынтығы болып табылады.

5-қапаста жолақты илемдеу қуатын жоғарыда келтірілген әдіс бойынша есептедік.

Орнақтың барлық қапастары үшін шақтама қуатын мына формула бойынша есептедік:

$$N_{\text{доп}} = N_{\text{дв}} \eta, \quad (3.30)$$

мұндағы  $N_{\text{дв}}$  – козғалтқыш қуаты, кВт;

$\eta$  – қуат шығынының жалпы коэффициенті.

Илемдеудің шақтама моменті мына формула бойынша есептелді:

$$M_{\text{доп}} = N_{\text{доп}} / \omega, \quad (3.31)$$

мұндағы  $\omega = V_b / R$ .

Тиісінше:

$$M_{\text{дон}} = \frac{N \cdot R}{V_b} \quad (3.32)$$

мұндағы  $R$  – жұмыс біліктерінің радиусы, м;

$V_b$  – жұмыс біліктерінің жылдамдығы, м/с:  $V_b = V_{\text{пл}} / (1 + s)$ .

$V_{\text{пл}}$  – жолақтың жылдамдығы, м/с;

### 3.2 Құрылымы жаңа илемдеу орнағының негізгі тораптарын есептеу және құрастыру

Біліктердің беріктілігі мен қатандығын есептеу. Құрылымы жаңа орнақтың біріңгі қапастарындағы илемді жоғары температураның және слябтың шамадан артық қалыңдығы салдарынан барынша үлкен жаншуды жүргізу керек [7]. Бұл кезде бастапқы үш қапастағы жалпылай жаншуды осы топтың соңғы қапастарында илемдеудің аса жоғары температурасын қамтамасыз ете отырып барынша жоғары етіп таңдау қажет.

Құрылымы жаңа орнақтың қапастары бойынша илемдеу күші мен илемдеу қуатын қапастардың жұмыс бөлшектеріне шақтама күштерді, сондай-ақ жетекші қозғалтқышқа түсірілетін шақтама күштерді ескере отырып, таңдау қажет [7]. Бұл ретте бастапқы үш қапастан кейін орнақтың барлық тұржиыны үшін илем қалыңдығының ауқымы барынша тар болуы керек.

Қарпу бұрышы болат табағын ыстықтай илемдейтін құрылымы жаңа орнақтың бастапқы үш қапасынан өту арқылы жаншуды шектеуші негізгі фактор болып табылады [7]. Бұл жағдайда барынша жаншу  $\Delta h_{\text{max}}$ , мм, өту үшін мына формуламен анықтайды:

$$\Delta h_{\text{max}} = 0,5 \cdot k_i \cdot D_p \cdot \alpha^2, \quad (3.33)$$

мұндағы  $D_p$  – жаңа жұмыс біліктерінің диаметрі, мм;

$k_n$  – қайта қайрау коэффициенті  $k_n=0,9 - 0,92$ -ге тең деп қабылдауға болатын;

$\alpha$  – берілген біліктер үшін шақтама қарпу бұрышы.

Бастапқы үш қапаста ажарлау бөшкесі бар шойын жұмыс біліктерін қолданған кезде [7] шақтама қарпу бұрышы 16–17 градустан аспауы керек, ал болат біліктерді қолданған кезде (мысалы

9ХФ болатынан) – 18–20 градустан аспауы керек. Әр өтудегі илемдеу күші келесі формула бойынша анықталған біліктердің беріктілігі ( $P_{доп}$ , МН) шақтама күштен аспауы керек.

Құрылымы жаңа орнақтың бастапқы үш қапасы үшін [7]:

1) тіреуіні біліктердің бөшкелерінің беріктілігі жағдайынан:

$$P_{доп} = 0,8 \cdot D_{оп}^3 \cdot \sigma_u / (2\alpha - L); \quad (3.34)$$

2) тіреуіш біліктің мойын беріктілігі жағдайынан:

$$P_{доп} = 0,4 \cdot d_{оп}^3 \cdot \sigma_u / (l_{оп}); \quad (3.35)$$

3) жұмыс білік мойнының бұрау беріктілігі жағдайынан:

$$P_{доп} = 0,4 \cdot d_{раб}^3 \cdot \tau_{кр} \sqrt{R\Delta h}. \quad (3.36)$$

Екі білікті қапастар үшін:

$$P_{доп} = 0,8 \cdot D_{раб}^3 \cdot \sigma_u / (2a - b) \quad (3.37)$$

мұндағы  $D_{оп}$  – тіреуіш біліктерінің диаметрі, мм;

$D_{раб}$  – жұмыс біліктерінің диаметрі;

$D_{оп}$  – тіреуіш білігінің мойын диаметрі,

Біліктердегі шақтама кернеуді, МПа, олардың статикалық беріктілігінің бес еселі қорынан шыға отырып қабылдайды [7], яғни:

$$\sigma_s = \sigma_a / 5, \quad (3.38)$$

мұндағы  $\sigma_b$  – білік материалының беріктік шегі, МПа.

Біліктердің материалы мен оларды дайындау тәсіліне байланысты шақтама кернеулердің келесі мәндерін қабылдауға болады, МПа: шойын біліктер үшін 70–80; коспаланған шойын біліктер үшін 80–90; құйма болат біліктер үшін 100–120; соғылған болат біліктер үшін 120–130; коспаланған болаттан соғылған білік үшін 140–160.

Шақтама кернеулердің бұл мәндері тек иілісті ғана емес, сонымен бірге бұрауды да ескереді [7].

Біліктердің материалында пайда болатын қорытындылаушы (баламалаушы) кернеу, МПа, мына формулалар бойынша анықталады [7]:

- болат біліктер үшін беріктіліктің 4-ші теориясы бойынша:

$$\sigma_{\text{эк}} = \sqrt{\sigma_s^2 + 3\tau^2}; \quad (3.39)$$

шойын біліктер үшін Мордың беріктік теориясы бойынша:

$$\sigma_{\text{эк}} = 0,375 \cdot \sigma + 0,625 \sqrt{\sigma_s^2 + 4\tau^2}. \quad (3.40)$$

Қорытындылаушы кернеу осы біліктер үшін шақтамадан асып кетпеуі керек [7].

Құрылымы жаңа орнақтың қапастарында өту үшін жаншуды тіреуіш және жұмыс біліктерінің мойын беріктіліктерімен шектейміз. Әрбір өту кезінде біліктердің беріктілігімен шақтама күштен аспауы қажетті илем күші мына формула бойынша анықталады: [17]

$$P = p_{\text{ср}} \cdot b \cdot l = p_{\text{ср}} \cdot b \sqrt{R \Delta h}, \quad (3.41)$$

мұндағы  $p_{\text{ср}}$  – илемдеудің орташа қысымы, МПа;

$\Delta h$  – өту кезіндегі жаншу, мм;

$R$  – білік радиусы, мм;

$b$  – илемделетін жолақтың ені, мм.

Бұл формуладан өту кезіндегі жаншу барынша жоғары болатыны көрініп тұр.

$$\Delta h = (P / p_{\text{ср}} \cdot b) / R. \quad (3.42)$$

Илемдеудің шақтама моментін төменде келтірілген формуламен анықтаймыз, (Н·м) :

$$M_{\text{пр}} = 2P_{\text{дем}} \cdot \psi \cdot l, \quad (3.43)$$

мұндағы  $\psi$  — илемдеу күшіне тең қолданылатын иін коэффициенті.

Ұсынылған орнақтың бірінші қапасы үшін  $\psi$  коэффициентін 0,48-ге тең, соңғыларын –  $\psi = 0,34$  деп қабылдауға болады.  $\psi$  коэффициентін келесі формула бойынша анықтаймыз [7]:

$$\psi = 0,498 - 0,0283 [2 \cdot l_d / (h_1 + h_2)]. \quad (3.44)$$

мұндағы  $l_d$  – қарпу доғасының ұзындығы, мм;  
 $h_1$  – жолақтың өткенге дейінгі қалыңдығы;  
 $h_2$  – жолақтың өткеннен кейінгі қалыңдығы.

Илемдеу қуаты бойынша шектеулерді электрлі қозғалтқыштардың қалыпты жылу режімі жағдайларынан алынады, оларға сәйкес илемдеудің орташа шаршылы қуаты қозғалтқыштың атаулы қуатынан аспауы керек [7]. Илемдеудің лездік қуатының шектік мәні (кВт)

$$N = N_H \sqrt{T/\tau}, \quad (3.45)$$

мұндағы  $N_H$  – басты қозғалтқыштың атаулы қуаты, кВт;  
 $T$  – илемдеу ыргағы, с;  
 $\tau$  – қарастырылатын қапастың машиналық уақыты, с.

Айналдыру моменті бойынша шектеу ретінде айналдырықтар мен бас электр қозғалтқышы үшін айналдыру моментінің ең кіші шақтама мәні қабылданады [7]. Қозғалтқыш арттыратын шекті моментті төменде келтірілген формуламен де анықтауға болады:

$$M = i \cdot M_H \cdot \lambda, \quad (3.46)$$

мұндағы  $M_H$  – электрлі қозғалтқыштың атаулы моменті, Н·м;  
 $\lambda$  – қозғалтқыштың артық жүгінің шақтама коэффициенті (каталогтан алынады);

$i$  – бәсеңдеткіштің беріліс саны (бәсеңдеткішсіз жетегі бар құрылымы жаңа орнақтардың қапастары үшін,  $i = 1$ ).

Ыстықтай илемдейтін орнақтардың жаншу режімін есептеген кезде салыстырмалы жаншудың шамасы бойынша жаншуларды есептеу әдісі қолданылады [7]. Салыстырмалы жаншу шамасына осы қапастағы абсолюттік жаншудың,  $\varepsilon = (\Delta h/h_1) \cdot 100$  % пайыздарымен көрсетілген, біліктерге кіре берісіндегі жолақтардың қалыңдығына қатынасы қабылданады.

Шақтама салыстырмалы жаншу  $\varepsilon_{\text{доп}}$  мәні қапастың сипаттамасына, бастапқы дайындаманың қалыңдығына, орнақтың түріне байланысты болады [7]. Бірінші үш қапас үшін  $\varepsilon_{\text{доп}}$  мәнін 17–28 %-дан 35–50 %-ға дейін қабылдаймыз.

Жұқа жолақтарды өндіру кезінде құрылымы жаңа орнақтың қапастарында (тек соңғы екі қапастан басқасы) жаншу шамасын шектеуші негізгі факторы ретінде басты жетектер қуаты мен жабдық элементтерінің беріктілігі болып табылғандықтан [7], орнақтың өнімділігін 20–30 %-ға арттыру үшін бас жетектердің қуаттылығын

50–60 %-ға ұлғайта аламыз. Құрылымы жаңа орнақтың қапастар бойынша жаншуларын бастапқы  $i$  3 қапасты біркелкі жүктеу және 4-ші және 5-ші қапастардағы салмақты біраз азайту жағдайынан шыға отырып бөлген дұрыс болады. Бұл жағдайда жаншуды (мм) мына формула [7] бойынша есептеуге болады

$$h_i = \frac{h_o - h_r}{[\beta_i h_r^n + (1 - \beta_i) \gamma_i^n]^m}, \quad (3.47)$$

мұндағы  $h_i$  – жолақтың  $i$ -қапастан шыға берісіндегі қалыңдығы, мм;

$h_o$  – жартылай таза илем қалыңдығы, мм;

$h_r$  – дайын жолақ қалыңдығы, мм;

$\beta_i$  – қапастарды жүктеу коэффициенті ( $i = 1$ -ден  $n$ -ге дейін қапастардағы илемдеуге жұмсалатын қуат жалпы таза топтың барлық қапастары жұмсайтын илемдеудің ортақ қуатына қатынасы).

Жолақтардың дәл өлшемін алу үшін құрылымы жаңа орнақтың соңғы екі қапасында салыстырмалы жаншуды 20 және 10–15 %-ға азайту қажет. Дегенмен, соңғы қапастағы үздіксіз топтың деформациясы құрылымды қалыптастыру кезінде, жаншулар қатерлі механизм мәніне жақын болған жағдайда жолақтың құрылымына кері әсерін тигізуі мүмкін. Қатерлі жаншу кезінде деформацияның біркелкі болмауы есебінен жекелеген түйіршіктердің артуына жағдай туғызылады, осының нәтижесінде құрылым беріктіліктің төмендеуіне және илемнің механикалық қасиеттерінің тұрақсыздығының артуына әкелетін біртектілікпен сипатталады. Көміртегі төмен болаттар (Ст1, Ст2, Ст3, 08, 10, 15) үшін қатерлі деформация дәрежесі илемді деформация температурасы 850–900 °С-ге жеткен кезде 8–12 %-ды құрайды.

Илемді деформацияны құрылымы жаңа орнақта кінкене аралық уақытпен бірнеше рет деформациялау арқылы жүзеге асырады. Егер екі деформацияның арасындағы уақыт ішінде бірінші қайта кристалдау үрдісі өтіп үлгерсе, онда бұрынғы деформация жолақтың құрылымын қалыптастыруға әсерін тигізбейді және қатерлі жаншу туралы ұғым өз күшінде қалады. Деформациялар арасындағы уақыт кезінде 0,8 с-тан артық илемделетін жолақты қайта кристалдау ісі көп жағдайда аяқталады. Бұл 0,6–1,2 мм қалыңдықтағы жолақтарды илемдеу жағдайына жатады. Деформациялар арасындағы уақыт беріксіздендіру және қайта кристалдау үрдістері өтін үлгермейтіндей соншалықты аз болса, онда алдындағы деформацияның әсері кейінгісінің әсеріне қосылады, яғни, бірнеше рет деформацияны



жоғары жаншуы бар жалғыз деформация ретінде қарастыруға болады. Жаншулар арасындағы уақыт 0.8 с-тан аз болса, онда қайта кристалдау толық өтіп үлгермейді [ $\tau = (0,34 - 0,4)$  с кезінде беріксіздендіру енді ғана басталады]. Нәтижесінде екі деформацияның әсері қосылады, және деформацияның жалпы жағдайы 20–25 %-ға тең болады. Бұл жағдайда илемдеу күшін анықтау үшін алдыңғы деформациядан қалған беріктендіруді білу керек [7]

$$\Delta\sigma_{TK} = \Delta\sigma_{TH} \exp[-\tau/(4,14 - 0,0036 \cdot t)] \quad (3.48)$$

мұндағы  $\Delta\sigma_{TK}$  – металды  $\tau$  уақыты арқылы қалдықтық беріктендіру шамасы, МПа;

$\Delta\sigma_{TH}$  – бастапқы деформация кезіндегі қалдықтық беріктендіру шамасы.

Тұғырдың беріктілігі мен қатаңдығын есептеу [88, 99]. Тұғырды металды илемдеген кезде пішінбіліктің мойынағына әсер ететін ең үлкен тік күшке есептейді. Металды қарпыған және керілумен илемдеген кезде пішінбілікке және тұғырға әсер ететін көлденең күшті әдетте елемейді. Өйткені тік күшпен салыстырғанда олардың мөлшерлері шамалы.

Есептеуді жеңілдету үшін жабық типті тұғырды бірдей екі тіреуіштен ( $l_1$ ) және екі маңдайшадан ( $l_2$ ) тұратын қатаң тікбұрышты қаңқа түрінде (немесе бұрыштары жұмырланған қаңқа түрінде) көрсетеді (3.6-сурет).

Пішінбіліктің төменгі жастығы жағынан төменгі маңдайшаға және жоғарғы жастық жағынан жоғарғы маңдайшаға тік күштер  $Y$  әсер етеді. Қаңылтыр илемдейтін орнақтарда осы күш мынаған тең:  $Y = P_{max}/2$ .

Күш  $Y$  әсерімен қатаң қаңқа бұрыштарында статикалық анықталмайтын моменттер  $M_1$  және  $M_3$  пайда болады. Моменттердің бағыттары 3.6-сурет көрсетілген. Осы моменттер тұғырдың терезесінің иігінде тіреуіштерді, ал маңдайшаны  $Y$  күшінің әсеріне қарама қарсы неді. 3.6-сурет кималардың ауырлық центрі арқылы жүргізілген тұғырдың маңдайшалары мен тіреуіштерінің кимасының бейтарапты сызықтары көрсетілген.

Осы суретте тағы да олардың тұғыр серпімді деформацияланғанда өзгеруі көрсетілген. Жоғарғы маңдайшаның орташа кимасы басқыш сомын және басқыш бұрама үшін жасалған тесіктермен әлсіретілген болғандықтан және осы тесіктерді білдекте кеулейжонғанда қимада кернеуді шоғырландырғыштар пайда болатындықтан, тұғырдың талап етілетін беріктік қорын қамтамасыз

ету үшін осы киманың өлшемдерін құрылымды былай қабылдайды: жоғарғы маңдайшаны кимасының инерциялық моменті  $J_1$  төменгі маңдайшаның кимасының инерциялық моментінен  $J_3$  үлкен болуы керек (әдетте  $n = J_1 / J_3 = 1,2 \div 1,4$ ).

Статикалық анықталмайтын  $M_1$  және  $M_3$  моменттерін келесі жолмен анықтайық. Қатаң қаңқаны бұрыштары кесілген және төрт еркін екі тіректі аркалықтарды құратын ғып көрсетеміз. Маңдайшаның тіреуіштерімен қосылыстарындағы қатаң бұрыштардың әсерін ескеру үшін кесілген аркалықтарға және олардың тіректерінде  $M_1$  және  $M_3$  моменттерін түсірейік. Сөйтіп жүйе (қатаң қаңқа) статикалық анықталатын болды. Біз оны белгілі қарапайым тәсілдермен есептей аламыз.

Жанаманың және иілген осьтің еңкею бұрышы  $\theta$  аркалықтың тіректі нүктесінде моментті жүктемеден пайда болатын тіректің қарсы әсерін аркалық қатаңдығына бөліп былай анықтайтындығы:  $\theta = R/(EJ)$  материалдар келергісі пәнінен белгілі. [88]

Жоғарғы және төменгі маңдайшаларды  $Y$  күшімен иген кезде моментті жүктеме моменттер эпюрінің ауданына (үшбұрыштың), яғни  $Y_1 / 4 l_1/2$ , ал тіректегі қарсы әсер моментті жүктеменің жартысына, яғни  $R = Y_1^2 / 16$  тең болады. Сонымен төменгі және жоғарғы маңдайшалардағы  $\theta$  бұрышының мәні  $J_1 \neq J_3$  болған кезде мынаған тең болады ( $l_1 = l_3$ ) [118]:

$$\theta_1' = Y_1^2 / (16EJ_1); \theta_3' = Y_1^2 / (16EJ_3). \quad (3.49)$$

Тірекке түсірілген  $M_1$  және  $M_3$  моменттерімен маңдайшалар илген кезде моменттер эпюрінің ауданы  $M_1 l_1$  және  $M_3 l_1$  тең болғандықтан тіректің қарсы әсері осы мәндердің жартысына тең болады. Сондықтан иілген осьтің еңкею бұрышы мынаған тең болады [118]:

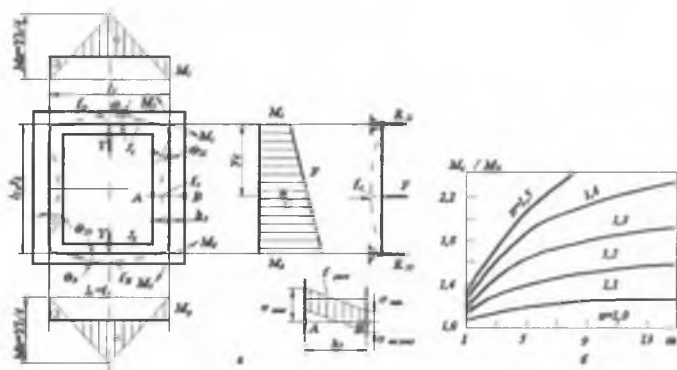
$$\theta_1'' = M_1 l_1 / (2EJ_1); \theta_3'' = M_3 l_1 / (2EJ_3). \quad (3.50)$$

Тіректегі  $Y$  күші және  $M_1$  және  $M_3$  моменттері әсер етуінен әрбір маңдайшаның иілуі әр түрлі бағыттарға бағытталға. Сондықтан тіректегі осьтердің нәтижелік бұрылу бұрышын мынандай айырым түрінде жазуға болады [88]:

$$\theta_3 = Y_1^2 / (16EJ_3) - M_3 l_1 / 2EJ_3; \quad (3.51)$$

Ұзындығы  $l_2$  болатын тік тіреуіштер тіректе әсер ететін  $M_1$  және  $M_3$  моменттерімен тұғырдың терезесінің ішіне қарай иіледі. Трапециялық эпюрдің моментті ауданы (өйткені  $M_1 \neq M_3$ ) және осы ауданнан тіректегі кері әсер мынаған тең болады[88]:

$$y_c = \frac{M_1 + 2M_3}{M_1 + M_3} \cdot \frac{l_2}{3}; \quad R_{21} = (2M_1 + M_3) \frac{l_2}{6}; \quad R_{23} = (M_1 + 2M_3) \frac{l_2}{6}.$$



3.6-сурет – Жабық түрдегі тұғырдың есептеу сұлбасы

Төменгі және жоғарғы тіректегі тік тіреуіштің бұрылу бұрышы мынаған тең [118]:

$$\theta_{21} = R_{21}/(EJ_3); \quad \theta_{23} = R_{23}/(EJ_3). \quad (3.52)$$

Қатаң қаңқадағы бұрыштық тіректер маңдайшаға да ( $l_1$  ұзындықты) және тіреуішке де ( $l_2$  ұзындықты) жататын болғандықтан, олардың бұрылу бұрышы бір бірімен тең болуы қажет. Бұрыштарды былай теңестіріп:  $\theta_1 = \theta_{21}$  және  $\theta_3 = \theta_{23}$  қатаң қаңқа бұрыштарындағы статикалық анықталмайтын моменттер үшін келесі мәндерді аламыз[88]:

а) жоғарғы және төменгі маңдайшаға әсер ететін тік күштен пайда болатын моменттер ( $l_1 = l_3$  болған кезде)  $M_{II} = \gamma l_1/4$ ;

б) қатаң қаңқаның жоғарғы және төменгі бұрыштарында әсер ететін реактивті моменттер

$$M_1 = \frac{M_{\Pi}}{2} \frac{1}{1 + \frac{(3n+m)m}{3n+(2-n)m}}; \quad M_3 = \frac{M_{\Pi}}{2} \frac{1}{1 + \frac{(3+m)m}{3n+(2n-1)m}}. \quad (3.53)$$

$$\begin{aligned} \text{мұндағы } n &= J_1/J_3 > 1; \\ m &= J_1/J_2 \cdot l_2/l_1 \gg 1. \end{aligned}$$

Егер  $J_1 = J_3$  және  $n = 1$  болса, онда реактивті иетін момент үшін, қатаң тікбұрышты қаңқаға материалдар кедергісі пәнінен белгілі, келесі формуланы аламыз[88]

$$M_0 = M_1 = M_3 = M_{\Pi}/2 \cdot 1/(1+m). \quad (3.54)$$

3.6, б) – суретіндегі кысық сызықтарды қараудан реактивті моменттердің қатнасы  $M_3/M_1$  параметр  $m$  үлкейген сайын көбейетіндігі шығады ( $n > 1,2$  болған кезде).

Металды илемдегенде тұғырдың маңдайшасында және тіреуішінде пайда болатын кернеулерді анықтайық.

Тұғырдың маңдайшасы  $Y$  күшінің және  $M_1$  және  $M_3$  моменттерінің әсерлерінен иілуге түседі. Осындайда соңғылары  $Y$  күшінің июші әсерін азайтады [118].

Жоғарғы маңдайшаның ортасындағы есептелген июші моменттер және созытын кернеулер мынаған тең:

$$M_B = M_{\Pi} - M_1; \quad \sigma_B = M_B/W_1, \quad (3.55)$$

ал төменгі маңдайшаның ортасында олар мынаған тең:

$$M_H = M_{\Pi} - M_3; \quad \sigma_H = M_H/W_3, \quad (3.56)$$

мұндағы  $W_1$  және  $W_3$  – төменгі және жоғарғы маңдайшалардың ортанғы қимасының кедергі моменттері.

Тұғырдың әрбір тіреуіші (оң жағы және сол жағы)  $Y/2$  күшімен созылады және тіреуіш биіктігі бойынша ( $l_2$  ұзындығы) өзгертін моментпен иіледі. Айтылған момент  $M_1$  мөлшерінен (тіреуіштің жоғарғы жағында)  $M_2$  мөлшеріне дейін (тіреуіштің төменгі жағында) өзгереді. Осы моменттердің әсерімен тіреуіш тұғыр терезесі ішіне қарай иіледі. Сондықтан тіреуіштің сыртқы жағында қысу кернеулері (3.6-суретіндегі В нүктесі), ал тіреуіштің ішкі жағында тарту кернеулері (3.6-суретіндегі А нүктесі) пайда болады.

Тіреуіштің биіктігі бойынша орташа көлденең кима үшіс қосынды тартатын кернеу ( $A$  нүктесі) мынаған тең болады[118]:

$$\sigma_{\max} = \frac{Y}{2F_2} + \frac{M_1 + M_3}{2W_2} \quad (3.57)$$

мұндағы  $F_2$  және  $W_2$  – тіреуіштің  $AB$  кимасының ауданы және кедергі моменті.

Тұғырлар илемдеу орнағының ірігабаритті және ең жауапты тетіктері болып саналады.

Сондықтан оларды беріктік қоры үлкен ( $n > 10$ ) құйылған көміртекті болаттардан жасайды ( $\sigma_s = 500 - 600$  МПа).

Есептуші рұқсат етілетін мынандай кернеулерді қолданады: көміртекті болаттардан жасалған тұғырлар үшін:  $[\sigma] = 50 - 60$  МПа.

Қаңылтырды ыстықтай әсіресе суықтай илемдейтін кең жолақты орнақтарда тек қана тұғырдың беріктігіне (оларда пайда болатын кернеудің мөлшерімен сипатталатын) мән бермейді, ал тағы да илемдеген кезде серпімді деформацияның мөлшерімен анықталатын олардың қатаңдығына мән береді. Егер пішінбілікке түсетін күш өзгерген кезде (илемдеген кезде әр түрлі технологиялық параметрлердің өзгеру себебінен, мысалы илемделетін металдың температурасы мен ағым шегі өзгерсе) тұғырдың серпімді деформациясы едәуір өзгертін болса, онда илемделген жолақтарда қалыңдық бойынша өлшемнің шақтамасын артып алақалыңдық пайда болады.

Тік бағыттағы тұғырдың серпімді деформациясы екі маңдайшаның иілу деформациясының және тұғыр тіреуішінің созылу деформациясының қосындысы болып саналады.

$Y$  күшінің және  $M_1(M_3)$  моменттерінің июінен қатаң қаңқаның маңдайшасының нәтижелік иілуі мынаған тең (бұл материалдар кедергісі пәнінен белгілі) [119]:

$$\text{жоғарғы маңдайшасы үшін } f_B^* = \frac{I_1^2}{8EJ_1} \left( \frac{Y_1}{6} - M_1 \right) = \frac{Y_1^2}{48EJ_1} \left( 1 - 6 \frac{M_1}{Y_1} \right);$$

$$\text{төменгі маңдайшасы үшін } f_H^* = \frac{I_3^2}{8EJ_3} \left( \frac{Y_3}{6} - M_3 \right) = \frac{Y_3^2}{48EJ_3} \left( 1 - 6 \frac{M_3}{Y_3} \right).$$

$$f_{\Pi}^* = f_B^* + f_H^* \quad (3.58)$$

$l_1$  ұзындығымен салыстырғанда мандайшаның қалыңдығы үлкен болатындықтан әрбір мандайшаның ортасында көлденең күштің әсерінен пайда болатын серпімді деформацияны мынандай формуламен ескеру қажет [99]:

$$f_n^* = k \frac{Y l_1}{4GF_1} = \frac{Y}{E} \cdot 0,8 \frac{l_1}{F_1}; \quad f_n^* = \frac{Y}{E} \cdot 0,8 \frac{l_1}{F_3}; \quad f_{n1}^* = f_n^* + f_n^* = \frac{Y}{E} \cdot 0,8 l_1 \left( \frac{1}{F_1} + \frac{1}{F_3} \right), \quad (3.59)$$

мұндағы  $k$  – қиманың пішіні коэффициенті (арқалық-мандайшаның тікбұрышты қимасы үшін  $k = 1,2$ );

$G$  – ығысу модулі: болаттан жасалған құйма үшін  $G = (3/8)E = 0,75 \cdot 10$  МПа.

$Y$  күшімен тұғырдың тіреуішін созғанда пайда болатын деформацияны былай табуға болады [88]

$$f_2 = \frac{Y l_2}{2EF_2}, \quad (3.60)$$

мұндағы  $E$  – серпімділік модулі, : болаттан жасалған құйма үшін  $E = 2,10^5$  МПа.

Тұғырдың тік деформациясының қосындысын былай анықтауға болады[119]

$$f_{n0} = (f_B^* + f_B^*) + (f_H^* + f_H^*) + f_2 = f_B + f_H + f_2. \quad (3.61)$$

Көптеген жағдайда мынаған рұқсат берілетіндіктен:  $M_1 = M_3 = M_0$ ;  $F_1 = F_3$  жоғарғы және төменгі мандайшаның иілуін бірдей ғып қабылдауға болады. Онда мынаны жаза аламыз[119]:

$$2f_n = \frac{Y}{E} \left[ \frac{l_1^3}{24J_1} \left( 1 - \frac{3}{41+m} \right) + 1,6 \frac{l_1}{F_1} \right], \quad (3.62)$$

$$f_{n0} = 2f_n + f_2. \quad (3.63)$$

Тік бағытпен ( $Y$  күші әсер ететін бағытпен) тұғырдың қосынды деформациясы мына мөлшерден асып кетпеуі қажет: суықтай илемдейтін орнақтар үшін 0,3–0,5 мм; ыстықтай илемдейтін орнақтар үшін 0,6–1,0 мм ( $Y = 5 \div 15$  МН болған кезде).

Тәжірибе жүзінде тұғырдың серіппелік қасиетін берілген күш  $Y$  түскендегі серпімділік деформациясының мөлшерімен сипаттау ғана

ыңғайлы емес, ал тағы да мынандай құрылымдық серіппелік қатаңдықпен сипаттау ыңғайлы (қатаңдық модулімен  $C$ , МН/мм) [119].

$$C = \frac{Y}{f_{cr}} = tg\alpha. \quad (3.64)$$

Осы қатаңдық модулі қандай күште  $Y$  деформация 1 мм тең болатындығын көрсетеді.

Қаралған (3.58), (3.59), және (3.60) формулаларынан маңдайшаның және тіреуіштің барлық серпімділік деформациясы  $Y$  күшіне пропорциональды екендігі көрініп тұр. Осы деформацияның мәндерін (3.64) формуласының бөлгіш бөліміне қойып мынаны аламыз ( $n = 1$  және  $F_1 = F_3$  болған кезде):

$$C = \frac{E}{\frac{l_1^3}{24J_1} \left( 1 - \frac{3}{4} \frac{1}{1+m} \right) + 1,6 \frac{l_1}{F_1} + \frac{l_2}{2F_2}}. \quad (3.65)$$

Сөйтіп тұғырдың қатаңдығы  $Y$  күшінің нақты мәнінен тәуелді болмайды (өйткені  $tg\alpha = const$ ). Осы қатаңдық тек құрылымдық өлшемдермен, мынандай параметрлермен:  $l_1, l_2, F_1, F_2, J_1, J_2$  және тұғыр материалының серпімділік модулімен  $E$  анықталады.

Жаңа илемдеу орнағын жобалаған кезде жұмыс қapasы тұғырының келесі қатаңдық мәні қабылданды, МН/мм:  $C = 10 - 15$ .

Тұғырдағы бұрандаманың бұранда беріктілігі мен қатаңдығын есептеу [94]. Н.Е. Жуковский жүргізген зерттеулер көрсеткендей, бұрандама орамы мен тұғыр саңылауының өзара әрекеттесу күші елеулі дәрежеде ретсіз бөлінген. Дегенмен орамдар бойынша нақты жүктеме бөлу сипаты есептелуі қиын және көптеген факторлармен (нақты емес дайындау, бұранданың, құрылымның, тұғыр саңылауының, бұрандаманың тозу деңгейі) байланысты. Сондықтан бұранданы есептеу кезінде шартты түрде барлық орамның бірдей жүктелгендігін есептейді, ал есептегі дәлсіздікті шақтама кернеудің мәні толтырады.

Бұранда беріктілігінің шартының кесінді түрі [94]

$$\tau_{cr} = Q / A_{cr} \leq [\tau_{cr}] \quad (3.66)$$

мұндағы  $Q$  – ось күші;  $A_{cp}$  – кесілген орамдардың кесінді аймағы; бұрандама үшін  $A_p = \pi d_1 k H_r$ , тұғырдың саңылаулары үшін  $A_p = \pi D k H_{r1}$ . мұндағы  $H_r$  – саңылау тереңдігі;  $k$  – бұранда орамдарының бастама енін ескеретін коэффициент; бұрандама үшін  $k \approx 0,75$ , саңылаулар үшін  $k \approx 0,88$ ; трапеция және тіреулік бұранда үшін:  $k \approx 0,65$ ; тікбұрышты бұранда үшін  $k = 0.5$ . Егер бұрандама мен тұғырдың саңылауы бір материалдан жасалған болса, онда бұрандаманы ғана кесіп тексереді, өйткені  $d_1 < D$ .

Бұранданың беріктілігі шартының жаншылу түрі [84]

$$\sigma_{cm} = Q / A_{cm} \leq [\sigma_{cm}] \quad (3.67)$$

мұндағы  $A_{cm}$  — жаншылуудың шартты ауданы (бұрандама мен тұғыр саңылауының бұрандасының түйісу ауданының оське перпендикуляр жазықтығының жобасы):  $A_{cm} = \pi d_2 h z$ , где  $\pi d_2$  – орташа диаметрдегі бір айналымның ұзындығы;  $h$  – бұранда пішінінің жұмыс биіктігі;  $z = H_r / p$  – биіктігі  $H_r$  тұғыры саңылауының ішіндегі бұранданың айналымдар саны;  $p$  – бұранда қадамы (стандарт бойынша бұранда пішінінің жұмыс істеу биіктігі  $H_1$  болып белгіленген).

Ұсынылған ыстықтай илемдеу орнағында бұрандама өзегі  $Q$  күшімен тартылады және бұранда ішінде  $M_p$  моментімен бұрайды.

Тарту кернеуі  $\sigma_p = Q / (\pi d_p^2 / 4)$ , бұраудың максималды кернеуі  $\tau_k = M_p / W_p$  [121], где  $W_p = 0.2 d_p^3$  – бұрандама қимасының бұрауға кедергі болу моменті;  $M_p = 0.5 Q d_2 \text{tg}(\psi + \varphi')$ . Осы формулаларға бұранданың  $\psi$  көтеру бұрышының, метрлік бекітуші бұранда үшін  $\varphi'$  келтірілген үйкеліс бұрышының орташа мәндерін келтіре отырып және энергетикалық беріктік теориясын қолдана отырып мынаны аламыз [84]

$$\sigma_{\text{зад}} = \sqrt{\sigma_p^2 + 3\tau_p^2} \approx 1,3\sigma_p. \quad (3.68)$$

Осыдан, беріктік шартына сәйкес  $\sigma_{\text{жв}} \leq [\sigma_p]$ ,

$$\sigma_{\text{зад}} = 1,3Q / (\pi d_p^2 / 4) = Q_{\text{зад}} / (\pi d_p^2 / 4) = [\sigma_p], \quad (3.69)$$

мұндағы  $Q_{\text{расч}} = 1,3Q$ , а  $[\sigma_p]$  - тарту кезіндегі шақтама кернеуі.



Осылайша тарту мен бұрауға жұмыс істеп тұрған бұрандаманы шартты түрде 1,3 есе ұлғайтылған остік күші бойынша тартуға ғана есептеуге болады [84]:

$$d, \geq \sqrt{4Q_{max} / (\tau \sigma_s)} \quad (3.70)$$

Мұнда тартылған бұрандама қосылыстарының сенімділігі көп жағдайда жинақтау сапасына, яғни зауытта құрастыру, пайдалану және жөндеу кезіндегі созылуын бақылауға байланысты болады.

Құрылымы жаңа орнақ тұғырының бұрандама қосылыстарын алғаш рет  $Q$  күшімен тартқан кезде бұрандама созылып, ал жалғанатын бөлшектері қысылатыны белгілі.  $R$  сыртқы остік күш түскеннен кейін бұрандама созылады, нәтижесінде тарту біраз дейін қысқарады. Сондықтан бұрандамаға түсірілістің жалпы жүктеме  $F < Q + R$ , ал оның статика әдістерімен анықтау мәселелері шешілмеді [84].

Есептеу ыңғайлы болуы үшін  $R$  сыртқы жүктеменің бір бөлігін бұрандама қабылдаса, қалған бөлігін жалғанатын тіреуіштерге түседі, ал тарту күші бастапқыда қалатын болып келісілген, ол кезде  $F = Q + kR$ , мұндағы  $k$  – сыртқы жүктеменің қай бөлігі бұрандамаға түсіп тұрғанын көрсететін сыртқы жүктеме коэффициенті.

Бұрандама мен тұғырдың жалғанатын бөлшектерінің  $R$  күшінің әсерімен деформациясының жігін ашқанға дейін тең болғандықтан, мынаны жазуға болады [84]:

$$kR\lambda_o = (1 - k)R\lambda_d, \quad (3.71)$$

мұндағы  $\lambda_o$ ,  $\lambda_d$  – бұрандама мен тұғырдың жалғанатын бөлшектерінің тиісті икемділігі (яғни, I Н күшінің әсерімен деформация). Соңғы теңдіктен алатынымыз [84]

$$k = \lambda_d / (\lambda_o + \lambda_d). \quad (3.72)$$

Бұл жерден, тұғырдың жалғанатын тетіктерінің икемділігі бұрандама икемділігі тұрақтылығы артқан сайын сыртқы жүктеме коэффициенті артатыны көрініп тұр. Сондықтан тұғырдың тетіктерін төсемсіз жалғаған кезде  $k = 0,2... 0,3$ , ал серпімді төсемелермен –  $k = 0,4... 0,5$  қабылданады.

Тұғырдың жалғанатын бөлшектері қабылдаған сыртқы күштің бөлшегі бастапқы тарту күшіне тең болған кезде, яғни  $(1 - k)R = Q$

кезде жік ашылатыны белгілі. Жіктің ашылмауына кепілдік болатын жағдайлар, [84]

$$Q = K(1 - k)R, \quad (3.73)$$

мұндағы  $K$  – тарту коэффициенті; тұрақты жүктелген кезде  $K = 1,25 \dots 2$ , айнымалы жүктелген кезде  $K = 1,5 \dots 4$ .

[84] еңбегінде тартылған бұрандамаларды есептеу  $Q$  тартудың 1,3 есе арттырылған күші бойынша жүргізілетіндігі белгілі болды. Сондықтан қаралатын жағдайда, есептік күш [121]:

$$Q_{расч} = 1,3Q + kR, \quad (3.74)$$

ал бұрандаманың есептік диаметрі:

$$d_p \geq \sqrt{4Q_{расч} / (\tau [\sigma_p])}. \quad (3.75)$$

Берілген орнақта дәлдігі жоғары бұрандаманы тұғырдың саңылаусыз жалғанатын тетіктерінің жазылған саңылауларына қояды, және ол қиып әрі жаншылып жұмыс істейді. Мұндай бұрандаманың беріктік шартының түрі [121]:

$$\tau_{cp} = 4F / (\pi d_0^2 i) \leq [\tau_{cp}]; \quad \sigma_{ci} = F / (d_0 \delta) \leq [\sigma_{ci}], \quad (3.76)$$

мұндағы  $i$  – кию жазықтығының саны;  $d_0 \delta$  – жаншылудың шартты ауданы, егер  $\delta > (\delta_1 + \delta_2)$ , онда есепке (тегік материалдары бірдей болған кезде) кішкене шама алынады. Әдетте беріктік жағдайынан бұрандама өзегінің диаметрін қиып анықтайды, содан кейін жаншылуды тексеру есебін жүргізеді.

Шақтама кернеулер материалдың аққыштық шегіне байланысты анықтаған, атап айтқанда [84]: созып есептегенде  $[\sigma_p] = \sigma_T / [s]$ ; қиып есептегенде  $[\tau_{cp}] = 0,4\sigma_T$ ; жаншылып есептегенде  $[\sigma_{ci}] = 0,8\sigma_T$ .

Беріктік қорының шақтама коэффициентінің мәні  $[s]$  жүктеу сипатына (статикалық немесе динамикалық), жалғауды жинақтау сапасына (бақыланатын және бақыланбайтын тартылу), бекіту бөлшектерінің материалына (коміртекті немесе қоспалы болат) және олардың атаулы диаметрлеріне байланысты.

Қоспалы болаттан жасалған бекіту бөлшектері үшін (аса жауапты қосылыстар үшін қолданылады) беріктік қорының шақтама коэффициенті мәнін көміртекті болатқа қарағанда 25 %-ға артық алынады.

Айнымалы жүктеме кезінде беріктік қорының шақтама коэффициенттерінің мәндері  $[s] = 2,5... 4$  шамасында ұсынылады, сонымен бірге, шекті кернеу ретінде бекітуші бөлшектің материалының төзімділік шегін қабылдайды. Айнымалы жүктеме кезінде қима есептеуде шақтама кернеулердің мәндерін  $[\tau_{cp}] = (0,2...0,3)\sigma_T$  шамасында алады (төменгі мәндер қоспалы болаттар үшін).

Қысушы бұраманың және сомынның беріктігін есепету [88, 89] Берілген орнақтың бастапқы үш қапасында қысу механизмі пайдаланылмайды, дегенмен соңғы екі қапаста қысу механизмі қарастырылған. Сондықтан соңғы қапастар үшін қысушы бұраманың және сомынның беріктігін есептеуді қарастырамыз.

Қысушы бұраманың диаметрі илемдеу кезінде оған әсер ететін күшке байланысты анықтайды [88, 99]

$$d_1 = \sqrt{\frac{4P}{\pi[\sigma]}} \quad (3.77)$$

мұндағы  $d_1$  – бұрама кесіндісінің ішкі диаметрі;

$P$  – бұрамаға түсетін барынша күш;

$[\sigma]$  – бұраманы қысу шақтама кернеуі.

Қысушы сомынның диаметрі  $D$  мен оның биіктігі  $H$  келесі қатынастардан таңдалады [88, 99]:

$$D = (1,5 - 1,8)d_0; H = (0,95 - 1,1)D,$$

мұндағы  $d_0$  – бұраманың сыртқы диаметрі.

Бұрама мен сомынды таңдап алып тексеру есебі орындаған.

Бұраманың төменгі тіреу ұшының қысу кернеуі:

$$\sigma = \frac{4P}{\pi d_n^2} \quad (3.78)$$

Бұрама денесіндегі бұрау кернеуі:

$$\tau = \frac{M_b}{0,2d_n^3} \quad (3.79)$$

мұндағы  $M_B$  – бұрамамен берілетін айналдырушы момент

$$M_s = P_s \left[ \frac{d_{\sigma}}{2} \operatorname{tg}(\alpha \pm \varphi) + \mu_n \frac{d_s}{3} \right], \quad (3.80)$$

мұндағы  $P_s$  – илемдеу уақытында бұраманы жылжыту кезінде бұрамаға түсетін күш  $P_s = P/2$ , мұндағы  $P$  – илемдеу күші.

Кіліру кезінде бұраманы жылжытқанда –  $P_s = (0,2 - 0,4) \frac{G}{2}$ , мұндағы  $G$  – тең салмақты бөлшектердің салмағы;  $d_n$  – қысу бұрамасы табанының диаметрі;  $\mu_n$  – табандағы үйкеліс коэффициенті;  $d_{cp}$  – қысу бұрамасының бұранда орташа диаметрі;  $\alpha$  – бұранданың көтерілу бұрышы;  $\varphi$  – бұранданың үйкеліс бұрышы.

Келтірілген кернеулер бұрама денесінде

$$\sigma_{\sigma} = \sqrt{\sigma_{\sigma}^2 + 4\tau_2} \leq [\sigma] \quad (3.81)$$

мұндағы  $[\sigma]$  – шақтама кернеулер,  $[\sigma] = \frac{\sigma_s}{n}$ ;

$n$  – беріктілік қорының коэффициенті.

Есептеу кезінде сомындар формула бойынша сомынның орам санын анықтады:  $z = H/s$ , мұндағы  $H$  – сомын биіктігі;  $s$  – бұранда қадамы.

Бұрама орамы мен сомын арасындағы жаншылу кернеулерін формула бойынша анықталды:

$$\sigma_{\sigma} = \frac{4P}{\pi(d_0^2 - d_1^2)} \quad (3.82)$$

мұндағы  $d_0$  – бұранданың сыртқы диаметрі;

$d_1$  – бұранданың ішкі диаметрі.

Сомынның тұғырға түйісу ауданы бойынша сомынның жаншылу кернеуі формула бойынша есептеледі:

$$\sigma_{\sigma} = \frac{4P}{\pi(D^2 - d_{\text{отв}}^2)} \leq [\sigma]_{\sigma}, \quad (3.83)$$

мұндағы  $D_0$  – сомын диаметрі;

$d_{\text{отв}}$  – тұғырдағы саңылаудың диаметрі;

$[\sigma]_{\text{см}}$  – жаншылудың шақтама кернеуі [88, 99].

Құрылымы жаңа орнақ қапастарының арасындағы қашықтық пен тігінен орналасқан біліктердің көлденең остерінің ауытқуын есептеу. Ұсынылып отырылған орнақтың бастапқы үш қапасында қысу механизмінің болмауына байланысты, сондай-ақ илемдеу бағытында жұмыс пішінбіліктерінің диаметрінің, яғни илемдеу бағытында пішінбілік арасындағы саңылаудың кішіреюіне байланысты, тік бағыт бойынша пішінбіліктердің көлденең остерінің ығысуын дұрыс есептеу қажет болды. Жоғарғы пішінбіліктердің көлденең остерінің тік бағытта төмен немесе төменгі пішінбіліктерінің осы бағытта жоғары ығысуын құрылымдық түрде мынандай формуламен есептедік:

$$\Delta x_i = 0,25 \cdot k_n \cdot D_p \cdot \alpha^2, \quad (3.84)$$

мұндағы  $\Delta x_i$  – құрылымы жаңа орнақтың  $i$ -ші қапастағы жоғарғы пішінбіліктердің көлденең остерінің тік бағытпен төмен қарай және төменгі пішінбіліктердің көлденең остерінің тік бағытпен жоғары қарай ығысуы;

$D_p$  – жаңа жұмыс пішінбіліктерінің диаметрі, мм;

$k_n$  – қайта жону коэффициенті  $k_n = 0,9 - 0,92$ -ге тең деп қабылдауға болатын;

$\alpha$  – осы пішінбіліктер үшін шақтамалы бұрыш.

Жаңа орнақты құрастырған кезде қапас аралық тартулар шамасын азайту үшін қапастар арасындағы қашықтықты дұрыс анықтау қажет болды. Барлық қапастарда өнделетін жолақтың ені бірдей болатындықтан, жаңа орнақтың қапас аралық қашықтығын анықтау үшін біз бір секундта өтетін көлемдердің тұрақты болуы заңын қолдандық [7]:

$$h_1 \frac{\pi D_{k1} n_1}{60} (1 + s_1) + h_2 \frac{\pi D_{k2} n_2}{60} (1 + s_2) + \dots + h_n \frac{\pi D_{kn} n_n}{60} (1 + s_n) \quad (3.85)$$

мұндағы  $n$  – пішінбіліктердің айналу жылдамдығы;

$D_k$  – пішінбіліктердің илемдеу диаметрі;

$s$  – пішінбіліктерден шыға берістегі озу.

Соңғы болып жазылған (3.85) формуланы талдау негізінде мынандай қортынды жасауға болады: қапас аралық тартуды азайту

үшін осы қапаста пайда болатын озу шамасына әрбір қапастың арасындағы ара қашықтықты үлкейту керек.

### 3.3 Жұқа ыстықтай илемделген жолақты илемдеудің энергиякүштік параметрлерін және құрылымы жана илемдеу орнағының негізгі тораптарының құрылымдық өлшемдерін есептеу нәтижелерін талдау

Илемдеудің энергиякүштік параметрлерін есептеу VBA «Excel» тілінде жүргізілді. Осы энергиякүштік параметрді есептегенде жаншу режимін орнақтың ең жоғарғы өнімділікпен илемдеуіне және қапасқа біркелкі күш түсіруіне байланысты таңдадық.

Таңдалған жаншу режимі келесілерді қамтамасыз етуі керек:

- MEMST талаптарына немесе техникалық шарттарға сәйкес келетін өнім сапасын;
- механикалық және электрлі жабдықтардың мүмкіндіктерін аса толық және тиімді пайдалануды;
- металдың ең төменгі шығын коэффициенті мен өнімнің төменгі өзіндік құнын;
- реттеу және басқару жүйелерін пайдалану мүмкіндігі мен жоғарғы тиімділігін.

Жоғарыда келтірілген әдістеме бойынша I – V қапастарда илемдеу параметрлерін есептеу нәтижесі 3.6-кестеде келтірілген.

3.6-кесте – 08 кп болатты илемдеу үрдісі параметрінің есептік деректері

Қапас №	Илемд еуге дейін-гі калың дық $h_0$ , мм	Илемд елген нен кейін-гі калың дық $h_1$ , мм	Абсол юттік жан-шу, $\Delta h$ , мм	Жола ктың ені, В, мм	Қа-тыс-тық жан-шу $\varepsilon$	Мета л-дың темпе ратур а-сы, °С	Илем-деу жыл-дам-дығы V, м/с	Илем-деу күші, кН	Электр козғалт кышы-ның қуаты, кВт
№1 ДУО	4	2,5	1,5	200	0,38	1100	1	723	0,84
№2 Кварто	2,5	1,75	0,75	200	0,3	1080	1,1	345	0,61
№3 Кварто	1,75	1,15	0,6	200	0,34	1060	1,2	380	0,48
№4 Кварто	1,15	0,85	0,3	200	0,26	1040	1,3	275	0,33
№5 Кварто	0,85	0,6	0,25	200	0,29	1020	1,4	238	0,24

Деформацияның кедергісін қалдықтық қақталмасын  $\sigma''_{\text{р}}$  және  $\sigma'_{\text{р}}$  ескеріп және ескермей салыстыру тиісінше, қалдықтық беріктендірілгенді асырып беріктендіру салдарынан  $\sigma$  анықтау қапастан қапасака қарай ұлғая беретіндігі, соңғысында 33,8 %-ға жететіндігін көрсетеді.

Илемдеу күштері мен шақтама күштердің, сондай-ақ жұмыс моменттері мен шақтама моменттердің қапастар бойынша таралуы 3.7–3.9-суреттерінде келтірілген.

Жаңа илемдеу орнағында жұқа жолақтарды ыстықтай илемдегенде пайда болатын энергиякүштік параметрлерді есептеп, алынған мәліметтерді қорытындылап талдағанда мынандай мәліметтер алынды:

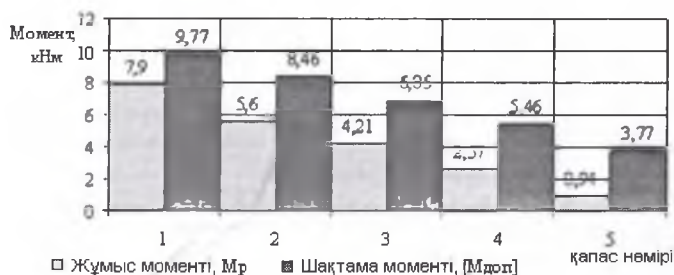
- қалдық беріктендіруді ескермей  $\sigma_{\text{ф.ил}}$  анықтағанда, осы мөлшерді анықтаудың қателігі қапастан қапасака қарай өсіп, соңғысында 33,8 %-ға жетеді;

- жаңа құрылымы бар орнақта жұқа жолақты илемдеген кезде күштер, жұмыс моменттері және илемдеу қуаттары илемдеу бағытымен орналасқан бір қапастан келесі қапасака қарай азаяды;

- пішінбіліктерге әсер етіп тұрған күштердің, жұмыс моменттерінің азаюы, сондай-ақ орнақтың қаттылығының артуы, бір жағынан, қапастардың өлшемдері мен жетектің қуатын азайтуға мүмкіндік берсе, екінші жағынан илемделін жатқан жолақтың дәлдігін арттырады.



3.7-сурет– Илемдеу күштері мен шақтама күштерді қапастар бойынша тарату



3.8-сурет – Жұмыс моменті мен шақтама моменттерді қапастар бойынша тарату



3.9-сурет – Құрылымы бойынша жаңа орнақта илемдеу кезінде қапастар бойынша илемдеуге қажетті қуаттарды және шақтама қуаттарды тарату

Суреттерде келтірілген деректерден жаңа құрылымдағы орнақта илемдеген кезде түсірілетін күш, жұмыс моменттері және илемдеу қуаттары илемдеу бағытында бірінші қапастан екінші қапаста өткен кезде азаятыны көрініп тұр. Біліктерге әсер ететін күштерді, жұмыс моменттерін азайту, сондай-ақ орнақтың қатандығын арттыру бір жағынан қапастардың және жетек қуатын азайтуға, екінші жағынан илемделіп жатқан жолақтың дәлдігін арттырады.

Құрылымы жаңа илемдеу орнағының негізгі топрантарының өлшемдері 3.7-кестеде және диссертацияның қосымшасында келтірілген. Жаңа орнақ құрылымының жекелеген элементтерін беріктікке есептеп, алынған нәтижені тексеру (3.8-кесте) мынандай қорытындылар жасауға мүмкіндік берді:



- пішінбіліктер үшін есептеп алынған тиімді кернеулердің максималды мәндері (70,2 МПа), берілген материал үшін шақтамалы беріктік шегінің мәнінен (100 МПа) аспайды;

- тұғыр мен пішінбіліктерде алынған қосынды серпімді деформация 0,007 мм-ден аспайды. Бұл максималды рұқсат етілетін қосынды серпімді деформациядан аспайды;

- аса жүктелген құрылымдар бойынша беріктік қорының таралуы, қабылданған беріктік қоры коэффициенті бойынша беріктік шартын қанағаттандырады 3.8 -кесте.

### 3.7-кесте – Жұмыс қапастарының құрылымдық параметрлері

Қапас №	Жұмыс біліктерінің диаметрі $D_b$ , мм	Тіреу біліктерінің диаметрі $D_{оп}$ , мм	$L$ , білігі бөшкесінің ұзындығы мм	Мойынтірек түрі	Біліктердің айналу жылдамдығы, айн/мин
№1 ДУО	200	50	250	Конустық аунақшалы	95
№2 Кварто	125	75	250	Конустық аунақшалы	168
№3 Кварто	100	100	250	Конустық аунақшалы	229
№4 Кварто	75	125	250	Конустық аунақшалы	331
№5 Кварто	50	200	250	Конустық аунақшалы	535

### 3.4 Көміртекті және көміртегі томен болаттан табак илемін дайындауға арналған илемдеу орнағының илемдеу технологиясы мен аппаратуралық рәсімдеу бойынша бастапқы деректер талдау

Илемдеу орнағы жұқа жолақтарды (0,6–1,2 мм) ыстық күйде алуға арналған және ролгангті беруші, рольгангті қайтарушы, тізбектерді бағыттаушы бес қапастан тұрады. Жұмыс қапастары кезекпен орналастырылған.

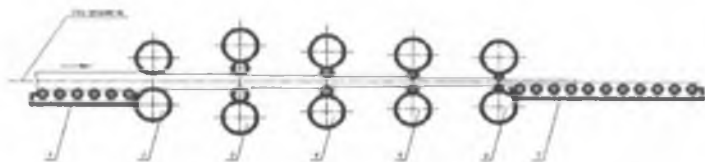
Бұл орнақтың ерекшелігі кезекпен орналасқан қапастарда жұмыс біліктерінің диаметрлері илемдеу бағытында кішірейді, сонымен бірге біліктердің қысу механизмі тек 4 және 5 қапастарда ғана қолданылады, яғни, 1-ден 3-ке дейінгі қапастар қысу құрылғысынсыз жұмыс істейді. 3.10 және 3.11-суреттерде орнақтың негізгі жабдығының орналасу сұлбасы ұсынылған.

3.8-кесте – Жаңа орнақтың құрылымының жеке элементтерінің беріктігін есептеу қорытындылары

Жаңа орнақ құрылымының элементі	$\sigma_{экв}$ МПа	Жалпы деформация, мм	Кернеу, МПа			
			кию	жаншу	созу	шақтама
Жұмыс білігі (№1-қапас)	70,2	0,005 – 0,007	-	-	-	100
Жұмыс білігі (№2-қапас)	65,3	0,004 – 0,005	-	-	-	100
Жұмыс білігі (№3-қапас)	56,8	0,002 – 0,003	-	-	-	100
Жұмыс білігі (№4-қапас)	46,2	0,001 – 0,002	-	-	-	100
Жұмыс білігі (№5-қапас)	37,9	0,0006 – 0,001	-	-	-	100
Тұғыр тіреуіші (№1 қапас)	34,6	0,006 – 0,008	-	-	-	60
Тұғыр тіреуіші (№4қапас)	30,2	0,006 – 0,008	-	-	-	60
Тұғыр бұрындамаларының (№4-қапас)	-	-	58	97	-	260 520
Тұғыр бұрындамасы (№4қапас)	-	-	92	173	-	260 520
Тұғырдың қысу бұрамасы (№4-қапас)	-	-	-	96,4	67,9	216 520
Тұғырдың қысу бұрамасының сомыны (№4-қапас)	-	-	-	84,4	-	520

Жұмыс қапасы орнақтан, тіреуіш және жұмысшы біліктерден, қысу құрылғысынан (4 және 5 қапас) және біліктердің жетектерінен тұрады. Жұмысшы біліктердің құрылымды параметрлері 3.7-кестеде келтірілген.

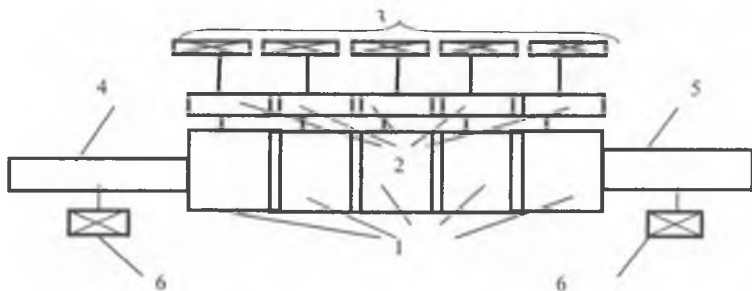
Басты тізбекке қозғалтқыштық және түбірлік жалғастырғыштар, бәсеңдеткіш, сонымен бірге әмбебап айналдырықтар арқылы айнымалы токтың реттелетін электрқозғалтқыштарынан жеке біліктер жетегі бар екі білікті (бірінші) және төрт білікті (қалғандары) қапастар кіреді (3.10-сурет).



1 – рольғангті беруші; 2 – қысу құрылғысынсыз екі білікті қапасты; 3 – қысу құрылғысынсыз төрт білікті қапасты; 4 – қысу құрылғысынсыз төрт білікті қапасты; 5 – қысу құрылғысы бар төрт білікті қапасты; 6 – қысу құрылғысы бар төрт білікті қапасты; 7 – рольғангті қайтарушы

3.10-сурет – Бес қапасты орнақтың негізгі жабдығының орналасу сұлбасы

Барлық қапастар үшін тұғыр түзілімін, тіреулерден, үстіңгі және астыңғы маңдайшадан, жалғаушы қарнақтардан тұратын құрастырмалы-бұзылмалы етіп дайындау ұсынылады. Тұғыр материалы 40Х болаттан ұсынылады. Қапастардағы қысу құрылғысынсыз біліктердің түзілімін құндақ түріндегі ортақ жастықтарда, ал соңғы екі қапаста кәдімгі серіппелі теңестіруші құрылғыларда дайындау ұсынылады. Жұмыс біліктерінің материалы ретінде 40Х немесе 40ХН болатын пайдалану, ал тіреуіштерге 40 немесе 45 болатты пайдалану ұсынылады.



1 – жұмыс қапастары; 2 – жетек бәсеңдеткіштері; 3 – жетек қозғалтқыштары; 4 – рольғангті беруші; 5 – рольғангті қайтарушы; 6 – рольғангтердің қозғалтқыштары

3.11-сурет – Бес қапасты орнақтың негізгі жабдығының орналасу сұлбасы

Біліктер мен тұғырдың қалған сызуға қажетті түзілімін құрылымды түрде белгілеу керек.

Анықтамалық деректермен сәйкес келетін қапас тізбегіндегі қуат шығынының ортақ коэффициенті  $\eta = 0,85$ .

Қапас арасындағы қашықтық – 100 мм.

### 3.5 Орнақты баптау

Білік арасындағы саңылау есебі. Төртінші және бесінші қапастар үшін білік арасындағы саңылауларды орнатуды белгілі бір шартты нөлдік күй жұмыс біліктерін тірекке жаншу арқылы жүзеге асырылады. Біліктердің нөлдік тіректерінің күші  $P_3$  120 кН -ге тең болып алынады немесе басқа да күш өлшеуші жабдықтың көмегімен бақылануы мүмкін. Илемдеу күшінің шамасы кезінде  $P$  жолақтардың шығу қалыңдықтарын қамтамасыз ету үшін  $\Delta z$  қысушы құрылғылардың қажетті жылжуы формула бойынша анықталады [92, 93]:

$$\Delta z = h - \frac{P - P_{30}}{C} \quad (3.86)$$

мұндағы  $C = 10$  МН/мм – қапастардың қатандық модулі (жоғарыдан қараныз).  $0,8 \times 200$  мм қимасы бар жолақ үшін қалыңдық пен илемдеу күшіп 3.6-кестеден аламыз. Есептеу нәтижесінде, төртінші және бесінші қапастар үшін келесі мәндер алынды: қысушы құрылғылардың жылжуы  $\Delta z$ : 0,835 мм; 0,5812 мм.

Біліктердің параллельдігін баптау. Орнақты баптау қажетті қалыңдығы және белгіленген көлденең пішіні бар жолақты алуды қамтамасыз етуі керек [94].

Жұмыс біліктерін қайта біліктегеннен кейін орнақтың алдын ала теңшелуі жүргізіледі. Илемдеу сызығының деңгейін, төртінші және бесінші қапастар арасындағы саңылау шамамен 1 мм болып белгіленеді және содан кейін біліктерді 120 кН күшімен қысу жүргізіледі. Құрал бойынша төртінші және бесінші қапастардағы біліктердің параллельдігі тексеріледі. айкас болған жағдайда қысушы құрылғыны ию жебелерін нөлге келтіру үшін жоғары көтереді немесе төмен түсіреді.

### 3.6 Жолақтарды ыстықтай илемдеу кезінде илемділік қорын қолдану дәрежесін есептеу әдістемесі

Орнақтың қапас арасындағы аралықта жолақтардың үзілгіштігі ыстықтай күйде үздіксіз илемдеудің маңызды мәселелердің бірі болып

табылады. Айрықтар қосымша металды жұмсауға, жұмыс пішімбіліктерінің тілінуіне, орнақтардың тұрып қалуына әкеп соғады.

Ақаулар илемделетін металдың илемділік қорын тауысуға байланысты. Металдың илемділік қорын артағындай етіп ыстықтай илемдеу күйін жобалай отырып орнақтағы қапас арасындағы аралықтағы жолақтардың айрықтарын толық жоюға немесе олардың санын азайтуға болады.

Жұқа жолақтарды ыстықтай илемдеудің жоғары өнімділік технологиялық үрдісінде металды артық шығындауды қысқарту, көп жағдайда, жолақтың қасиеттеріне байланысты болады, көбінесе, беткі ақауларға байланысты. Көміртекті болаттың сапасын ыстықтай илемдеуге қатысты бағалау кезіндегі маңызды сипаты болып, илемделетін жолақтың құрылымдық және күрделенген жағдайына байланысты болатын, илемділік қорын қолдану дәрежесі (ИҚҚД) қызмет етеді.

Микроқұрылымдық зерттеулердің деректері бойынша көлденең кималардағы беткі ақаулар олардың орналасуы мен түріне қарамастан (ұзын бойына – сызықіз, тырнақіз, қылшық, асақүйік үзігі, толассыз ажырама, қатпарлану және т.б.; көлденең – тілік, қылау, жыртық жиек, шеңберлі сызықіз) ұштың жұмырлаудың кіші радиусы бар ұсак бунау ретінде қарастырылуы мүмкін.

Жолақтарды ыстықтай илемдеу кезінде қапастардың арасында алдыңғы және артқы тартылулар пайда болатыны белгілі. Алдыңғы және артқы тартылулардың пайда болу себебінен илемделетін жолақтың ұзындық бойында созу кернеуі пайда болады.

Беткі ақаудан болған кернеудің шоғырлануының шамасын өзектегі контурдың жұмырлауын есепке ала отырып, керген кезде ұсак бунауға арналған кернеу шоғырлануының коэффициенті  $K_{\sigma}^*$  бойынша анықтауға болады [95]:

$$K_{\sigma}^* = 3\sqrt{\frac{t}{2r} - 1} + \frac{4}{2 + \sqrt{t/2r}}, \quad (3.87)$$

бұл жерде  $t$  – бунау тереңдігі;

$r$  – бунау ұшындағы жұмырлау радиусы.

Бұл формуланы мінсіз материал үшін қолдану өте дұрыс. Нақты қатты денелердегі (көміртекті болатта) кернеу шоғырлануы бунаудың жұмырлау радиусы кішкене болған кезде шоғырлануының ортақ техникалық коэффициентімен өрнектелуі мүмкін [95]:

$$K_{\sigma} = 1 + \frac{K_{\sigma}^* - 1}{1 + \frac{\pi}{\pi - \omega} \sqrt{\frac{A_c}{r}}}, \quad (3.88)$$

бұл жерде  $\omega$  – металдың тереңдігіне бунаудың ауытқытушы бұрышы;

$A_c$  – металдың құрылымы мен ақаудың ұшындағы деформацияны ескеруші параметр.

Стандарттар мен техникалық шарттарда беткі ақаулардың тереңдігі мен ауданы ескеріледі, ал талдауға қажетті ұштағы жұмырлау радиусы мен ауытқытушы бұрыш белгісіз болып қалады. [96] атты еңбектерінің авторлары көптеген ( $\approx 700$ ) металлографиялық зерттеулердің негізінде болат жолақтарындағы ақаулардың көпшілігінде ұштағы жұмырлау радиусы  $0,003 \div 0,015$  мм болады, бұл орташа радиус  $0,009$  мм тең деп есептеуге мүмкіндік береді деп бекітті.

Ауытқышы бұрыштың  $\omega$  шамасын анықтаған кезде оның мәні әртүрлі болатындығы белгілі болды, әйтседе, беткі ақаулардың көпшілігінде  $0 \div 45^\circ$  құрайды. Ауытқышы бұрыштың ұлғаюы кернеудің шоғырлануының төмендеуіне әкеледі. Сондықтан  $\omega$  өрнегін нөлге тең деп алған дұрыс. Нәтижесінде кернеудің шоғырлануының коэффициенті бірнеше артық болып шығады, бұл беткі ақау болған жағдайда болаттың икемділігінің көбеюіне барады.

Беткі ақаудың геометриялық факторларын статистикалық тұрғыдан есептеу (3.88) формуласын келесі формулаға түрлендіруге мүмкіндік берді

$$K_{\sigma} = 1 + \frac{176,3t + 30,5\sqrt{t}}{(1 + 12,1\sqrt{A_c})(2 + 7,5\sqrt{t})}. \quad (3.89)$$

Жоғарыда айтылғандардың негізінде, беткі ақаудан болған кернеудің шоғырлануының шамасын, тек болаттың тереңдігіне байланысты, олардың құрылымдық жағдайын ескере отырып, (өнеркәсіптегі жалғыз бақыланатын параметрді) анықтауға мүмкіндік пайда болды.

Дегенмен  $K_{\sigma}$  коэффициенті кернеудің шоғырлануын тек бір бағытта ғана көрсетеді. Металдарды қысыммен өңдеу кезінде, әдетте, аса нақтырақ көрсеткіш кернеулі күй сұлбасының қатаңдық коэффициенті пайдаланылады [98]:

$$k_{\sigma} = \frac{\sigma}{T} = \frac{0,578(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)}{\sigma_1} = 0,578 \text{ П}, \quad (3.90)$$

ол ақаудың айналасындағы үш векторлы кернеудің көлемді арақатынасын көрсетеді:  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$  және кернеу қарқындылығы  $\sigma_1$  – скаляр шамасы; П – кернеулі күй көрсеткіші. Осы көрсеткіштердің арасындағы байланысты анықтаған кезде [127] Найбер бойынша кернеу шоғырлану коэффициентінің  $K_{\sigma}$  формуласын кіретін геометриялық параметрлер, және [99] Колмогоров бойынша кернеулі күй сұлбасының қатандық коэффициенті  $k_{\sigma}$  немесе өткірлігі әртүрлі балдақты бунауы бар цилиндрлік үлгілердің созылуы кезінде [128] Бриджмен бойынша П кернеулі күй көрсеткіші пайдаланылуы мүмкін. Жұмыс барысында бунау радиусын кішірейте отырып алынған  $k_{\sigma}$ -ның  $K_{\sigma}$ -дан тәуелділігі түрлі материалдарда, үлгілердің типтерінде және деформацияның сатыларында күш параметрлері арқылы анықтау кезінде созылумен расталады [99].

Жүргізілген зерттеулер беткі ақаудан болатын жергілікті кернеулі күйді, ақаудың тереңдігіне байланысты анықтауға мүмкіндік берді. Бұл, өз кезегінде, шектік илемділік диаграммасы арқылы беткі ақауы бар болатын түрлі құрылымдық күйлерде, оның созушы кернеу аймағына түскен кезінде илемділігінің төмендеу қарқынын жоғары бағалауға мүмкіндік берді.

Беткі ақауы бар ыстықтай илемделген табактардан алынған жолақтарды ыстықтай илемдеу мүмкіндігін бағалау үшін беткі ақауы бар табак материалдарының илемділік қорын қолдану дәрежесін анықтау әдісі ұсынылған. Әдістеменің мәні мынада.

MSC.SuperForge жүйесіндегі имитациялық үлгілеу қорытындылары, ұсынылған орнақта илемдеу кезінде металл басымдылықпен илемдеу бағытына қарай ағатынын көрсетті, яғни кеңею жоқ. Жазықтық деформация сұлбасын жұқа слябтың ұзына бойғы қимасында қабылдауға мүмкіндік береді, яғни.  $u_1 = u_1(x_1, x_2)$ ;  $u_2 = u_2(x_1, x_2)$ ;  $u_3 = 0$ .

Кернеулер тензорының сыңарлары мен деформация тензорының сыңарларын байланыстыратын  $\sigma_{ik} - \sigma_o \delta_{ik} = \frac{2T}{A} \varepsilon_{ik}$  [99] теңдеуден, алатынымыз:  $\sigma_3 - \sigma_o = 0$ , бұл жерден орташа кернеу тең:

$$\sigma_3 = \sigma_o = \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_2) \quad (3.91)$$

Деформацияның жазықтық сұлбасында барынша жанама кернеуді мына формула бойынша анықтауға болады [99]:

$$\tau_{\max} = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3) = \frac{1}{2}\sqrt{(\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + 4\sigma_{12}^2}. \quad (3.92)$$

Жанама кернеуінің қарқындылығы формула бойынша анықталатыны белгілі [99]:

$$T = \frac{1}{\sqrt{6}}\sqrt{(\sigma_{11} - \sigma_{11})^2 + (\sigma_{22} - \sigma_{33})^2 + (\sigma_{11} - \sigma_{33})^2 + 6(\tau_{12}^2 + \tau_{13}^2 + \tau_{23}^2)} \quad (3.93)$$

Өйткені  $\sigma_{22} - \sigma_{33} = \frac{1}{2}(\sigma_{22} - \sigma_{11})$  и  $\sigma_{33} - \sigma_{11} = \frac{1}{2}(\sigma_{22} - \sigma_{11})$ , а  $\sigma_{23} = \sigma_{31} = 0$ , болғандықтан [99]

$$T = \frac{1}{2}\sqrt{(\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + 4\sigma_{12}^2} = \tau_{\max}. \quad (3.94)$$

Әсылайша, қысылмайтын ортаның жазықтық ағуы кезінде жанама кернеулерінің қарқындылық шамасы максималды жанама кернеумен сәйкес келеді.

(3.92) және (3.93) қатынастарын қолдана отырып, максималды жанама кернеу мен орташа кернеудің арасындағы арақатынасты мынадай түрде алу қиын емес:

$$\tau_{\max} = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3) = \frac{1}{2}\left(\sigma_1 - \frac{(\sigma_1 + \sigma_3)}{2}\right) = \frac{1}{4}(\sigma_1 - \sigma_3) = 0,5 \cdot \sigma_a. \quad (3.95)$$

Формуларды (2.21), (3.92), (3.93), (3.94) және (3.95) салыстыра отырып мына теңдеуді алуға болады:

$$\sigma_a = 2\tau_{\max} = 2T = \sqrt{2}\sigma_{\text{жнм}}. \quad (3.96)$$

Ұсынылып отырған орнақта илемдеу кезінде болат пен қорытпалардың қирау шарты илемділік қорын қолдану дәрежесі бойынша бағалады (ИҚҚД) [99]:



$$\psi = \sum_{i=1}^n \frac{\varepsilon_{\text{жж}}}{\Lambda_p [k_{\sigma}(\varepsilon)]} \quad (3.97)$$

мұндағы  $n$  – салыстырмалы жаншулардың кезеңдерінің саны;

$\Lambda_{pi} = f(k_{\text{ж}})$  – ығысу деформациясының шекті деңгейі;

$k_{\text{ж}} = \sigma_0 / T$  – кернеулі күй сұлбасының қатаңдық

коэффициенті;

$\sigma_0$  – орташа кернеу.

$\Lambda_p$  анықтау үшін СтЗ болатын деформациялау кезінде регрессия теңдеуін (2.55) қолданды [83].

$\varepsilon_{\text{жж}}$  және  $k_{\text{ж}}$  шамаларын 2 тарауда алынған деректерден анықтады, ол жерде кернеуі деформацияланатын күйі стандартты MSC.SuperForge бағдарламасын пайдалану арқылы анықталды.

Игерілген әдістемені пайдалану үшін:

- ақаулардың өлшемдеріне байланысты (3.89) формуласы бойынша  $K_{\sigma}$  кернеу шоғырлану коэффициентін анықтау;

- жоғарыда аталаған әдістеме бойынша жұқа слябтың ақауларын ескермей, орнақтың әрбір қапасында және қапас аралық кеңістігінде ыстықтай илемдеу кезінде кернеулі сұлбаның қатаңдық коэффициентін  $k_{\sigma}$  анықтау;

- кернеулі күй қатаңдық сұлбасының коэффициентінің  $k_{\sigma}$  алынған мәндерін кернеулер шоғырлану коэффициентіне көбейту керек және сол арқылы илемдеудің шынайы жағдайларын ескеретін кернеулі күй сұлбасының қатаңдық коэффициентінің мәнін анықтау;

- илемдеудің шынайы жағдайларын ескеретін кернеулі күй сұлбасының қатаңдық коэффициентінің мәнін (2.55) формуласы бойынша анықтағаннан кейін илемдеуге бара жатқан құрылымдық жағдайдағы  $\Lambda_p$  бұзу моментіндегі ығысу деформациясының дәрежесін анықтау;

- 2-тарауда алынған деректер бойынша баламалы деформацияны анықтау;

- (3.97) формуласы бойынша илемділік қорын қолдану дәрежесін анықтау қажет.

### 3.7 Үздіксіз ыстықтай илемдеу режимін жолақтардың үзілгіштігін ескерту мақсатымен онтайландыру

Осы жинақталған ИҚҚД ең төменгі критерийі бойынша 1700 үздіксіз орнағында ыстықтай илемдеу кезінде жаншу режимін онтайландыру міндеті алға қойылған.

Онтайлы режим келесі жағдайлар мен шектеулерде болуы керек:

$$\left. \begin{aligned} \Delta h_1 + \Delta h_2 + \dots + \Delta h_n &= \Delta h_{\Sigma} = h_0 - h_n; \\ P_i &\leq P_{\max}; N_i \leq N_{\max}; \sigma_i \leq \sigma_{i, \max}. \end{aligned} \right\} \quad (3.98)$$

бұл жерде  $\Delta h_i$  – жеке қапастардағы жаншу;

$\Delta h_{\Sigma} = h_0 - h_n$  – жалпы жаншулар;

$P_i$  – илемдеу күші;

$N_i$  – жолақтарды қапас арасындағы керулер;

$P_{\max}, N_{\max}, \sigma_{i, \max}$  – бас жетек қозғалтқыштарының пішімбіліктеріндегі илемдеуді, қуаттың жұмсайтын шекті күші, қапас арасындағы керулер тиісінше;

$i = 1, 2 \dots n$  – қапас нөмірі.

Онтайландыру әдісі ретінде [93] пропорционалды емес кездейсоқ іздеуді қолданды, ол былайша жүзеге асырылады: барынша мүмкін дәйектерге  $x_1, x_2, \dots, x_n$  жататын, тәуелсіз кездейсоқ нүктелердің  $r_1, r_2, \dots, r_n$  кезектілігін жасайды; максатты функцияның тиісті мәндерін анықтайды  $\Psi(r_1), \Psi(r_2), \dots, \Psi(r_n)$ ; максатты функцияның ең төменгі мәнін таңдайды:

$$\Psi_{\min}(r) = \min \{ \Psi(r_1), \Psi(r_2), \dots, \Psi(r_n) \}. \quad (3.99)$$

Кездейсоқ іздеу әдісін іске асыратын және ыстықтай илемдеу параметрлерін есептейтін ішкі бағдарламасын қосатын, үздіксіз орнақта  $\Psi = \sum_{i=1}^n \psi_i = \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\lambda_p}$  → min критерийі бойынша жаншу режимін оңтайландыруға арналған ЭЕМ бағдарламасы VBA «Excel» тілінде жасалған.

Третьякова А. В. [131] алгоритмі бойынша жазылған, илемдеудің энергиякүштік параметрлерін есептейтін бағдарламаны тестілеу 0,48×1253 мм, болат 08кп пішінінде, есептік көрсеткіштерді тікелей «Арселор Миттал Стил» АҚ (Теміртау қ.) 1700 орнағында есептелген көрсеткіштермен салыстыру арқылы жүргізілді (3.19-кесте).

3.9-кесте – 1700 орнағында 0,48×1253 мм жолақты, 2,3×1253 мм жартылай таза илемді, 08кп болат маркасын илемдеу параметрлері

Параметрі	Өлшем бірлігі	Қапас нөмірі				
		1	2	3	4	5
Біліктердің кедір-бұдырлығы	мкм	0,8	0,6	0,6	0,6	4,7
Қапастар бойымен жаншу	%	27,4	36,5	35,0	28,5	4,0
Жолақтың қапастан шыққандағы қалыңдығы	мм	1,67	1,06	0,69	0,5	0,48
Илемдеу күші	МН	7,35	7,84	8,43	7,64	2,94
Бас жетектегі қозғалтқыштың тұтынатын қуаты	кВт	2050	5600	5440	5500	2500
Жолақты тарту:						
- алдыңғы	кН	58,8	235,2	176,4	117,6	78,4
- артқы		235,2	176,4	117,6	78,4	40,2

Көрсетілген бағдарламаны пайдалана отырып, құрылымы жаңа илемдеу орнағында 0,6×200 мм, болат Ст3 жолақты ыстықтай илемдеу кезіндегі жаншудың оңтайлы режимдерінің есептері орындалды. ЭЕМ-дегі еспетеулер нәтижесінде белгіленген шектеулерді қанағаттандыратын, қалаған қалыңдықтағы пішінді илемдеуді қамтамасыз ететін, жаншудың оңтайлы режимін (3.12-сурет) алдық.

Есептелген тиімді жаншу режимдерінің нұсқасында илемділік қорының қолдану дәрежесі бірден аспады  $\Psi \leq 1$



3.12-сурет – Құрылымы жаңа илемдеу орнағында 0,6×200 мм жолақты ыстықтай илемдеу кезіндегі жаншудың оңтайлы режимдері

Жұмыс біліктерінің кедір-бұдырлығын қадамы 1,0 мкм болатын (бірінші және екінші қапастар үшін  $R_a = 3,0 - 4,0$  мкм ауқымында, үшінші және төртінші дейінгі қапастар үшін  $R_a = 1,0 - 2,0$  мкм ауқымында, бесінші қапас үшін 0,5 мкм) ең төменгі мәнінен барлық қапастар үшін бір уақытта ұлғайта отырып, қайтадан  $\Psi$  және

илемдеудің энергиякүштік параметрлерін есептедік. Пішімбіліктердің беттерінің бұдырлануының арқасында  $N_i \leq N_{\max}$  жағдайын қамтамасыз ете алдық. Бес қапасты құрылымы жана илемдеу орнағы үшін жаншудың соңғы оңтайлы режімі алынды (3.12-сурет) және оған сәйкес  $0,6 \times 200$  мм:  $R_{a1} = 3,5$ ;  $R_{a2} = 2,5$ ;  $R_{a3} = 2,0$ ;  $R_{a4} = 1,5$ ;  $R_{a5} = 0,5$  мкм пішінін илемдеу кезінде қапастардағы біліктердің біркатар кедір-бұдырлығы алынды.

Оңтайлы режімдеріне сәйкес келетін ИҚҚД-ның, күштің  $P$  және қуаттың  $N$  орнақ қапастары бойынша өзгеруінің кестесі 3.13 және 3.14-суреттерде келтірілген.

Тиімді режім бойынша илемдеу кезінде күш пен қуат азайғанын, әсіресе бесінші қапаста, және шектік мәндерден аспағанын көруге болады.

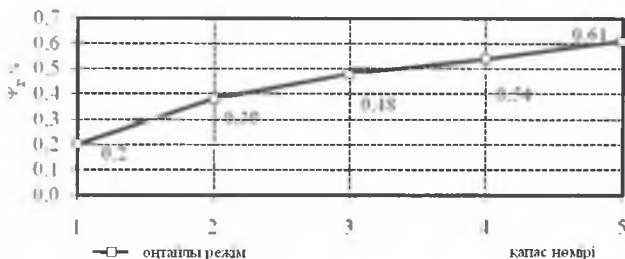
Илемділік қорын пайдалану дәрежесін есптеу негізінде белгілі болғандары:

1) ұсынылған орнақта ст3 болатты илемдеу кезінде жолақ материалының толық бұзылуы жоқ;

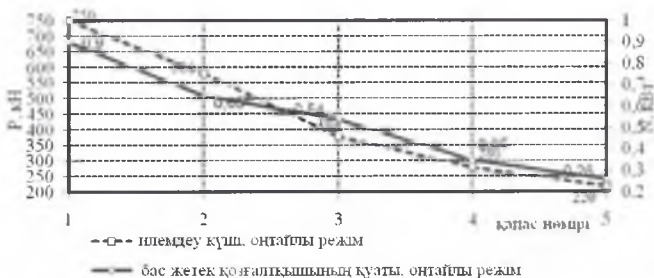
2) илемдеу үрдісінде илемділік қорын қолдану дәрежесі білік-дайындама түйісу бөлімінде шоғырланады;

3) илемділік қорын пайдалану дәрежесінің ең үлкен мәні дайындаманың шеттері мен ақаулы бөлімдерінде шоғырланады;

4) иққд ең төменгі мәні дайындаманың беткі жағында ортасында алынады, бұл үздіксіз төгілген жұқа слябтардың орталық ақауларын дәнекерлеуге алып келуі керек.



3.13-сурет – Ыстықтай илемдеудің оңтайлы режімдерінде ақаусыз жолақ үшін илемділік қорын (ИҚҚД) қолдану дәрежесінің жиынтығы



3.14-сурет – Бас жетек біліктеріндегі илемдеу күші мен қуаты

### Үшінші тарау бойынша тұжырым

1. Илемдеу бағытындағы кіші диаметрлі жұмыс біліктері бар жаңа илемдеу орнағын құрастыру (қолданыстағы орнақпен салыстырғанда) артық күшті, жұмыс моменттерін, қажетті қуаттарды, деформацияға жұмсалатын энергияның меншікті шығындарын азайтуға мүмкіндік береді;

2. Деформация аймағындағы металдың кернеулі күйін ескеретін ыстықтай илемдеу кезінде деформация ошағының серпімді илемді үлгілері әзірленген;

3. Металдың деформацияға, нормальды және жанама түйіспелі кернеулердің, илемдеу күштері мен қуаттарының кедергісін анықтауды қосатын, деформация ошағының серпімді илемді үлгісіне негізделген құрылымы жаңа орнақта ыстықтай илемдеудің энергиякүштік параметрлерін есептеу әдістемесі жетілдірілген;

4. Біліктерге әсер ететін күштерді, жұмыс моменттерін төмендету, сондай-ақ орнақтың беріктігін арттыру бір жағынан қапастардың өлшемдерін және жетектердің қуатын азайтуға, екінші жағынан илемделіп жатқан жолақтардың дәлдігін арттыруға мүмкіндік береді.

5. Ұсынылған орнақта пайдаланылатын жұмыс және тіреу біліктері әртүрлі қапастарда илемдеу кезінде секундтық көлемдердің тұрақтылығын қатаң орындау есебінен қапасаралық тартылыстарды азайтуға мүмкіндік береді. Қапасаралық тартылыстарды азайту илемдеу кезінде жолақтардың үзілуін болдырмауға мүмкіндік береді.

6. Құрылымы жаңа орнақта қолданылып жатқан қапастар арасындағы қашықтықтар да қапасаралық тартылысты азайтуға мүмкіндік береді.

## 4 Илемделген жолактардын сапа бағасы және тәжірибе – зертханалық байқаулары

### 4.1 Зерттеуге қажетті материалдар мен әдістемелер

Илемдеу технологиясы үрдісінің әрбір кезеңінің пісірілген құбырлардың сапасына әсерін зерттеу үшін үлгілер өндірілетін құбырлардың өзінен кесіліні алынды. Құбырлар 08кп маркалы болаттан дайындалған. 08кп маркалы болаттың химиялық құрамы мен механикалық қасиеттері 4.1 кестеде көрсетілген.

4.1-кесте – 08кп маркалы болаттың химиялық құрамы мен механикалық қасиеттері

Болат маркасы	Химиялық құрамы, % (масса бойынша)				Механикалық қасиеттері				
	C	Si	Mn	Басқа элементтер	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	B	$\delta$	$\Psi$ , %
08кп	0,05 – 0,11	0,01 – 0,02	0,25 – 0,50	0,10Cr; 0,04S; 0,035P; 0,25Ni; 0,25Cu.	275 – 390	165 – 185	96 – 98	25 – 28	55 – 60

Микроскопиялық зерттеулер жүргізіліп, механикалық қасиеттер анықталды.

### 4.2 08кп маркалы болаттың құрылымдық және фазалық өзгерулерін микроскопиялық зерттеулер

Металлографиялық талдау ұлғайтымы 200, 500 және 1000 есе «Axiovert-200 MAT» оптикалық микроскопта жүргізілді. Бейнетүсірілімдерді өңдеу ВидеоТест «Металл 1.0» бағдарламасы бойынша жүзеге асырылды.

Ақаулық субструктураның параметрлерінің сандық талдауы мен фазалық талдау қолданыстағы дәстүрлі стандартты әдістермен жүргізілді [90].Metalлографиялық зерттеулерге қажетті ыспаларды дәстүрлі әдістермен тегістегіш – тазалағыш жабдықтарда дайындалды. Үлгілерді «уландыра» бұлыңғырлату үшін этил спиртіндегі азот қышқылының концентрациясы қолданылды.

### 4.3 Эксперимент нәтижесін статистикалық бағалау әдістемесі

Үрдістің сандық және сапалық сипаттамаларының объективті статистикалық әдістері өнім сапсын қамтамасыз ету жүйесінің басты элементтерінің бірі болып табылады. Жүргізілген эксперименттің деңгейінің талаптарға сай екенін анықтау мақсатында дән өлшемдерін бірнеше қайтара өлшеп эксперимент нәтижелеріне математикалық өңдеу жүргізу қажет [91– 93].

ВидеоТест «Металл 1.0» бағдарламасында эксперименттер нәтижелерін статистикалық бағалау әдістемесі қарастырылған.

#### 4.4 08кп маркалы болаттың механикалық қасиеттерін зерттеу

08кп маркалы болаттың механикалық қасиеттерін жолақ таспаларды (яғни, құбырларды илемдеу дайындамасын) және құбырларды илемдеген соң анықтау МВ-01м автоматты қондырғыларында жүзеге асырылды. Өйткені, бұл қондырғыда дайын микрошлифтерді механикалық сынау мен үлгілерді созу сынағына дайындамай беріктік пен пластикалық сипаттамаларын оперативті (жедел) түрде анықтауға мүмкіндік береді [93–95].

Деформация диаграммасын тіркеу арқылы материалды үздіксіз индектормен күштеп басу механикалық сынақтардың эффективті түрі болып саналады. Сынаудың бұл түрінің негізгі артықшылығы деформацияладың серпіндіпластикалық аймағында күштеп басу үздіксіз диаграммасын тіркеу мүмкіншілігі мен материалдың кейбір сипаттамаларын арнайы үзбе үлгілерді кесусіз жіне алдына-ала дайындаусыз бағалауды жүргізу мүмкіншілігі болып табылады. Сонымен қатар инденторды үздіксіз күштеп сығу автоматтандыруға ыңғайлы болғандықтан шектеулі ауытқулар болмайды.

Индентор ретінде әртүрлі геометриялық пішіндегі: шар, пирамида, конус, параболоид және т.б. берік денелер қолдануға болады. Жоғарыда көрсетілген геометриялық пішіндердің әрбірі өзіне тән артықшылықтар мен кемшіліктерге ие. Бірақ, шар басқаларына қарағанда бір мәрте күштеп басу үрдісі кезінде серпіндіпластикалық деформацияның бірнеше деңгейлік нәтиже беретін көрсеткіштерге ие болады. Сонымен қатар, эксперименттерді жүргізу кезінде шармен күштеп басуға жұмсалған күш мөлшері мен индентордың үлгіге ену тереңдігі арасындағы байланыс (тәуелділік) маңызды заңдылықтар анықталды.

4.1, *a* суретте сфералы индентордың күшпен басу үрдісінің кесіндісі көрсетілсе, 4.1, *б* суретте, координаталардағы күштеудің алғашқы диаграммасы «күш –  $P$ , қайта қалпына келмеген индентор ізінің тереңдігі –  $t$ » [94,95].

Диаграмма белгілі мөлшердегі күшпен күш салу бағыты мен толық  $t$  мәнін бағалауға және индентор ізінің тереңдігін  $h$  анықтауға болатын күшті қайтару бағытынан (үзбе сызықпен көрсетілген) құралған. Сонымен қатар, осы диаграмма жанасу кернеуі мен деформациясын металлдың деформациялануының кез келген стадиясында есептеуге мүмкіндік береді.

$t$  және  $h$  арасындағы айырма  $w$  серпінділік көрсеткіші мен индентордың ену тереңдігіне  $t$ , яғни  $w = t - h$  тең. Күш салу бағыты  $OA$  серпінді деформация участогы мен  $AB$  серпіндіплатикалық деформация участогынан құралады.  $AB$  участогында күшті алған соң серпінді деформация болмайды да тереңдігі  $h$  қалдық із қалдырады. « $P - t$ » күш салу арақатынасының алғашқы диаграммасын «кернеу – деформация» координатасында қайта қарастыруға болады. Бұл жерде, күштен түскен іздің тереңдігінің  $t$  шар радиусына  $R$  қатынасын, яғни,  $t/R$  жанасу деформациясының шартты өлшемі деп алуға болады.

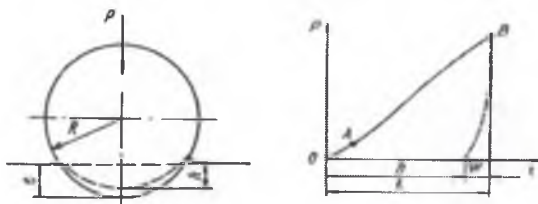
Тәжірибе жүзінде созу кезіндегі салыстырмалы ұзару  $\delta$   $t/R$  қатынасына тура тәелді екені анықталды

$$\delta = k(t/R)^m, \quad (4.1)$$

мұндағы  $k$  және  $m$  – материалдың беріктік қабілеттілігіне тәуелді қолданыстағы материалға тиесілі тұрақты коэффициенттер.

Индентормен күш салып тәжірибе жүргізу кезіндегі шартты жанаспалы кернеуді  $HB_1$  Бринель әдісі бойынша жұмсалған күштің  $P$  материалға түскен із аумағына  $M$  қатынасы ретінде анықтауға болады, яғни

$$HB_1 = P/M. \quad (4.2)$$



4.1-сурет – Сфера пішінді инденторды күштеу (а) және күш салу диаграммасы « $P - t$ » (б)

Тәжірибе жүргізу кезінде алынған  $AB$  участогында күш түсіру « $P - t$ » диаграммасын келесі түрдегі дәрежелік теңдеу ретінде мынадай түрде аппроксимдеуге болады

$$P = at^n, \quad (4.3)$$



мұндағы  $a$  және  $n$  – колданыстағы материалға қатысты тұрақты коэффициенттер.

(4.2) және (4.3) формулаларынан мынадай тұжырымға келеміз:

$$HB_t = (A/2\pi)(t/R)^{n-1}, \quad (4.4)$$

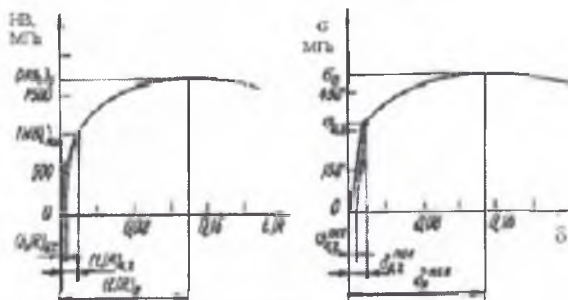
мұндағы  $A = aR^{n-2}$  – материал константасы.

4.2,  $a$  суретте әрбір координатада көміртекті болатты күтеп сынау нәтижесі көрсетілген « $HB_t - (t/R)$ », 2.2,  $b$  суретте осы болатты созу диаграммасы көрсетілген (шартты кернеу  $\sigma$  – салыстырмалы ұзару  $\delta$ ).

Созу диаграммасында салыстырмалы ұзару мәні  $\delta = 0,2\%$  тең ағымдық шегінің шартты мәні  $\sigma_{0,2}$  көрсетілген, ал күш салу диаграммасында  $(t/R)_{0,2}$  қатынасының белгілі мәніне тиесілі көрсеткіштегі  $(HB_t)_{0,2}$  ағымдық шегіндегі қаттылық мәні берілген. Бұл жерде  $(h/R)_{0,2}$  қатынасының пластикалық құрамыдық көрсеткіші қалдық ұзару мәні  $\delta = 0,2\% = 0,002$  болып алынған.

Ағымдық шегіндегі қаттылық мәні мына формула бойынша анықталады:

$$(HB_t)_{0,2} = (A/2\pi)(t/R)_{0,2}^{n-1}. \quad (4.5)$$



4.2 сурет – Күш салу диаграммасы « $HB_t - (t/R)$ » ( $a$ ) мен көміртекті болатты созу диаграммасы « $\sigma - \delta$ » ( $b$ )

4.2 суреттегі қос диаграммада көрсетілген мәндер максимумдық көрсеткіштер. Күш салу диаграммасында бұл көрсеткіш  $(t/R)_B$  қатынасына сай Бринель бойынша қаттылықтың шектік  $(HB_t)_B$  мәні көрсетілген, ал созу диаграммасында бірқалыпты шекті созылу мәніне

сай  $\delta_p$  мерзімдік кедергі  $\sigma_B$  ретінде көрсетілген. Беріктік шегіндегі қаттылық деп аталатын Бринель бойынша қаттылық мәні  $(HB)_B$  төмендегі формула бойынша анықталады:

$$(HB)_B = (A/2\pi)(t/R)_B^{n-1} \quad (4.6)$$

Серпіндіпластикалық деформациялау аймағында күш салу кезіндегі кернеу  $HB_i$  мен созылу кезіндегі кернеу арасында өзіндік заңдылық байланыс орналасқан. Бұл тұрақты байланыс тек кернеу деформация мәні тұрақты жағдайда анықталса. Аталмыш жағдайды орындаған кезде осы байланыс төмендегі түрде өрнектеледі:

$$\sigma = cHB_i \quad (4.7)$$

мұндағы  $c$  –  $n$  параметрі мен үйкеліс коэффициентіне тәуелді пропорционалдық коэффициенті.

Біздің тәжірибелік жағдайда ағымдық шегі  $\sigma_{0.2}$  мен уақытша кернеу шегінің мәнін мынадай түрде жазамыз

$$\sigma_{0.2} = c (HB)_{0.2}; \quad \sigma_B = c (HB)_B \quad (4.8)$$

$(t/R)_B$  қатынасына байланысты созу кезіндегі біркелкі деформацияның шекті мәнін (4.1) формуласы бойынша анықтауға болады:

$$\delta_p = k(t/R)_B^m \quad (4.9)$$

Осыған орай, алынған күш салу диаграммасы бойынша біркелкі деформациялық созу диаграммасын алып, үзбе үлгілерді дайындамай және сынамай материалдың негізгі механикалық сипаттамаларын бағалауға болады. Белгілі тәуелділіктерді

$$S = \sigma(l + \delta); \quad E = \ln(l + \delta) \quad (4.10)$$

пайдалана отырып алынған шартты кернеу мен деформация диаграммасын « $\sigma - \delta$ » нақты кернеу мен деформация « $S - E$ » диаграммасына ауыстыруға болады.

Күшпен басу арқылы әдісімен анықталған механикалық сипаттамалар мәнінің максималды салыстырмалы ауытқуы, сол сипаттамаларды созу әдісімен анықталған көрсеткіштерден 2 % аспайды.

Аспаптарда эксперименталдық жұмыстар төмендегі кезекте атқарылды. Аспаптың өлшегіш әбзелін төменгі шекке орналастырдық. Көтергіш столға ыспаны орналастырып, оны микрошлиф бетімен индентор орналасқан әбзелге түйіскенге дейін көтереміз. Бұл кезде күш мәнін көрсететін индикатор нөлге қойылады. Содан соң, ТЭЕМ баспатактасымен «ISPYTAN DAT» катлогына еніп санау және «P – b» және «σ – δ» массивінің нәтижелерін жазу бағдарламасын қосамыз.

#### **4.5 08кп болатының химиялық құрамын зерттеу**

МФС-8 жүйесі металдардағы, қорытпалардағы және басқа материалдардағы элементтер концентрациясын стандартты үлгілерде құрылған градуирленген кестелер бойынша анықтауға негізделген.

Жүйе құрамына мыналар енеді: полихроматор, УГЭ-4 штативті әмбебап генераторы, көп арналы СРМ-40 тіркеу жүйесі.

Жүйе жұмысы эмиссиялы спектралды әдіске негізделген. Бұл әдісте үлгідегі элементтердің массалық үлесінің спектралды сызықтар интенсивтілігіне тәуелділігі пайдаланылады.

Химиялық құрамын анықтағалы отырған үлгі штативке орналастырылып, электродтардың бірінің қызметін атқарады; үдгі мен жасанды электродтардың арасына генератордың көмегімен электр заряды қоздырылады. Разрядтың ішінде булану үрдісі жүреді де үлгі атомдарының жаркылдауы козады.

Полихроматор үлгі құрамын сипаттайтын сәлелерді спекторға ыдыратады: интенсивтілігі үлгідегі әрбір элемент құрамына байланысты өзіне тән спектралды сәле шығаратынын білгендіктен оның үлесін анықтау оңай болады.

Үлгіні талдау үшін талдап отырған элементке тиесілі салыстырмалы бір немесе бірнеше спектор сызықтарын аламыз.

Бұл жүйеде бір мезгілде отызға дейін спетр интенсивтілігін тіркеуге болады.

Талдауға қажетті спектр сызықтары полихроматордың фокалды бетінде орналасқан арнайы ұңғы-тесіктердің көмегімен бөлінеді.

Спектралды сызықтардың сәулеленуі фотоэлектронды көбейткіштердің (ФЭУ). Арнайы тіркеу кондырғысының көмегімен ФЭУ-ден түскен дабыл өзгертіліп әрі қарай математикалық өңдеуге компьютерге жіберіледі. Алынған нәтижелер компьютер экранында немесе баспа аппаратында тіркеледі.

Генераторды іске қосқан кезден бастап алынған нәтижелерді тіркегенге дейін талдау компьютердегі бағдарлама бойынша автоматты түрде басқарылады.

Үлгінің химиялық құрамын сандық түрде анықтау үшін жүйе стандартты түрдегі белгілі элементтер құрамымен градуирленген болуы шарт.

Өрбір элемент (арна) үшін экспериментті түрде градуирленген сипаттамалары болуы керек. Бұл сипаттама үлгідегі элементтің массалық үлесіне тиесілі аналитикалық дабылының (интенсивтілігінің) тәуелділігін көрсетеді.

Градуирленген сипаттама бағдарламалық қамтамасыз ету арқылы есептеулер көмегімен анықталады. Бағдарламалық қамтамасыз ету градуирленген сипаттамалар параметрлерін: стандартты үлгілер бойынша жүйені градуирлеуге; компьютердің сақтау қорында ұстауға; талдауға түскен элементтердің массалық үлесін анықтауға; есептеулерге көмектеседі.

Үлгідегі элемент концентрациясына байланысты спектралды сызықтар интенсивтілігін жобалы түрде Ломакин-Шабле формуласы бойынша анықтауға болады:

$$I = a \cdot c^b, \quad (4.11)$$

мұндағы  $I$  – спектралды сызықтардың аналитикалық дабылы (интенсивтілігі);

$c$  – үлгідегі талдап отырған элементтің концентрациясының мәні (массалық үлес);

$a$  және  $b$  – спектралды сызықтың сипаттамасына, оның козу және тіркеу жағдайларына тәуелді тұрақты коэффициенттер.

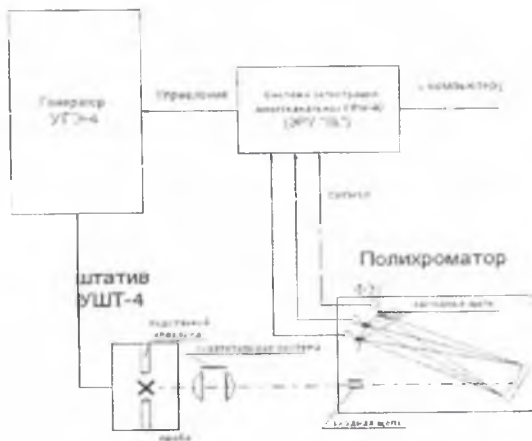
Жүйенің функционалды кестесі 4.3-суретте көрсетілген.

Зерттелетін үлгі мен бірге «жасанды» электрод арасы жанасу алдындағы күйдегі етіліп штативте орналастырылады. УГЭ-4 генераторының көмегімен үлгі мен «жасанды» электрод арасында электрдогалы немесе электроұшқынды разряд тудырылады. Электр заряды үлгі атомдарының булануы мен қозуын тудырады, яғни, үлгі мен «жасанды» электрод арасында сәуле шығару плазмасы пайда болады. Плазманың шығарған сәулесі жарықтандыру жүйесі арқылы оларды спектр қылып ыдырататын иілген дифракциялық торы бар полихроматордың арнайы тесігіне бағытталады. Полихроматордың арнайы шығару тетігі спектрдан қажетті аналитикалық сызықтарды жіктеп алады.

Арнайы шығару тетігінен шыққан сәуле ағымы тиісті ФЕУ қондырғысының фотокатодына жіберіледі. ФЭУ-ден шыққан дабылдар осы дабылдарды қажетті түрге өзгертіп компьютерге бағыттайтын тіркеу жүйесіне жіберіледі.

Тіркелген дабылдар спектралды сызықтардың интенсивтілік мәніне абсолютті пропорционалды болып келеді. Бұл дабылдар жүйені градуирлеуге және анықтайтын элементтердің концентрациясын (массалық үлесін) әрі қарай анықтауға қажетті аналитикалық дабыл ретінде қолдануға жарамды болып табылады.

Бақылау нәтижелеріне сәуеленудің тұрақсыздығының әсерін азайту мақсатында әлбетте, талдайтын сызықтар дабылының салыстыру сызықтарынан алынған дабылдарға қатынасын қолданады.



4.3-сурет – МФС-8 фотоэлектр жүйесінің функционалды кесіндісі

Жүйенің жұмыс режимін таңдау, талдайтын элементтердің арналарын жүйеге қосу және ажырату тәртәбән анықтайтын аналитикалық бағдарламаны таңдау, тіркеу түрін таңдау, параллельді өлшеу саның таңдау және т.б. компьютердің көмегімен диалог режимінде оператормен анықталады.

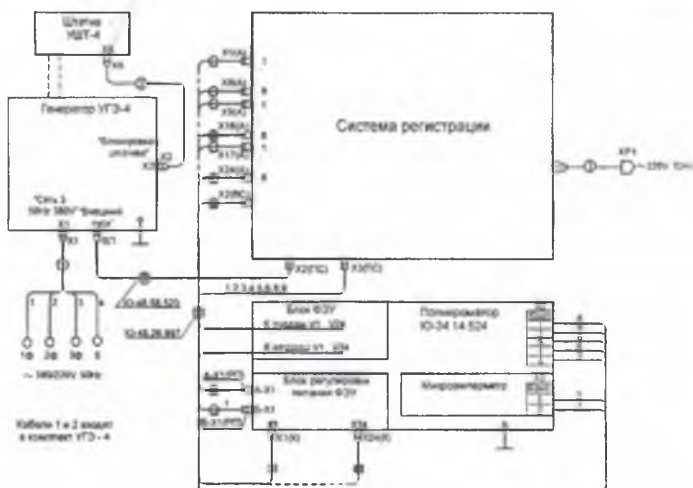
Жүйенің барлық жұмыс режимі мен өңделуі, ақпаратты сақтау және тіркеу тек компьютердің көмегімен жүзеге асады.

МФС-8 және оған енетін құрылғылар мен жалғасу, орналасу тәртібінің жалпы электр кестесі 4.4-суретте көрсетілген.

УГЭ-4 генераторы 1 кабельмен үшфазалы 380 В, 50 Гц желіге қосылып, нейтраль сымы жерге үйлесін, штативке 2 кабельмен жалғастырылған (блоктау тізбесі).

Тіркеу жүйесі 3 кабельдің көмегімен үшжанаспалы айыр ХР1 арқылы желідегі 220 В, 50 Гц бірфазалы кернеуге қосылған. Полихроматордың тіркеу жүйесімен электрлік қосылуы гофрланған жеңмен қапталған 4 кабель арқылы жүзеге асырылған. Жалпы 4 кабельдің құрамы: тіркеу жүйесімен ФЭУ анодының арасындағы коаксиалды дабыл бергіш кабелі, ФЭУ коректендіргішін реттеу және бақылағышты коректендіргішті жалғау кабелі, тіркеу жүйесі мен полихроматордың өзара жалғау сымдары, коректендіргішті реттеу блогы мен ФЭУ катодтарының арасындағы жоғарывольтті сымдар.

5 кабель көмегімен УГЭ-4 генераторын қосуды басқару атқарылады.



4.4-сурет – МФС-8 фотоэлектр жүйесінің жалпы электр кестесі

#### 4.6 Пісірме құбырларды дайындауда қолданылатын илемнің сапасын бақылау

Технологиялық тұрпат айырмашылықтарына қарай құбырәлектрпісірме агрегаттарын шартты түрде мынадай топтарға бөледі [96]: редуционды орнақсыз кіші және орташа диаметрі 6,0 мм-ден 530 мм-ге дейін құбырларды өндіруге арналған үздіксіз агрегаттар (ТМД елдерінде қабылданған номенклатура бойынша ТЭСА типтік өлшемдері 6–32, 20–76, 51–114, 102–220, 202–530 мм) немесе редуционды орнақпен (типтік өлшемдері 20–114, 51–220 мм); үлкен диаметрі бір немесе екі тігісі бар құбырларды өндіруге

арналған үздіксіз агрегаттар. Жоғарыда аталған әрбір құбырәлектрпісірме агрегаттары өзіне тиесілі артықшылыққа немесе кемшілікке ие. Кейбір кемшіліктер сапасы әртүрлі құбыр алуға қол жеткізеді.

Қолданыстағы құбырлар пайдалану кезінде жұмыс барысында түскен күштен, температурадан, атмосфералық құбылыстардан, коррозиялы- белсенді заттардың әсерінен беріктігі мен жарамдылығы өзгеріске ұшырап жұмыстағы сенімділігі төмендейді.

Жобалау кезінде жіберілген қателіктер, құрылыс-құрылғылау және жөндеу кезінде жіберілген қателіктер құбырларды пайдалану кезінде құбыр жүйесінің қалыпты жұмыс істеуін тежейтін (эффektivтілігін төмендететін) ақаулар ретінде көзге түсетін анық. Сондықтан, құбырлардың істен шығу себептерін анықтау кезінде белгілі болған фактілердің көбі құбырдың өндіру кезінде дұрыс нақтыланбаған сипаттама-қасиеттеріне байланысты болады. Бұл ақаулардың басым көпшілігі ішкі және сыртқы «жасырын» факторлардың әсерінен болады.

Сонғы кезде зерттеушілердің машина жасау және металлургия кешеніндегі өнім сапасын құру теориясы негізгі екі мәселені шешуге бағытталған: сапа және оны сандық бағалау критерийінің структурасын құрастыруға; сапа параметрлерінің технологиялық үрдістер мен өнім өндіру стадиясыны шектеулі түрде байланысын қамтамасыз ететін сапаны басқарудың тиісті кешенді жүйесін ойлап табу.

Стандарттар [20,97] талаптарын талдау кезінде анықталғандай, өнеркәсіптің қазіргі заманауи талаптары өнім сапасын сандық бағалауда сенімді әдістерді қолдану болып табылады. Қолданыстағы «өнімнің нормативті-техникалық құжаттарға сай өндірілуі» тұжырымы мамандарды көп уақыттан бері қанағатандырмай келе жатқаны анық. Бұл нанымның терістігі сапа тұралы мағлұмат, толықтығы және сенімділігі сияқты параметрлерден басқа өнім тағы маңызды бір қасиетке ие болуы керек. Ол – қазіргі басқару жүйесінде қолдануға жақсы бейімделген сандық дәрежелік көрсеткіш формасы да болуы керек. Бұндай өнімнің сапасын сандық бағалау проблемасын шешу квалиметрия еншісінде.

Парақты илемнің және парақты илемнен алынған пісірме құбырлардың сапасын бағалау үшін бірнеше стандартты көрсеткіштерді қолданамыз. Бұл көрсеткіштер бізге алынған өнім қандай топқа жататынын және ақаулы өнім екенін анықтауға болатын көрсеткіштер. Бедерлілік, сызаттардың ұзындығы мен тереңдігі, әртүрлі қалыңдық, ағымдар түсі, беріктік шегі ( $\sigma_b$ ), ағушылық шегі

( $\sigma$ ), салыстырмалы узару ( $\delta$ ), салыстырмалы жінішкеру ( $\psi$ ), соккыға біріккіштік (КСУ), химиялық құрам, құрылымы (структура) сияқты көрсеткіштер тәуелді болмағандықтан, қажетті шектегі дәлдік классындағы белгілі көрсеткішті алу үшін басқа көрсеткіштерді орындау кепілдік бермейді.

Белгілі нәтижелердің натуралды мәндерін өлшемсіз шкалаға өзгерту арқылы экспертті түрде сапаны сандық бағалау жағдайында арнайы сәйкестік шкаласын (4.2 кестесі) пайдалану керек. Бұл сәйкестік эмпириялық және сандық (психологиялық) жүйенің қатынасын көрсетеді [20]. Шкаладағы  $d$  мәнінің базалық нүктелерін төмендегі теңдеу бойынша алады [20]:

$$d = \exp[-\exp(-y^*)]$$

$y^* = -0,5; 0; 0,85; 1,5; 3$ , мәндеріне тиісінше.

$r_i$  мәнінің натуралды көрсеткішін  $d$  өлшеміне ауыстыру үшін нормаландыру теңдеуі [20] келесі түрде жазылады:

$$d = \exp\{-\exp[-y^*(r)]\}.$$

Ұсынылып отырған диссертацияда жолақ пен олардан алынған пісірме құбырлардың бақыламалы сапасын кешенді бағалау үшін, алынатын өнімнің сапа көрсеткіштерін анықтауға болатын белгілі әдістер қолданылған [20, 97] (қазіргі кездегі жаңа әдістердің бірі – квалиметрия). Осы, белгілі әдіс авторлары ұсынып отырған тұжырымдамасы – Харрингтон өлшемін қолдана отырып әртүрлі аргументтерді біріктіру және салыстыру үшін жекеше сипаттамаларды бағалауды бір түбірге келтіру. Және, тұжырымдаманы мынадай формуламен өрнектеу ұсынылып отыр:

$$r_{\alpha} = \exp[-\exp(-y^*(r, A_i))], \quad (4.12)$$

мұндағы  $r$  – жекеше түрде анықталатын сипаттама көрсеткішінің натуралды мәндері.



4.2-кесте – Эмпириялық және сандық жүйелер арасындағы қатынастың сәйкестік шкаласы

Кажеттілік	<i>d</i> шкаласы бойынша көрсеткіш
Өте нашар	0,00 - 0,20
Нашар	0,20 - 0,37
Қанағаттанарлық	0,37 - 0,63
Жаксы	0,63 - 0,80
Өте жаксы	0,80 - 1,00

Нәтижелерді келесі кажеттілік шкаласы бойынша көрсетуге болады:  $r = 0,2$  – түзетілмейтін ақау;  $r = 0,37$  – түзетуге жарамды ақау;  $r = 0,63$  – пісірме құбырлар стандарт талаптарына сай;  $r = 0,8$  – пісірме құбырларды жоғары дәлдік класстарына өткізу;  $r = 1$  – пісірме құбырлардың гипотетикалық мүмкіншілік деңгейі.

Өнім сапасын жоғарылату мақсатында өндірісті жетілдіру, эффективтілігі жоғары жаңа технология құрастыру сияқты талаптар қойылғанда осы технологияларды бағалау кажеттілігі туады.

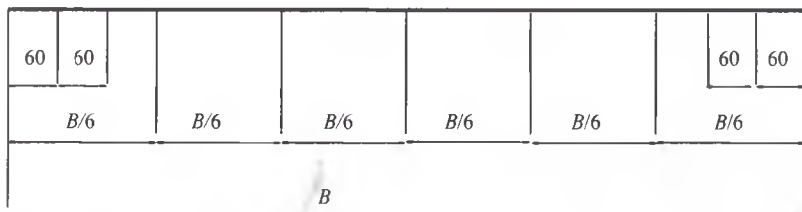
Осы диссертация аясында «АРСЕЛОР МИТАЛ ТЕМИРТАУ» АҚ орналастырылған ТЭСА 20-76 құбырының агрегатында құбыр өндіру технологиясын бағалау жүргізілген. Сынаққа алынған құбыр өлшемдері: сыртқы диаметрі 20 мм-ден 76 мм-ге дейін, қабырғасының қалыңдығы 1,0 мм-ден 4,5 мм-ге дейін. Пісірме құбырларының металының сапасын зерттеу илемдеуден кейін, металды АПР 1500-б аппаратында кескеннен кейін және құбырды ТЭСА 20-76 құбыр-электрпісірме агрегатында өндіргеннен кейін жүргізілді.

08кп болатынан алынған сляб 1700 үздіксіз кеңжолақты ыстықтай илемдеу орнағында номиналды өлшемі 2,0×820 мм қылып илемденді. Илемдеу температурасы 860–880 °С болса, орамдау температурасы 630–660 °С-та жүргізілді. Ыстықтай илемденген орамаларды дайын өнімдер қоймасына тасымалдағаннан соң суыту ұзақтығы шамамен 70 сағатты құрады.

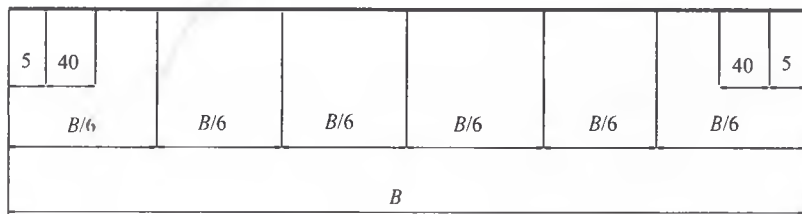
«АРСЕЛОРМИТТАЛ ТЕМИРТАУ» АҚ-ның жұмысында илемнің ретті аттестациялау нәтижесі мынаны көрсетті:

а) көлденең кима профилі мен илем бетінің сапасын бақылау техникалық бақылау бөлімінің қызметкерлерімен 4.5, а суретте көрсетілгендей ыстықтай илемдеу орнағындағы орамдарда жүргізіледі. Сынаққа алынған үлгілер әрбір балқымадан шыққан бірінші орамның сыртқы үшінші қабатынан алынды.

ә) илем бетінің және профилінің көлденең кимасының сапа бойынша аттестациясы кез-келген орамның орта немесе соңғы шегінен кесіліп алынған үлгілерді 4.5, б суретте көрсетілген кесте бойынша өлшеніп жүргізілді.



a)



b)

4.5-сурет – Ыстықтай оралған жолақтың көлденең кимасы профилінің қалыңдығын өлшеу нүктелері

Илемнің көлденең кимасының профилі мен құбыр жолағы бетінің ақаулары рентген немесе электромеханикалық өлшеуіштердің көмегімен жүзеге асырылып, нәтижелерін диаграммаға түсіру жүргізілді. Аталмыш диаграммалар парактардың сапасын квалиметриялық әдіспен бағалауда қолдануда пайдалануға болады.

Осы жұмыста паракты илемнің бет-бедерінің және оның профилінің көлденең кимасының сапасы бойынша қол жеткізген көптеген мәліметтерге сүйене отырып паракты илемнің баллдық жүйе бойынша бағалаудың төмендегідей ықшамдалған теңдеулері [97] алынды:

$$r_1 = \exp[-\exp-(20,1 \cdot \Delta^2 - 9,35 \cdot \Delta + 3,1)];$$

$$r_2 = \exp[-\exp-(0,52 \cdot 10^{-3} \cdot \ell^2 - 0,374 \cdot 10^{-1} \cdot \ell + 3,2)];$$

$$r_3 = \exp[-\exp-(5,778 \cdot 10^3 \cdot h^2 - 1,25 \cdot 10^2 h + 3,2)];$$

$$r_4 = \exp\{-\exp[-(46,042 + 9,986 \cdot \ln(1,2 \cdot 10^{-3} B_i / (B_i - B_n) + 0,008))]\};$$

$$r_5 = \exp\{-\exp[7,416 \cdot 10^2 (S_{\phi} - S_{\Pi})^3 + 7,784 \cdot 10^3 (S_{CT} - S_{\Pi})^2 - 3,71 \cdot 10^2 (S_{CT} - S_{\Pi}) - 3]\},$$

мұндағы  $\Delta$  – парак бетінің бедерлігі;  
 $\ell$  – парактардың сызат, ойпауыт, сызықтардың ұзындығы;  
 $h$  – парактардың сызат, ойпауыт, сызықтардың тереңдігі;  
 $B_1$  – жолақ ені;  
 $B_{\Pi}$  – жолақтың акқыштық түсісіз участогының ені;  
 $S_{\Pi}$  – жолақ қалыңдығы;  
 $S_{CT}$  – стандарт бойынша жолақ қалыңдығы.

Жұмыста [22,97] паракты илемнің механикалық нәтижелерін қолдану арқылы келесі түрдегі эмпириялық тәуелділіктер анықталды

$$r_6 = \exp\{-\exp[-A + B \ln(x + C)]\}, \text{ либо } r_6 = \exp\{-\exp[-(A + Bx)]\},$$

Бұл тәуелділік, регрессионды талдауды ЭЕМ –да іске асыру негізінде бізге мәлім Харрингтон функциясының модификациясы болып табылады. Тендеудегі  $A, B, C$  – паракты илемге арналған эмпириялық константалар;  $x$  – тиісті масштабта көрсетілген қалыпқа келтірілетін сипаттама (касиет). норми

#### 4.3-кесте – Көрсеткіштерді орталаңдыруға қажетті константалар

Болат	Көрсеткіштердің атаулары	Парактың қалыңдығы, мм	$A$	$B$	$C$
08кп	$\sigma_b$ (МН/м <sup>2</sup> 10 <sup>-4</sup> )	2,0	63,697	18,301	-0,00302
08кп	$\sigma_T$ (МН/м <sup>2</sup> 10 <sup>-4</sup> )	2,0	-11,61	740,539	-
08кп	$\delta$ (% 10 <sup>-3</sup> )	2,0	46,197	11,598	-0,00299
08кп	$\psi$ (% 10 <sup>-3</sup> )	2,0	39,118	11,143	-0,00495
08кп	KCV(КДж/м <sup>2</sup> 10 <sup>-4</sup> )	2,0	-16,032	296,16	-

ЭЕМ-да стандартты бағдарламалар бойынша есептеулер жүргізуді оңтайландыру мақсатында беріктік шектігі ( $\sigma_b$ ), ағымдық шектігі ( $\sigma_T$ ) сияқты механикалық сипаттамалардың өлшем бірліктері МН/м<sup>2</sup> деп алынып 10<sup>4</sup> есеге кішірейтілсе; салыстырмалы ұзару ( $\delta$ ), салыстырмалы жіңішкеру ( $\psi$ ) де 10<sup>4</sup> есеге кішірейтілген; ал, сокқыға біріккіштіктің (KCV) өлшем бірлігі КДж/м<sup>2</sup> деп алынып, 10<sup>4</sup> есеге кішірейтілген. Эмпириялық тендеуде есептелетін константалар 4.3- кестеде көрсетілген.

Стандарттар мен жолақтар ақауларының қатынастарын колдана отырып механикалық сипаттамаларды бағалаудың шкаласы безендіріліп, 4.4-кестеде келтірілді.

Материалдың химиялық құрамы сапаны бағалаудың негізгі көрсеткіштері болып табылады, ал сандық бағалау міндетті түрде тиісті эталондармен шектеледі. 2.5 және 2.6-кестелерде сапа көрсеткіштерінің сандық бағалары мен оларға тиісті формалды шешімдерді қабылдауға қажетті критикалық деңгейлер көрсетілген [97].

#### 2.4-кесте – Механикалық сипаттамаларды бағалаудың шкаласы

Болат	Көрсеткіштер атаулары				Қажеттілік шкаласы	
	$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\delta$ , %	KCV, КДж/м <sup>2</sup>	Эмпириялық	Харрингтон шкаласы
08кп	300÷310	190÷210	34÷35	320÷330	өте жақсы	0,8 ÷ 1,0
	290÷300	180÷190	32÷33	300÷310	жақсы	0,8 ÷ 0,63
	270÷280	160÷170	30÷31	280÷290	канағаттан-к	0,63 ÷ 0,37
	250÷260	140÷150	28÷29	360÷370	нашар	0,37 ÷ 0,20
	230÷240	120÷130	26÷27	340÷350	өте нашар	0,00 ÷ 0,20

[20,97] жұмыстарында жүргізілген зерттеулер нәтижелеріне сүйене отырып ликвацияны бағалау шкаласы құрастырылды (4.5-кесте).

#### 4.4-кесте – Баллдық жүйеде бағалаудың қалыпқа келтіру шкаласы

Металл сапасының көрсеткіштері: ликвация, балл	Қажеттілік шкаласы	
	Эмпириялық	Сандық
2	өте жақсы	0,80 - 1,00
3	жақсы	0,63 - 0,80
4	канағаттанарлық	0,37 - 0,63
5	нашар	0,20 - 0,37
6	өте нашар	0,00 - 0,20

Есептеулер кезінде, шкалалардың осындай қатынасы болса ликвацияның қалыпқа келтірудегі бағалануы өте қарапайым тәуелділікке бағынатыны анықталды [20, 97]

$$r_7 = 1,5 - 0,25 \cdot \bar{r}_e,$$

мұндағы  $\bar{r}_e$  – ликвацияның 4.5 кестесіндегі шкала бойынша балдық бағасы.

[20, 97] жұмыстарда (4.12) қатынасын қолдану негізінде марганец, күкірт және фосфордың қара металл сапасына әсерін баллдық бағалаудың қалыпқа келтіру теңдеуі алынды:

$$r_8 = \exp\{-\exp[-(46,041 + 9,983 \ln(\theta \cdot 10^{-3} + 0,00813))]\},$$

мұндағы  $\theta = Mn/S, Mn/P$  – болаттағы марганец құрамының күкіртке немесе фосфорға қатынасы (4.6 кесте)

4.6-кесте – Химиялық құрамды бағалауға арналған шкала

Қоспаның қатынасы <i>Mn/S</i> и <i>Mn/P</i>	Қажеттілік шкаласы	
	Эмпириялық	Сандық
>22 до 24	өте жақсы	0,80 - 1,00
>20 до 22	жақсы	0,63 - 0,80
>18 до 20	қанағаттанарлық	0,37 - 0,63
>16 до 18	нашар	0,20 - 0,37
>14 до 16	өте нашар	0,00 - 0,20

4.7-кестеде МЕСТ 1778-70 ұсынысы бойынша құрастырылған қара металдардың құрылымдық сипаттамаларын баллдық жүйеде бағалау және металл емес қоспалармен материалдың кірленуін анықтауға арналған шкалалары келтірілген. Қара металдардың құрылымдық сипаттамаларын бағалаудың қалыпқа келтіру шкалаларының бұндай қатынасы өте қарапайым тәуелділікке бағынады екен [20,97]:

$$r_9 = 1,2 - 0,2\bar{r}_e,$$

мұндағы  $\bar{r}_e$  – металл құрылымының 4.7 шкаласы бойынша балдық жүйедегі бағалануы.

Сапаның әр кездегі қажетті қасиеттерін сипаттайтын  $n$  көрсеткіші бойынша  $r_i (i = 1, \bar{n})$  соңғы этап болып, келесі қатынасты қолдану арқылы қатынастардың жалпылама есептеулері саналады:

$$f^* = \omega(r_1, \dots, r_n) \sum_{i=1}^n \left[ \frac{\sum_{j=1}^i l_j}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^i l_j} \right] r_i, \quad (4.13)$$

мұндағы  $\omega$  – егер  $r_i$  кез-келген көрсеткіші қажетті деген аралыққа жатпаса, нөлге тең болып алынатын, және қалған жағдайда бірге тең мән деп есептелетін функция:

$k_i - r_i$  күрделі қасиеттер көрсеткіштерін анықтайтын жекеленген қасиеттер саны;

$l_{ij} - r_{ij}$  көрсеткіші бар мәніне тиесілі қалыпқа келтірілмеген салмақтық коэффициент, және ол  $i - j$  аралығына енетін күрделі қасиет.

#### 4.7-кесте – Металл емес қосындыларды бағалауға арналған шкала

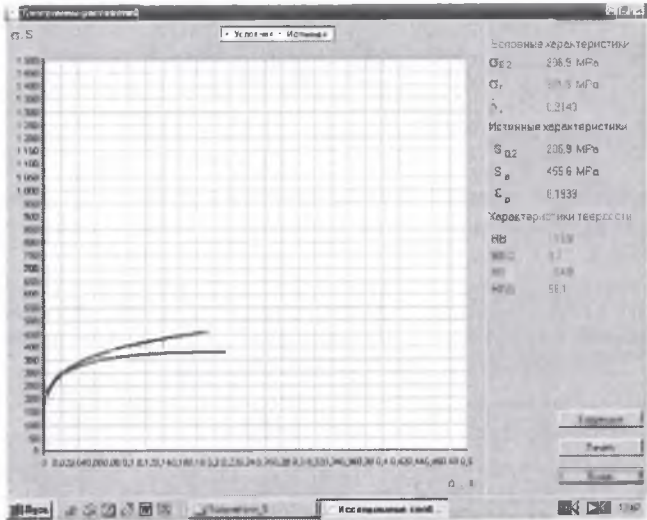
МЕСТ 1778-90 шкаласы бойынша балл бойынша сандық бағалау	Харрингтон шкаласы	Сипаттаманың қажеттілігі
1	0,80 - 1,00	өте жақсы
2	0,63 - 0,80	жақсы
3	0,37 - 0,63	канағаттанарлық
4	0,20 - 0,37	нашар
5	0,00 - 0,20	өте нашар

Ыстықтай илемдеу цехында қалыңдықты өлшеу нәтижелерінен соң келесі көрсеткіштерге қол жеткізілді: 2,06 мм, 2,10 және 2,12 мм және т.б.

МФС-8 жүйесін қолдану арқылы ыстықтай илемденген металдан кесіліп алынған үлгілердің химиялық құрамын анықтау барысында мынадай нәтижелерге қол жеткізілді: көміртегі – 0,065–0,07 %, марганец – 0,32–0,34 %, кремний – 0,010–0,012 %, фосфор – 0,022–0,024 %, күкірт – 0,020–0,021 %.

Жақсы сапалы пісірме қосылыстарды алу үшін металл емес қосындылар баллдары маңызды рөл атқарады. Егер, балл 3 -тен төмен болмаса пісірме тігістерінің жоғары сапалы екендігіне кепілдік береді. Ыстықтай илемденген металдан алынған үлгілерді микроструктуралық талдау кезінде металл емес қосындылардың баллы 2,5 -тен аспайтыны анықталды.

МВ-01 қондырғысында анықталған механикалық қасиеттер (4.6-сурет): сыртқы және ішкі ақаулар, парактың әр түрлі қалыңдығы статистикалық массивтер қалыптастырды. Осы массивті көрсеткіштер ыстықтай илемдеу цехының орамдарының сапасын анықтау үшін статистикалық және квалиметриялық бағалауға қолданылды.



4.6-сурет – Үлгілердің механикалық қасиеттері

Қарастырылып отырған жағдайда жалғызданған қасиеттердің орталауға келтірілмеген үлестігі өзара тең, яғни, әрбір қасиеттің сапаны бағалауға әсері бірдей. 4.7-суретте ыстықтай илемденген парактардың жалпылама көрсеткіштерінің жиілікте таралуы көрсетілген.



4.7-сурет – Ыстықтай илемденген парактардың жалпылама көрсеткіштерінің жиілікте таралуы,  $y = 200 \cdot 0.032 \cdot \text{normal}(x, 0.732887, 0.04865)$

Ыстықтай илемденген паракты материалға арналған сапа көрсеткішінің орташа мәні 0,7329 құрайды. Ал, стандартты технологияға арналған түзетуге жарамды қаулаулар мөлшері (0,2 ден 0,37 дейін Харрингтон шкаласы бойынша) жалпы массив көлемінен 3,27 % құрайды. Стандарт талаптарын орындау паракты илемге жұмыс барысында 68,41 % пайыз екені анықталды. Стандартты парактарда жоғары дәлдік классына өту 28,32 %-ды көрсетті. Сериялы технология кезінде гипотетикалық қажеттілік қасиеттерінің деңгейі (қасиеттердің гипотетикалық деңгейі – 0,8 ден 1,0 дейін Харрингтон бойынша) 4,18 % құрады. Стандартты топ бойынша сапаның жалпылама коэффициентінің дисперсиясы 0,04865 құрайды.

#### 4.7 Пісірме құбырлар сапасын зерттеу

Үздіксіз кенжолақты 1700 орнағында илемденіп оралған орамалар кесу үшін АПР 1500 – 6 аппаратына жіберіледі. Құбыр цехында кесілетін орамалардың қажетті салмағын, кесілгеннен кейінгі дайын таспа массасын, кесінділердің алдыңғы және соңғы шеттер массасын, кесілетін ернеулер массасын кірде өлшеп анықтайды. Біз зерттеген бес ораманың жалпы салмағы 61,4 т құрады. Өлшемдері 2,0×61,0 мм 57,58 т жарамды таспалар алынды. Кесу кезінде металл шығыны 1,052 құрады (металдың нормативті шығыны 1,044 -ге тең). Металдың артық шығындалуы кесілетін ернеудің нормативтен көп болуына байланысты (іс жүзінде – 38 мм, норматив – 20 мм). Металл шығынын азайту үшін ыстықтай илемденген металдың қажетті фабрикациялы енін қамтамасыз ету керек. 4.8 кестеде ТУ 650 РК – 01440 – 003 – 95 шарттарын орындауға қажетті талаптар көрсетілген.

4.8-кесте – ТУ 650 РК – 01440 – 003 – 95 шарттарын орындауға қажетті талаптар

Параметр атауы	ТУ 650 РК – 01440 – 003 – 95 бойынша шекті ауытқулар	Іс жүзіндегі көрсеткіштер, min – max /ортана	ТУ 650 РК – 01440 – 003 – 95 талаптарын орындау,%
Таспа қалыңдығы, мм	2,0 ± 0,18	2,00 – 2,18 / 2,09	97,2
Таспа ені, мм	61,0 + 0,5	61,15 – 61,65 /61,4	91,7

Шекті қалыңдық бойынша ауытқуда болған жәйттер үздіксіз кенжолақты 1700 орнағында илемдеген кезде шектік мәндердің оң жаққа ауытқуына байланысты. Ал, ендіктегі осында ауытқу АПР 1500-6 аппаратында да шектік мәндердің оң жаққа ауытқуында. Осындай шекті ауытқуларды агрегаттардың конструктивті



мүмкіншіліктеріне байланыстыруға болады. АПР 1500-6 аппаратында кесілген қалыңдығы 2,0 мм таспалардың минималды ені 62,0 мм құрайды.

Пісірме құбырларды өндірудің келесі этапы құбырларды илемдеу болып табылады. Құбырларды илемдеудің технологиялық үрдісі төмендегідей негізгі операциялардан тұрады:

- таспаны дайындау;
- таспаны біртекті етіліп байланбаған құбыр дайындамасы етін қалыптау;
- құбырлық дайындаманы құбыр егіп пісіру;
- калибровкалау;
- түзету;
- кесу.

Профильді-калибрлеу орнағынан кейін үздіксіз құбыр дыбысты дабылдағышпен әбзелденген дефектоскоп көмегімен бақылаудан өткізіледі.

Бақылаудың бұндай түрінде үздіксіз құбырдың пісірме тігістері (толық пісірілмеу, сызат және т.б.) мен құбырдың жалпы структурасы (қабыршақтану, ажырау және т.б.) анықталады.

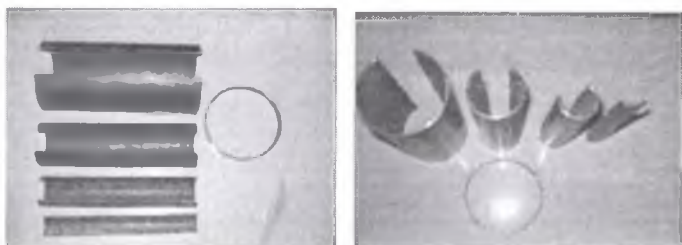
Дефектоскоптан кейін үздіксіз құбыр өлшемді ұзындықтарға кесу үшін арнайы құрылғыға жіберіледі. Өлшемді белгілі ұзындықтарға кесілген құбырлар рольганг бойымен арнайы қалталарға бағытталады. Ақаулары бар құбырлар 4 қалтаға сұрыпталып, жарамды құбырлар 1, 2, 3 қалталарға тасымалданып арнайы қораптарға салынды.

ТЭСА 20–76 қондырғысында жолақтарды дайындау операциясын жүргізу кезінде (таспаның алдыңғы және артқы шеттерін кесіп пісіру), таспаны агрегаттың бас жағына тасымалдау, қарпу құрылғысында және қадыптау кезінде құбыр дайындамалардың сапасын қажетті деңгейде қамтамасыз етілді.

Құбыр дайындамаларды жоғары жиілікті пісірмеде дайындау кезінде байқалған құбылыстар: конденсатордың істен шығуының салдарынан ВЧС 2 630/0,44 аппаратының істен шығуы; индуктордың тесіліп істен шығуы.

Қалыңдықтың таспада 9,0 %-дан, ал құбыр қабырғаларында 15,5 % -ға дейін ұлғаюы калибрлеу қапастарында жоғары жылдамдықпен созу барысында редукциялау үрдісінің тұрақсыздығын сипаттайды.

Механикалық сынақтарды жүргізу үшін құбырлардан алынған үлгілер 4.8-суретте көрсетілген.



4.8-сурет – Механикалық сынақтарға арналған үлгілердің фотосуреттері

Дефектоскоп аспабын күйлеу сыртқы диаметрі 21,3 мм стандартты үлгіде жүргізілді. Дефектоскоп аспабы арқылы бақылау жүргізілетін үздіксіз құбыр тежегіш роликтер арқылы дефектоскоптың алдында және артында тіреп тұрылды. Тежегіш роликтер дефектоскоп аспабындағы арнайы тесіктің тұсында құбырдың ауытқымай нық тұруын қамтамасыз ете алмайды. Құбырдың ауытқымай нық тұруын қамтамасыз ету мақсатында қосымша қысқаны роликтер орнатылды.

Құбырларды гидросынау сай әдісі бойынша мөлшері 5; 10; 15; 20; 25 атм. қысыммен жүргізілді [96].

МЕСТ 3845-95 талаптарын орындау мақсатында цехтың техникалық бақылау бөлімі (ТББ) гидравликалық қысыммен әрбір құбырды сынады. Олардың пайымдауынша, пісірме тігістерін жіктемей (бұзбай) тексеру әдісі бойынша жүз пайыз сананы бақылаған кезде құбырларды гидравликалық сынаққа салмауға болды. Бұндай кезде, құбырлардың сынақты гидравликалық қысымды ұстап тұрғанын ТББ кепілдік береді. Дефектоскоптың көмегімен ақаулары табылған құбырлар сырттай тексеріске жіберіледі. Тесіктері бар құбырлар жеке сұрыпталып, қалғандары гидравликалық сынаққа жіберіледі. Егер, гидравликалық қысым төмендеген жағдай болса құбыр ақаулар қатарына жіберіледі. Ақау деп танылып, гидравликалық сынақтан өткен құбырлар жарамды деп танылады.

Цех технологтарымен жүргізілген пісірме тігісін бақылау бақылауға арналған құбырларды жалпайту технологиялық стандарттары мен пісіру режимдерін реттеу оның пісірме тігістерінің қажетті сапасын қамтамасыз етті. Бірақ, орталық-зауыт ықпалымен сынақтары бойынша жарамдылық 90 % деп танылды, яғни, жалпайтуға сынаққа алынған 10 үлгінің біреуі сынақтан өтті.

(10 %). Құбыр үлгілерін жалпайту сынақтары МЕСТ 8695 – 95 әдістемесінің талаптарына сай жүргізілді [1].

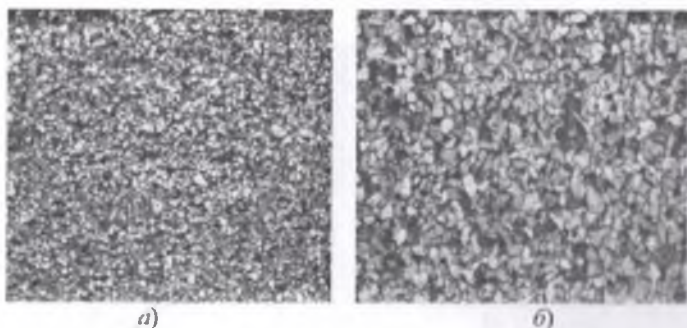
Цехта жалпайтуға жүргізілген технологиялық сынақтар қанағаттанарлық деңгейде жүргізіліп, он төрт сынаққа түскен құбыр үлгілерінің үшеуі жалпайтуға арналған аттестациялық сынаққа шыдамады.

Металлографиялық талдау «Axiovert-200 MAT» оптикалық микроскопта 200, 500 және 1000 есе ұлғайту арқылы жүргізілді. Суретке түсірілген бейнелерді өңдеу ВидеоТесТ «Металл 1.0» бағдарламасымен жүзеге есырылды.

Құбыр металының структурасы феррит-перлитті 9-11 нөмірлі сипаттамаға ие (4.9, а сурет), бір-біріне пісірілген тұстарындағы 2–3 нөмірлеріндегі аймақтағы структураларында айырмашылық байқалады (4.9, б сурет). Сонымен қатар, кейбір үлгілерде ішкі қабырғадан сыртқы қабырға бағытында дәндерінің әргүрлі болу құбылысы байқалып, олардың нөмірлері 9–11 ден 7–8 -ге дейін өзгерген (4.10, а және б суреттер). Ірі дәнді аймақтың қалыңдығы 0,1 мм-ден 0,4 мм-ге дейін екені анықталды. Феррит дәндері тегісөсті болып, ішкі ернеуінде сызаттар байқалмады (4.9 сурет).

Жалпы пісірілген тігіс бір-екі өтпелі және бір-біріне бітісу кезеңінен құралып, жалпы ұзындығы мөлшермен 0,75 ден 1,0 мм-ге дейін ұзындықты қамтыды. Өтпелі кезең 11 ден 7-8-ге дейінгі нөмірмен ферритті-перлитті структураға ие болса, бір-бірімен бітісу аймағы 7-11 нөмірлі ферритті-перлитті-бейнитті структураға ие болғаны анықталды 4.11, а сурет. Үлгілердің біраз бөлігінде құбырдың ішкі жағында орналасқан металл-грат типті тотық қосындылары бар сипатқа ие болды.

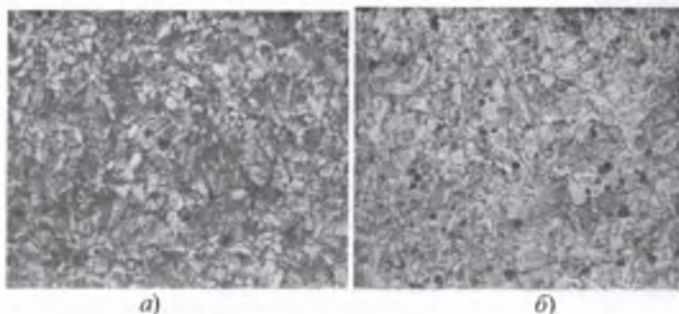
Тігістің өтпелі аймағын микроструктуралық талдау кезінде өтпелі аймақта тотық қабыршақтардың бар екені белгілі болды (4.11, б сурет). Бұндай тотық қабыршақтарының пайда болуы пісіру режимінің дұрыс атқарылмауына байланысты. Тотық қабыршақтары дайындамалардың ернеулерін балкыту арқылы аз деңгейге отырғызу үрдісінде пайда болады. Яғни, гратты пісіру аймағынан толық ығыстыру болмағанда болады. Пісіру арқылы қосылған тұстарында тотық қабыршақтарының көп болуы олардың беріктігін төмендетеді. Өйткені, құбырдың жұмыс барысында механикалық кернеулердің жиналуына септігін тигізеді. Ал, механикалық кернеулер – морт сынғыштық қасиеттер туғызады.



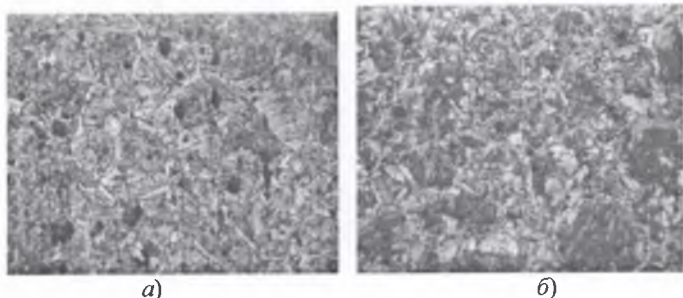
4.9-сурет – Тегіс аймағынан (а) және ернеу аймағынан (б) кесіліп алынған құбыр үлгілерінің микроструктурасы,  $\times 200$

Тотық қабыршақтарын алу үшін ернеулерді қыздырумен бірге сыртқы граттың мөлшері ажырату алдында 1,6-2,2 мм етіп пісіру қысымын ұстап тұру керек.

4.4 – 4.7, 4.9 – 4.26 кестелерінде стандарттар мен каталогтардың қатынастарын (4.12) қолдана отырып құбыр ақауларын бағалау шкалалары келтірілген. Бағалау шкалаларын безендіру кезінде стандарттар мен техникалық шарттардың талаптарын еске ала отырып ақаулар жеке ақаулар мен ақаулар топтары болып жіктелді.



4.10-сурет – Құбырдың ішкі (а) және сыртқы (б) беттерінен кесіліп алынған құбыр үлгілерінің микроструктурасы,  $\times 200$



4.11-сурет – Құбырдың біріктіру (а) және өтпелі (б) аймақтарынан кесіліп алынған үлгілердің микроструктурасы , ×200

Ішкі және сыртқы беттер сапасы, геометриялық өлшемдер және химиялық құрамдар бойынша алынған нәтижелерге сүйене отырып құбырлар аын бағалауды баллдық жүйеде қалыптастырудың төмендегі теңдеулері алынды:

$$r_{ij} = \exp [-\exp-(a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + a_4x^3)];$$

мұндағы  $x$  – тиісті масштабта көрсетілген қалыпқа келтіру қасиеттері;

$a_0, a_1, a_2, a_3, a_4$  – құбырларға арналған эмпириялық константалар (4.27-кесте).

4.9-кесте – «қабаттану», «қабыршақтану» и «жатаңдау» ақауларын бағалау шкаласы

Ақаулар	Сандық баға, $K_d = \frac{l_o - l_p}{l_o}$	Харрингтон шкаласы	Қажеттілік қасиеттер
«қабаттану»,	0,98 - 1,00	0,8 - 1,0	өте жақсы
«қабыршақтану»	0,98 - 0,96	0,63 - 0,8	жақсы
«жатаңдау»	0,96 - 0,94	0,37 - 0,63	канағатанарлық
	0,94 - 0,92	0,20 - 0,37	нашар
	0,92 - 0,90	0,0 - 0,20	өте нашар

#### 4.10-кесте – «Қабатану» ақауының шкаласы

«Қабаттану» ақауының сандық бағасы, $K_{\Delta F} = \frac{F_{T,\Delta} - F_{\Delta}}{F_{T,0}}$	Харрингтон шкаласы	Қажеттілік қасиеттер
0,00 - 0,01	0,8 - 1,0	өте жақсы
0,01 - 0,10	0,63 - 0,8	жақсы
0,10 - 10,0	0,37 - 0,63	қанағаттанарлық
10,0 - 50,0	0,20 - 0,37	нашар
50,0 - 100,0	0,0 - 0,20	өте нашар

#### 4.11-кесте – «Сызат», «қайырылу» және «сызылу» ақауларын бағалау шкаласы

Ақаулардың сандық бағасы $l$ , мм	Харрингтон шкаласы	Қажеттілік қасиеттер
0-5	0,8-1,0	өте жақсы
5-10	0,63-0,8	жақсы
10-15	0,37-0,63	қанағаттанарлық
15-20	0,20-0,37	нашар
20-25	0,0-0,20	өте нашар

#### Кесте 4.12 – «Уқалану» ақауын бағалау шкаласы

«Уқалану» ақауының сандық бағалануы $d$ , мм	Харрингтон шкаласы	Қажеттілік қасиеттер
0,0-1,5	0,8-1,0	өте жақсы
1,5-3,0	0,63-0,8	жақсы
3,0-4,5	0,37-0,63	қанағаттанарлық
4,5-5,0	0,20-0,37	нашар
5,0-6,5	0,0-0,20	өте нашар

Құбырдың механикалық қасиеттерін пайдалана отырып келесі түрдегі эмпириялық тәуелділіктер анықталды

$$r_{216} = \exp\{-\exp[-A + B \ln(x + C)]\}, \quad r_{216} = \exp\{-\exp[-(A + Bx)]\},$$

Бұл тәуелділік бізге мәлім Харрингтон функциясының модификациясы болып табылады. Және, регрессиондық талдауды ЭЕМ негізінде статистикалық әдістерді ықшамдау арқылы қол жеткізуге болады. Мұндағы  $A$ ,  $B$ ,  $C$  – құбырдың эмпириялық

константалары;  $x$  – тиісті масштабтағы калыпқа келтіруді көздеген қасиеттер.

4.13-кесте – «Диаметрдің ауытқуы» (оң мәнге қарай өзгеру) ақауын бағалау шкаласы

«Диаметрдің ауытқуы» ақауының сандық бағалануы, $\Delta D \times 10, \%$	Харрингтон шкаласы	Қажеттілік қасиеттер
0,0–1,5	0,8–1,0	өте жақсы
1,5–3,0	0,63–0,8	жақсы
3,0–4,5	0,37–0,63	қанағатанарлық
4,5–5,0	0,20–0,37	нашар
5,0–6,5	0,0–0,20	өте нашар

4.14-кесте – «Диаметрдің ауытқуы» (сол мәнге қарай өзгеру) ақауын бағалау шкаласы

«Диаметрдің ауытқуы» ақауының сандық бағалануы, $\Delta D \times 10, \%$	Харрингтон шкаласы	Қажеттілік қасиеттер
0,1–0,5	0,8–1,0	өте жақсы
0,5–1,0	0,63–0,8	жақсы
1,0–1,5	0,37–0,63	қанағатанарлық
1,5–2,0	0,20–0,37	нашар
2,0–2,5	0,0–0,20	өте нашар

4.15-кесте – «1 мм-ге қисаю» ақауын бағалау шкаласы

«1 мм-ге қисаю» ақауының сандық бағалануы, $k, \text{мм}$	Харрингтон шкаласы	Қажеттілік қасиеттер
0,1–0,5	0,8–1,0	өте жақсы
0,5–1,0	0,63–0,8	жақсы
1,0–1,5	0,37–0,63	қанағатанарлық
1,5–2,0	0,20–0,37	нашар
2,0–2,5	0,0–0,20	өте нашар

ЭЕМ-да стандартты бағдарламамен есептеулерді оңтайландыру мақсатында, шектік беріктік ( $\sigma_b$ ), шектік ағымдық ( $\sigma_t$ ) сияқты механикалық қасиеттердің өлшем бірліктері  $\text{МН/м}^2$  деп алынып  $10^4$  есеге кішірейтілсе; салыстырмалы ұзару ( $\delta$ ), салыстырмалы жұқару да ( $\psi$ )  $10^3$  есеге кішірейтілді; ал, сокқыға қарсы жабысқактығының

(КСУ) өлшем бірлігі ҚДж/м<sup>2</sup> деп алынған 10<sup>4</sup> есеге көбейтілген. Эмпириялық теңдеу құрамына енетін константалар мәндері 4.3 кестеде келтірілген.

4.16-кесте – «Сопактық» ақауын баалау шкаласы

«Сопактық» ақауының сандық бағалануы, $q$ , %	Харрингтон шкаласы	Қажеттілік кәсіптер
0,1–0,3	0,8–1,0	өте жақсы
0,3–0,6	0,63–0,8	жақсы
0,6–0,9	0,37–0,63	қанағаттанарлық
0,9–1,2	0,20–0,37	нашар
1,2–1,5	0,0–0,20	өте нашар

4.17-кесте – Ернеулердің ығысуын бағалау шкаласы Шюда өнімнің смещение кромок

Ауытқу $\Delta l$ , мм	Харрингтон шкаласы	Қажеттілік кәсіптер
0,0–1,0	0,8–1,0	өте жақсы
1,0–2,0	0,63–0,8	жақсы
2,0–3,0	0,37–0,63	қанағаттанарлық
3,0–4,0	0,20–0,37	нашар
4,0–5,0	0,0–0,20	өте нашар

4.18-кесте – Пісірме тігістерінің биіктігінің/еніне қатынасы ( $\Delta H/\Delta B$ ) көрсеткішінің ауытқуын бағалау шкаласы

Ауытқу $\Delta H/\Delta B$ , мм	Харрингтон шкаласы	Қажеттілік кәсіптер
0,0–1,2	0,8–1,0	өте жақсы
1,2–2,4	0,63–0,8	жақсы
2,4–3,6	0,37–0,63	қанағаттанарлық
3,6–4,8	0,20–0,37	нашар
4,8–6,0	0,0–0,20	өте нашар

Пайдаланылған [20, 22, 97] әдебиеттер негізінде қатынастарды реттеу арқылы (4.12) марганец, күкірт және фосфордың қара металл сапасына әсерін баллдық бағалаудың келесі түрдегі калыпқа келтіру теңдеуі алынды:

$$r_{217} = \exp\{-\exp[-(46,041 + 9,983 \ln(\theta \cdot 10^{-3} + 0,00813))]\},$$



мұндағы  $\theta = Mn/S$ ,  $Mn/P$  – болат құрамындағы марганецтің күкіртке немесе фосфорға қатынасы (2.5 және 2.6 кесте).

#### 4.19-кесте – «Тіліну» ақауын бағалау шкаласы

Ақаудың сандық бағалануы $t$ , мм	Харрингтон шкаласы	Қажеттілік қасиеттер
0,0–0,3	0,8–1,0	өте жақсы
0,3–0,6	0,63–0,8	жақсы
0,6–0,9	0,37–0,63	канағатанарлық
0,9–1,2	0,20–0,37	нашар
1,2–1,5	0,0–0,20	өте нашар

#### 4.20-кесте – «Газ кеуектері» ақауын бағалау шкаласы

Ақаудың сандық бағалануы $v$ , мм	Харрингтон шкаласы	Қажеттілік қасиеттер
0,0–0,3	0,8–1,0	өте жақсы
0,3–0,6	0,63–0,8	жақсы
0,6–0,9	0,37–0,63	канағатанарлық
0,9–1,2	0,20–0,37	нашар
1,2–1,5	0,0–0,20	өте нашар

#### 4.21-кесте – «Құбырдың қабырғаларының қалыңдығының өзгеруі» ақауын бағалау шкаласы

$S_T / S_{CT}$	Қажеттілік қасиеттер	Харрингтон шкаласы
$0,99 \div 1,0$	өте жақсы	$0,8 \div 1,0$
$0,97 \div 0,98$	жақсы	$0,8 \div 0,63$
$0,95 \div 0,96$	канағатанарлық	$0,63 \div 0,37$
$0,93 \div 0,94$	нашар	$0,37 \div 0,20$
$0,91 \div 0,92$	өте нашар	$0,00 \div 0,20$

#### 4.22-кесте – «Құбырдың ішкі бетінің тегістігі» ақауын бағалау шкаласы

$R_z$ , мкм	Қажеттілік қасиеттер	Харрингтон шкаласы
$1 \div 2$	өте жақсы	$0,8 \div 1,0$
$2 \div 3$	жақсы	$0,8 \div 0,63$
$3 \div 4$	канағатанарлық	$0,63 \div 0,37$
$4 \div 5$	нашар	$0,37 \div 0,20$
$5 \div 6$	өте нашар	$0,00 \div 0,20$

4.7-кестеде МЕСТ 1778-90 талаптарына сәйкес кара металлдардың структуралық қасиеттерін баллдық жүйеде бағалаудың шкаласы көрсетілген. Бұл кесте, метариалдың құрамындағы металл емес қосындылар сипаттамаларын анықтауға көмектеседі. Кара металдың структуралық сипаттамаларының қалыңка келтіру арқылы бағалау шкаласының дәл осындай қатынасы өте қарапайым бағалауға бағынады екен [20,22,97]:

$$r_{218} = 1,2 - 0,2r_3,$$

мұндағы  $r_e$  – 2.7 шкаласы бойынша металл құрылымын бағалау бағалары

Жоғарыда келтірілген көрсеткіштерді пайдаланып отырып пісірілген құбырлар сапасы бағаланды. Алынған механикалық қасиеттер, беттік және ішкі ақаулар пісірілген құбырлардың сапасын статистикалық және квалиметриялық әдістермен бағалауға көмекті қор жинауға септігін тигізді.

4.23-кесте – Ультрадыбыстық бақылау кезіндегі ( $w$ ) ақауларды бағалау шкаласы

Сипаттама	Қажеттілік қасиеттер	Харингтон шкаласы
Рефлектограмманың биіктігі 3 мм-ден аспайды, ақаулардың жоқ екендігін көрсетеді	өте жақсы	0,8 ÷ 1,0
Рефлектограмманың биіктігі 3 - 5 мм-ден жоғары, құбыр беттерінің сапасының қанағаттандырмайтындығын	жақсы	0,8 ÷ 0,63
Рефлектограмманың биіктігі 5 - 10 мм-ден жоғары, ішкі ақаулардың шартты диаметрі 1,5 ден 2 мм –ге дейін екендігін көрсетеді	қанағаттанарлық	0,63 ÷ 0,37
Рефлектограмманың биіктігі 10 - 15 мм-ден жоғары, ішкі ақаулардың шартты диаметрі 2 ден 3 мм–ге дейін екендігін көрсетеді	нашар	0,37 ÷ 0,20
Сәулелі түтіктегі рефлектограмманың биіктігі 15 мм-ден жоғары, ішкі ақаулардың шартты диаметрі 3 мм –ден жоғары және ақау түзетуге жарамсыз деп танылады	өте нашар	0,00 ÷ 0,20

Қарастырылған жағдайларда бірліктік қасиеттердің қалыпқа келтірілмейтін үлестіктері өзара тең, яғни, кез келген көрсеткіштің әрқайсысының сапаға әсері бірдей. 4.11-суретте зерттелген құбырлардың жалпылама көрсеткіштерінің жиілікпен таралуы көрсетілген.

4.24-кесте – Құбырдың сыртқы бетінің сапасын бағалау шкаласы

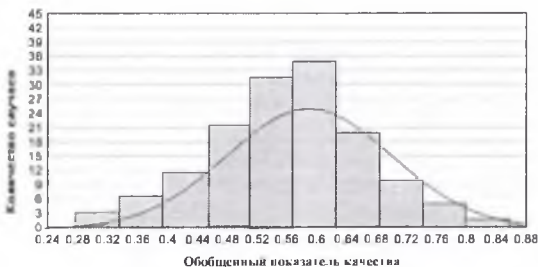
Ақау тереңдігі $s, \text{ мм} \times 10^{-2}$	Қажеттілік қасиеттер	Харрингтон шкаласы
0 ÷ 10	өте жақсы	0,8 ÷ 1,0
10 ÷ 20	жақсы	0,8 ÷ 0,63
20 ÷ 30	қанағатанарлық	0,63 ÷ 0,37
30 ÷ 40	нашар	0,37 ÷ 0,20
40 ÷ 50	өте нашар	0,00 ÷ 0,20

4.25-кесте – Құбырларды гидравликалық сынау арқылы бағалау шкаласы

Сынақтағы қысым мөлшері $P, \text{ с (МЕСТ 3845-75)}$	Харрингтон шкаласы	Қажеттілік қасиеттер
25–21	0,80–1,00	өте жақсы
20–16	0,63–0,80	жақсы
15–11	0,37–0,63	қанағатанарлық
10–5	0,20–0,37	нашар
4	0,00–0,20	өте нашар

4.26-кесте – Біріктіре жалпайтуға сынау арқылы бағалау шкаласы

Біріктіре жалпайтуға сынау кезінде аттестациялық шыдамдылық көрсеткен үлгі саны, %	Харрингтон шкаласы	Қажеттілік қасиеттер
100	0,80–1,00	өте жақсы
99–98	0,63–0,80	жақсы
98–95	0,37–0,63	қанағатанарлық
94–90	0,20–0,37	нашар
89	0,00–0,20	өте нашар



4.11-сурет – Пісірілген құбырлардың жалпылама көрсеткіштерінің жиілікпен таралуы,  $y = 200 \cdot 0.051 \cdot \text{normal}(x, 0.607325, 0.3921)$

Пісірілген құбырлардың жалпылама көрсеткіштерінің жиілікпен таралуының орташа мәні 0,608-ге тең. Стандартты технология бойынша түзетуге жарамды ақаулардың көрсеткіші жалпы сынаққа түскен құбырлардың 6,29 % (Харрингтон шкаласы бойынша 0,2 ден 0,37-ге дейін) құрайды. Құбырларға арналған стандарт талаптарын орындау 64,59 % құрады. Жоғары класс дәлдігіне өткізу стандартты құбырлардың 27,49 %-да байқалды. Сериялы технология кезінде гипотетикалық қасиеттерге қол жеткізу 1,63 %-ды (Харрингтон бойынша қолданыстағы технология үшін қасиеттердің гипотетикалық деңгейі – 0,8 ден 1,0 -ге) құрады. Сапаның жалпылама коэффициенті 0,3921 көрсетті. Қол жеткізген нәтижелер пісірілген құбырлардың сапасы халықаралық ИСО 3183 стандартының талаптарын қанағаттандырады деп танылды.

### **Төртінші тарау бойынша тұжырым**

1. Қазіргі заманғы табақты илем өндірісі үшін сапаның сандық бағасының сенімді әдістеріне деген талап бұрынғысынан да күшейді;

2. Әдіснамалық тұрғыдан ыстықтай илемдеу жұқа табақтары сапасының сандық баға мәселелері квалиметрия арқылы ашықтауға болады;

3. «Кесілген жиек», «илемделіп кеткен металл бөліктері», «отқабыршықтан пайда болған үзілулер», «илемделіп кеткен отқабыршық», «бұдыр», «қатпарлану», «илем беті қауып», «илемделген көпіршік», «тесіп өткен үзілулер» және басқа да ақаулар, қауіпкер кезінде пайда болатын отқабыршықтан, жаңа ыстықтай илемдеу орнағының сумен илемдеу жүйесінің жоктығынан, жартылай тата илемде жиек ақауларының болуынан, ыстықтай илемдеу қапастарының жұмыс біліктерін жасаудан, сляб және ыстықтай илемдеу табақтарының бетіндегі ақауларды дұрыс тазаламағандықтан, илемдеу және тасымалдау кезінде жартылай тата илем бетін бүлдіруден, кесектерді қыздыру кезінде қайта тазарту және қорыту сияқты жұмыстардың салдарынан болады.

4. Білікке әсер ететін күшті, жұмыс моменттерін азайту, сондай-ақ орнақ беріктігін арттыру және алғашқы үш қабаттағы илем механизмінің болмауы илемделетін жолақтың дәлдігін арттыруға мүмкіндік береді.

## Қорытынды

Ыстықтай илемдеудің технологиялық режимдерін жетілдіру мақсатында, жаңа орнақта жұқа жолақтарды ыстықтай илемдегенде пайда болатын кернеулі-деформация күй және энергиякүштік параметрлерді есептеу жөнінде зерттеу нәтижелері жазылды.

Жүргізілген жұмыстың нәтижелері былайша қорытыланды:

1) илемдеудің энергиякүштік параметрлерін азайтуды және жұқа жолақтардың сапасын арттыруды қамтамасыз ететін илемдеу орнағының жаңа құрылымы ұсынылды;

2) деформация ошағының белгілі үлгілеріне және ыстықтай илемдеудің энергиякүштік параметрлерін есептеу әдістеріне талдау жасалып, оларды ұсынылып отырған жаңа орнақтың энергиякүштік параметрлерін есептеу үшін қолданғанда кемшіліктер бар болуына байланысты энергиякүштік параметрлерді есептеудің әдістемесін жетілдіру туралы қорытынды жасалды:

- илемдеу бағытында жұмысшы пішінбіліктердің диаметрі азайатын жаңа орнақта дайындаманы илемдеген кезде деформация ошағында пайда болатын нормальды және түйісу жанама кернеулердің өзгеру заңдылықтары белгілі әдістемелерде ескерілмейді;

- деформация ошағының серпімді-илемді үлгілігінде илемді бөлім жаңа орнақтың пішінбіліктерінің диаметріне байланысты сырғу мен жабысу аймақтарынан тұратын ғып немесе деформация ошағы сырғу мен жабысу аймақтары бар тек илемді бөлімнен тұратын ғып көрсетілмеген;

3) деформация ошағы аймағында металдың кернеулі күйін ескеріп, ыстықтай илемдеген кезде пайда болатын деформация ошағының серпімді-илемді үлгісі әзірленді. Металдың деформацияға кедергісін, нормальды және түйісу жанама кернеуін, илемдеу күшін анықтауды өзіне қосатын және ұсынылған серпімді-илемді үлгіге негізделген ыстықтай илемдеудің жаңа орнағының энергиякүштік параметрлерін есептеудің жетілдірілген әдістемесі әзірленді;

5) жаңа илемдеу орнағының негізгі түзілімінің ұтымды құрылымдық өлшемдері анықталды.

6) сандық деректер алынып, жаңа құрылымдағы орнақта илемдеген кезде пайда болатын КДК-ның, температура мен энергиякүштік параметрлердің өзгеру заңдылықтары анықталды;

7) әзірленген әдістемелерді қолдана отырып орнақ пен илемдеу параметрлерінің деформация ошағының энергиякүштік

параметрлеріне ықпалы зерттелін, илемдеудің тиімді режімдері анықталды.

9) ыстықтай илемделген жолақтардың дәлізін арттыруға және илемдеу күшін, энергияның жұмсалуды азайтуды қамтамасыз ететін ыстықтай илемдеудің жетілдірілген режімдері есептелін, табиғи түрде сыналды.

## Әдебиеттер

- 1 Романцев Б. А. Микрометаллургический завод: сортамент и оборудование / Труды научно-практической конференции АО «Кальчугцветмет». – М., 1997. – С. 8–10.
- 2 Клименко В. М., Онищенко А. М. Кинематика и динамика процессов прокатки. – М. : Металлургия, 1984. – 247 с.
- 3 Литовченко Н. В. Станы и технология прокатки листовой стали. – М. : Металлургия, 1979. – 328 с.
- 4 Макеев Д. И. Основные направления развития листовых станов горячей прокатки // Итоги науки и техники. Серия: Прокатное и волочильное производство. – М., 1978. – Т. 9. – С. 36–47.
- 5 Григорян Г. Г., Шатанлов Р. Л. Производство толстых, плакированных и горячекатаных тонких листов // Итоги науки и техники. Серия: Прокатное и волочильное производство. – М., 1984. – Т. 12. – С. 12–24.
- 6 Рудской А. И., Лунев В. А. Теория и технология прокатного производства : учебное пособие. – СПб. : Наука, 2005. – 540 с.
- 7 Технология прокатного производства / С. А. Машеков, И. И. Кузьминов, Г. А. Смоилова и др. : монография. – Алматы : Изд-во Tetarprint, 2007. – 334 с.
- 8 Технология и оборудование, проблемы и перспективы бесконечной горячей прокатки на широкополосных станах / О. В. Дубинина, А. Л. Остапенко, Л. А. Никитина и др. – М. : АО «Черметинформация». Бюллетень «Черная металлургия», 2002. – № 5. – С. 10–30.
- 9 Кнеппе Г., Розенгаль Д. Технология горячей прокатки полосы: задачи на новое столетие // МРТ: Металлургическое производство и технология металлургических процессов. – 1999. – С. 60–71.
- 10 Новейшая технология производства горячекатаной полосы / В. Бальд, Г. Кнеппе, Д. Розенталь и др. // Черные металлы. – 2000. – № 2. – С. 32–37.
- 11 Sudai, Olat. Production of 1 mm thick hot rolled steel strip // MPT International. – 1998. – № 1. – P. 50–51.
- 12 Flick F., Djumlija G. CONROLL – Технология производства тонкой горячекатаной полосы // Steel Times International. – 1997. – № 3. – P. 15. (НЧМ. – 1998. – № 2. – С. 50).
- 13 Тарасевич Ю. Ф., Ефименко С. П., Юсупов В. С. Литейно-прокатные агрегаты воздействуют на структуру производства // Производство проката. – 2000. – № 5. – С. 33.

- 14 Бесконечная прокатка для экспорта // *Stahlmarkt*. 1997 – Bd. 47. – № 9. – S. 8 (РЖ Металлургия. 8/1301/1998).
- 15 Перспективы производства особотонкой горячекатаной полосы // *Stahlmarkt*. – 1988. – Bd. 48. – № 1. – С. 26–31.
- 16 Строительство линии травления для установки ISP на заводе фирмы Arvedi в Кремонне // *Черные металлы*. 1998. № 3. С. 4.
- 17 Компактное производство полосы CSP — дидрированная технология // *НЧМ*. 1998. № 3. С. 55-58.
- 18 Направление развития технологии // *НЧМ*. 1999. № 4. С. 89-91.
- 19 Шёнбек Й., Крюгер Б., Холпман Х.-Д. Современный уровень развития технологии литья тонких слябов ISP // *Черные металлы*. 1997. Апрель.
- 20 Дегнер М., Мюллер У. 7-я международная конференция по прокатному производству — технические разработки в производстве горячекатаной полосы // *Черные металлы*. 1999. Август. С. 11–18.
- 21 Nikido H., Isoyama S., Ichii Y. Endless rolling technology for 363 hot strip mill at Chiba Works of Kawasaki Steel // *Revue de Metallurgie*. 1998. Janvier. P. 47-56.
- 22 Nikaido H., Isoyama S., Nomura N. Бесконечная горячая прокатка на полосовом стане № 3 Chiba Works // *Kawasaki Steel Technical Report*. 1997. V. 37. P. 65-72. (РЖ Металлургия. 4/1101/1998).
- 23 Новые разработки фирмы Danieli United для горячей прокатки полос толщиной менее 1,0 мм // *НЧМ*. 1999. № 4. С 85-88.
- 24 Бесконечная горячая прокатка полос на заводе в Тибете // *Steel Times*. 1996. № 6. P.231. (НЧМ. 1997. № I. С. 75, 76).
- 25 Бесконечная прокатка становится реальностью // *Metal Bulletin Monthly*. 1996. Aug. Suppl. P. 27, 28. (РЖ Металлургия. 1/1117/1998).
- 26 Карбони А. Ю., Ротти М., Скорди А. Новые технологии производства стальной полосы // *Сталь*. 1999. № 11. С. 52-58.
- 27 Wafer-thin and well temperco // *Bander Bledie Rohre*. 1999. V. 24. P. 54 – 61.
- 28 Focusing on reductions in thin-strip production costs // *Stahlmarkt*. 1999. №11. P. 14 - 19.
- 29 Фернандес Алфонго, Кюпер Ф. Й. Первые производственные результаты по установке CSP на Hylsa S.A. // *MPT International*. 1997. P. 38-45.
- 30 Xuejun J. Бесконечная горячая прокатка полос // *Scanghni Metals*. 1996. V. 18. № 5. P. 57-63. (РЖ. 2Д79. 1997).
- 31 Donini E. A., Borsi R., Garboni A. Гибкая установка для слитки



и прокатки тонких слябов фирмы Danieli // Iron and Steel Engineer. 1997. № 6. Р. 48 – 54.

32 Imae T., Nomura N., Miyoshi S. Технология производства высококачественной продукции на полосовом стане горячей прокатки № 3 Chiba Works // Kawasaki Steel Technical Report. 1997. V. 37. Р. 59-64. (РЖ Металлургия. 4Д100. 1998).

33 Бесконечная прокатка на широкополосном стане горячей прокатки в Тибе // Дзайре то пуросэку. 1997. Т. 10. № 5. С. 1077-1095. (НЧМ. 1998. № 3. С. 61-63).

34 Egawa N., Ishizuka H., Hiruta T. Технология производства высококачественных полос из коррозионностойких сталей на широкополосном стане № 3 горячей прокатке в Тибе. // Kawasaki Steel Giho. 1998. № 2. Р. 82-87. (НЧМ. 1999. № 1. С. 69-72).

35 Обеспечение высокого качества продукции и экономической эффективности производства на широкополосных станах горячей прокатки фирмы Mannesmann Demag // НЧМ. 1998. № 1. С. 50-59.

36 Технология разливки тонкого сляба, производство и качество изделий на заводе Арведи в Кремоне / G. Gosio и др. // Материалы Второй Европейской конференции по непрерывной разливке. Дюссельдорф, 20-22 июля 1984. С. 345.

37 Бесконечная горячая прокатка полосы на заводе Чибя фирмы Kawasaki Steel / Такано, Матсуда, Мория и др. // Iron and Steel Engineer. 1997. №2. Р. 1-13.

38 Бесконечная прокатка горячей полосы // Черные металлы. 1996. Май. С. 26.

39 Бесконечная чистовая прокатка // Nippon Steel News. 1998. 270..Р. 5. (РЖ Металлургия. 5Д113. 1999).

40 Nippon Steel теперь тоже освоила бесконечную прокатку // Stahlmarkt. 1999. V. 49. № 3. Р. 33. (РЖ Металлургия. 9Д145. 1999).

41 Бесконечная горячая прокатка полосы на заводе Chiba Works Kawasaki Steel// Steel Times. 1998. 226. № 1. Р. 12,16. (РЖ Металлургия, 7Д76, 1998).

42 Полная непрерывность чистовой прокатки на стане горячей прокатки // Nippon Steel News. 1998. 269. Р. 2, 3. (РЖ Металлургия. 2Д98. 1999).

43 Дегнер М, Хеллер Т., Тезе П. Разработки в области производства сверхтонкой горячекатаной, полосы // Черные металлы. 2001. Март. С. 24 – 26.

44 Станы горячей прокатки сверхтонкой полосы // НЧМ. 2000. №2(22). С. 86-88.

45 Грайс П., Штайн-Верзен. Новаторские технологии в производстве длиномерной и листовой продукции // Черные металлы. 2001. Сентябрь. С.

46 Технические разработки с применением новых способов литья для листовой продукции / В. Блек, И. Фон Хаген, Х. Пфайфер, У. Шривер // Черные металлы. 1998. № 9-10. С. 35 – 43.

47 Тенденции развития горячекатаной листовой и полосовой стали и оптимизация режимов обжатий / Х. Вехаге, У. Шкода-Донп, У. Квитман, В. Зауэр // Черные металлы. 1999. № 3. С. 25 – 32.

48 Примеры моделирования режимов обжатий для горячей прокатки листов / Х. Вехаге, У. Шкода-Донп, У. Квитман, В. Зауэр // Черные металлы. 1999. №4. С. 43 – 49.

49 Металловедческие системы литья тонких слитков / Б.Энгель, М.Альбедиль, М.Брюль и др. // Черные металлы. 1998. № 9-10. С. 26 – 35.

50 Хензель Х., Шлиттель Т. Расчет энергосиловых параметров в процессах обработки металлов давлением. М: Металлургия. 1982. 184 с.

51 Эльгуарг Ж., Прост Г., Риоэр Ж. Новая технология индукционного нагрева кромок заготовок для листового сталя // Revue de Metallurgie. 1989. №7/8. P. 593 – 602.

52 Устройство для подогрева кромок раската на стане горячей прокатки № 2 в Фукуяме / К. Тараути, У. Танигути, М. Инагаки и др. // Тэцу то хаганэ. 1985. Т. 71. № 5. С. 58. (Экспресс-информация ин-та "Черметинформация". Сер. Прокатное и трубное производство. Вып. 25. 1985. С. 5, 6).

53 Индукционный нагрев в прокатном производстве и Экспресс-информация ин-та «Черметинформация». Сер. Общественные вопросы. Вып. 8. 1988. С. 1-3).

54 Якубовский О. Н. Особо низкоуглеродистые стали как основа для производства автолиста // Производство проката. 1999. №6. С. 37 – 43.

55 Нилль Поль, Этьян Арлетта. Непрерывное литье сегодня – состояние и перспективы // Металлургический завод и технология. 1992 (Доклад на Первой европейской конференции по непрерывному литью. Флоренция, 23-25 сентября 1991).

56 Matsuoka S., Fumikini O., Obara T. Процесс непрерывной горячей прокатки тонких стальных полос // Netsu shori = J. Iron Steel Heat Treat. 1996. 36. P. 299 – 304. (РЖ Металлургия. 6/170. 1997).

57 Sovakowa J., Kovas F. Прокатка стали для глубокой штамповки в двух областях температуры // Metallurgy, Zagreb. 1996. P.173 – 179. (РЖ Металлургия. 4/179. 1997).

58 Металлургические аспекты разлива тонкого слитка и прокатки малоуглеродистых сталей / Роб, Годеллола Ф., Крейгер Ир Дж., Маре

Ир. // Материалы Второй Европейской конференции по непрерывной разливке. Дюссельдорф, 20-22 июля 1984. С. 382-389.

59 Изменение структуры по толщине толстого листа из особонизкоуглеродистой стали, подвергнутой прокатке в ферритной области // НЧМ. 1998. № 1. С. 94-97.

60 Сафьян М. М. Прокатка широкополосной стали. М.: Металлургия, 1994. 268 с.

61 Оптимизация температурного режима работы валков станов горячей прокатки / М. М. Молчанов и др. // Бюл. ин-та "Черметинформация". 1983. №4. С. 3 – 13.

62 Горячая прокатка полос / В. И. Хлопонин, П. И. Полухин, В. И. Погоржельский, В. П. Полухин. М.: Металлургия. 1991. 198 с.

63 Реконструкция системы охлаждения рабочих валков чистовых клетей стана 1700 / О. Г. Хлыбов, А. С. Вивенцов, В. В. Левин, В. М. Комар//Сталь. 1999. № 11. С. 56 – 58.

64 Возможности улучшения теплового режима работы валков широкополосных станов / А. А. Чмелев, А. М. Сафьян, В. Л. Мазур и др, // Металлургическая и горнорудная промышленность. 1984. № 4. С. 18 – 20.

65 Остерман Б. В. Реализация современных достижений в конструкции полосового стана горячей прокатки 1727 фирмы Ford // Iron and Steel. 1987. V. 54. № 4. P. 35-39. (РЖ Металлургия. 1 Од 195. 1987).

66 Горячекатаный тонкий лист как конечный продукт фирмы Kawasaki Steel // Stahlmarkt. 1996. V. 46. № 8. P. 52. (РЖ Металлургия. 2Д78. 1997).

67 Тонкий горячекатаный полосовой прокат на рынке холоднокатаной стали // НЧМ. 2000. № 2 (22). С. 84, 85.

68 Создание фирмы Thyssen Krupp Stahl // Черные металлы. 1998. Март. С. 55-62.

69 Saldanha Steel / Мини-завод по производству тонкого плоского проката высокого качества // Черные металлы. 1998. Апрель. С. 49-59.

70 Антипин В.Г. Прогресс в производстве тонких стальных полос // М.: АО «Черметинформация». Бюллетень «Черная металлургия», 2002, №8. – С. 3 – 9.

71 Развитие сталеплавильного производства в Японии // Тэцу то хаганэ. 1995. Т. 81. № 4. С. 312-318.

72 Kuster T. Достижения в отливке полос из углеродистой и коррозионностойкой стали // New Steel. 1996. № 11. P. 68-72, 74, 76.

73 Barret R. Тонкий горячекатаный полосовой прокат на рынке холоднокатаной стали // Metal Bulletin Monthly. 1999. \* 4. P. 25-29,

74 Yamagata Y. Global environmental protection and the steel industry in Europe // Ferrum = Bulletin of the Iron and Steel Institute of Japan. 1999. V. 4. № 12. P. 837-842.

75 Штеффен Р., Такке К.-Х. Современный уровень литья стальной полосы // Черные металлы. Декабрь. 1999. С. 41-45.

76 Blejde W., Fukaselt H., Mahapatra R. Последние разработки по проекту "М", совместная разработка технологии непрерывной отливки полосы из низкоуглеродистой стали фирмами ВНР и ИНИ / Доклад на конгрессе METEC. Дюс-сельдорф, Германия. Июнь. 1999.

77 Материалы конференции по непрерывной разливке стали / Линц, Австрия. 2000 г.

78 Blejde W., Mahapatra R., Fukaselt H. Проведение фундаментальных исследований по проекту "М" / Доклад в Волдонгонге. Австралия. Январь. 2000.

79 Blende W., Mahapatra R., Fukaselt H. Развитие производства тонких полос из низкоуглеродистой стали по проекту "М" // Iron and Steelmaker. 2000. № 4. P. 29-33.

80 Mukunthan K., Strezov L., Mahapatra R., Blejde W. Изменение микроструктуры и свойств продукции в случае непрерывной отливки полосы из низкоуглеродистой стали / Доклад на симпозиуме в Ванкувере. Канада. Октябрь. 2000.

81 Forum Thyssen Krupp. 2000. N2 2. P. 20-27 / Материалы Steel Success Strategies XVI "Stailizing the Steel Cycle: Dream or Reality" Нью-Йорк. Июнь. 2001.

82 Campbell P., Wechsler R. Процесс: революционная технология разливки с впечатляющей возможностью производства уникальной стальной продукции или новая модель микроразвода ? / Доклад на симпозиуме в Торонто. Канада. Август. 2001.

83 Wechsler R. Состояние технологии двухвалковой непрерывной разливки, сравнение с обычной технологией / Доклад на 35-й конференции IISI. Сеул. Корея. Октябрь. 2001.

84 Непрерывное литье полосы (инновационная технология для производства листового проката в новом тысячелетии) / H-U. Lindenberg, M. Walter., G. Stebner et al. // Forum Thyssen Krupp. 2000. № 2.

85 Ватанабе Т. Современное состояние в области непрерывного литья листовых заготовок с размером, близким к конечному // Тэцу то хаганэ. 2002. Т. 88. № 3.

86 Бобих П., Борей Р., Ротта М. Тенденции развития технологии и оборудования для производства высококачественной полосовой

стали: Тр. Четвертого конгресса прокатчиков. Магнитогорск. 16-19 октября 2001 г. М.: АО "Черметинформация". 2002. С. 54-57.

87 Василев Я.Д., Дементенко А.В. Современный мини-комплекс для производства жести и тонких холоднокатаных полос // М.: АО «Черметинформация». Бюллетень «Черная металлургия», 2002, №8. – С. 43 – 48.

88 Никитина Л.А. Состояние и перспективы развития производства проката в России и за рубежом. Часть II // Производство проката, 2000. № 9. С. 2—6.

89 Пелькинг Х-Й., Шиллинг Т. Улучшение качества холоднокатаных полос путем внедрения высокотехнологичного оборудования. М.: АО "Черметинформация" Бюллетень «Черная металлургия», 1998. С. 153-157.

90 The compact cold mill (CCM) // Steel Times Int. 1997. V 21 №2. P. 38.

91 Christiansen S. Nucor's third sheet mini-mill gets rolling // Metal Bull. Mon. 1997. № 3. P. 77-79.

92 Nucor to build combination reversing cold / Temper mill// MPT Int [MPT: Met. Plant and Techn.]. 1997. [20]. №6. P. 16.

93 Оптимальная производительность станов холодной прокатки / Г.Л. Химич, А.В. Третьяков, Э.А. Гарбер и др. М.: Металлургия. 1970. 240 с.

94 Холодная прокатки и отделка жести / А.Ф.Пименов, О.Н. Сосковец, А.И. Трайно и др. М.: Металлургия. 1990. 208 с.

95 Франценюк И.В. Франценюк Л.И. Современное металлургическое производство. М.; Металлургия. 1995. 528 с.

96 Василев Я.Д. Инженерные модели и алгоритмы расчета параметров холодной прокатки. М.: Металлургия. 1995 368 с.

97 Василев Я.Д., Дементенко А.В., Горбунков С.Г. Производство жести методом двойной прокатки. М.: Металлургия. 1994. 125 с.

98 Инновационный патент № 20969. Непрерывный стан для прокатки полос из сталей и сплавов // Машеков С.А., Биякаева Н.Т., Смаилова Г.А. и др. В21J1/04, В21J5/00. Оpubл. в Б.И. 2009, №3.

99 Колмогоров В.Л. Механика обработки металлов давлением. – М.: Металлургия, 1986. 688 с.

## Мазмұны

Кіріспе	3
1 Илемдеу өндірісінің мәселелері	4
1.1 Ыстықтай илемделген табак өндірісін дамыту жолдары	4
1.2 Кең жолақты орнақтарда шексіз ыстықтай илемдеудің технологиясы мен құрал-жабдығы, мәселелері мен келешектегі көріністері	11
1.3 Жұқа болат жолақтарының өндірісіндегі ілгері дамуы	18
2 Үздіксіз илемдеу орнағында жұқа жолақтарды ыстықтай илемдеу кезінде кернеулі-деформация күйін талдау	22
2.1 Болаттан және қорытпалардан алынған жұқа жолақтарды ыстықтай илемдеуге арналған жаңа құрылымды орнақ	24
2.2 Кернеулі-деформация күйінің көлемдік есебін шекті-элементтік тәсілмен үлгілеу	25
2.3 Илемдеу кезінде илемділік қорын қолдану дәрежесін (ИКҚД) есептеу әдістемесі	35
2.4 Құрылымы жаңа илемдеу орнағында илемдеу үрдісінің үш өлшемді геометриялық және имитациялық үлгісін әзірлеу	37
2.5 Жұқа жолақтарды құрылымы жаңа үздіксіз илемдеу орнағында дайындама көлемінің илемділік қорын қолдану дәрежесін есептеу әдістемесі	46
3 Үздіксіз орнақта жұқа жолақтарды илемдеудің энергиякүштік параметрлерін есептеу	56
3.1 Үздіксіз орнақта ыстықтай илемдеу кезіндегі энергия-күштік параметрлерін есептеу әдістемесін жетілдіру	57
3.2 Илемдеу орнағының негізгі тораптарын есептеу және құрастыру	75
3.3 Жұқа ыстықтай илемделген жолақты илемдеудің энергиякүштік параметрлерін және құрылымы жаңа илемдеу орнағының негізгі тораптарының құрылымдық өлшемдерін есептеу нәтижелерін талдау	93
3.4 Көміртекті және көміртегі төмен болаттан табак илемін дайындауға арналған илемдеу орнағының илемдеу технологиясы мен аппаратуралық рәсімдеу бойынша бастапқы деректерді таңдау	96
3.5 Орнақты баптау	99
3.6 Жолақтарды ыстықтай илемдеу кезінде илемділік қорын қолдану дәрежесін есептеу әдістемесі	99
3.7 Үздіксіз ыстықтай илемдеу режимін жолақтардың үзілгіштігін ескерту мақсатымен оңтайландыру	104

4	Илемделген жолақтардың сапа бағасы және тәжірибе – зертханалық байқаулары	109
4.1	Зерттеуге қажетті материалдар мен әдістемелер	109
4.2	08кп маркалы болаттың құрылымдық және фазалық өзгерулерін микроскопиялық зертеулер	109
4.3	Эксперимент нәтижесін статистикалық бағалау әдістемесі	109
4.4	08кп маркалы болаттың механикалық қасиеттерін зерттеу	110
4.5	08кп болатының химиялық құрамын зерттеу	114
4.6	Пісірме құбырларды дайындауда қолданылатын илемнің сапасын бақылау	117
4.7	Пісірме құбырлар сапасын зерттеу	127
	Қорытынды	140
	Әдебиеттер	142

Н. С. Сембаев

**МАТЕРИАЛДАРДЫ ӨНДЕУ ТЕХНОЛОГИЯСЫ  
ЖӘНЕ ҚҰРАЛ-ЖАБДЫҚТАРЫ**

Монография

Техникалық редактор З. Ж. Шокубаева  
Жауапты хатшы З. С. Исмакова

Басыла 08.06.2020 ж.

Өрн түрі Тілек

Пішім 29,7 x 42 ¼. Оффсеттік қағаз.

Шартты баена табығы 8,7. Тарапалымы 500 дана

Тіпсарыс № 3625

Toraighyrov University

140008, г. Павлодар, ул. Димов, 64