

**СМАЙЛОВА ГҮЛБАРШЫН ӘБІЛҚАСЫМҚЫЗЫ**

**Илемдеу орнағы қаласының құрылымын өзгерту арқылы табак  
илемінің сапасын жақсарту**

05.03.01 – «Механикалық, физика-техникалық өңдеу технологиялары мен  
жабдықтары»

Техника ғылымдарының кандидаты ғылыми дәрежесін алу үшін  
дайындалған диссертацияның

**АВТОРЕФЕРАТЫ**

Диссертациялық жұмыс Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық университетінде орындалды

Ғылыми жетекшісі:

техника ғылымдарының докторы  
С.А.Машеков

Ресми оппоненттері:

техника ғылымдарының докторы  
профессор Ф.С.Абдуллаев

техника ғылымдарының кандидаты  
доцент С.Д. Капаева

Жетекші ұйым:

Қарағанды мемлекеттік техникалық  
университеті

Қорғау 2010 жылғы 23 - желтоқсанда сағат 16.00-де Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық университетінің Д14.17.02 біріккен диссертациялық кеңесінде өтеді. Мекен-жайы: 050013, Алматы қаласы, Сәтбаев көшесі 22, Машинажасау институты, МЖИ 304.

Факс: 8(7272)926025, т. 2577183 (083), E-mail: aspirantura@ntu.kz

Диссертациямен Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық университетінің кітапханасында танысуға болады.

Автореферат 2010 жылы 22 қарашада таратылды.

**Д 14.17.02 Диссертациялық  
кеңестің ғалым хатшысы,  
техника ғылымдарының докторы**



**Сазамбаева Б.Т**

## КІРІСПЕ

**Мәселенің жалпы сипаттамасы.** Ыстықтай илемдейтін кеңжолақты орнақтардың (БИКЖО) түржиыны 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 жолақтарын 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 жарақтау, 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.

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

Сипатталған деформация ошақтары құрылымының өзгерістері БИКЖО-ның технологиялық үрдісінде пайда болатын бірқатар мәселелерді шешуді талап етеді, яғни

- 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);

- БИКЖО-ның жұмыс қапастарындағы илемдеу күштерінің ауытқулары (олардың орташа мәндерінің 5 – 10 %-ын құрайды) және жұмыс қапастары элементтерінің серпімді деформациясының себебінен пішінбіліктер 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-деформацияланған күйдің (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.

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

**Жұмыстың мақсаты.** Қолданыстағы орнақ жабдықтарында үзіктердің пайда болу заңдылықтарын зерттеп, алынған зерттеу нәтижелерін пайдаланып, жабдық элементтерінің жиынтығын өзгертпей жұқа жолақтарды илемдеуге арналған жаңа орнақ құрылымын әзірлеу және осы орнақты теориялық негіздеу.

Бұл мақсатқа жету үшін мынадай міндеттер алға қойылып, өз шешімдерін тапты:

- деформация аймағында металдың кернеулі күйін есепке ала отырып табақты құрылымы жаңа орнақта ыстықтай илемдеген кезде пайда болатын деформация ошағының серпімді-илемді моделін жасау және негіздеу;

- құрылымы жаңа орнақта табақты ыстықтай илемдеудің энергиякүштік параметрлерін есептеудің әдістемесін жетілдіру;

- беткі ақауы бар жұқа табақтарды құрылымы жаңа орнақта ыстықтай илемдеген кезде қолданылатын ИҚҚД есептеу әдістемесін жетілдіру;

- жаңа орнақта жұқа табақтарды ыстықтай илемдеу кезінде пайда болатын КДК таралу заңдылығын зерттеу және осы зерттеулердің негізінде дайындама көлемінде ИҚҚД есептеу әдістемесін жетілдіру.

**Жұмыстың ғылыми жаңалығы.** Жұмыста өнім сапасын арттыруға мүмкіндік беретін илемделген бұйымдарды шығару технологияларын жетілдіру мәселелерін шешу нәтижелері ұсынылған. Осыған орай:

- пішінбіліктер диаметрлеріне қарай илемді аймағы сырғу және жабысу немесе тұтастай сырғу, немесе тұтастай жабысу аймағы болып табылатын серпімді-илемді моделі негізінде, құрылымы жаңа орнақта жолақты ыстықтай илемдеу үрдісінің энергиякүштік параметрлерін есептеудің әдістемесі жетілдірілді;

- деформация ошағы аймағында жанама кернеудің сенімді өзгеру заңдылықтары, құрылымы жаңа орнақта табақты илемдегенде қолданылатын жаншудың және энергиякүштік параметрлердің тиімді режимдері анықталды;

- жаңа орнақта беткі ақауы бар жұқа жолақтарды ыстықтай илемдегенде

пайдаланылатын ИҚҚД есептеу әдістемесі жетілдірілді;

- құрылымы жаңа орнақта жұқа табақтарды ыстықтай илемдегенде КДК сандық деректері алынып, оның өзгерісінің негізгі заңдылықтары анықталды осы деректер негізінде илемдеу қорын қолдану дәрежесі есептелді.

**Зерттеу әдістемесі** кернеулі-деформация күй теориясын қолдануға негізделді. Кернеулі-деформация күйін теориялық тұрғыдан есептеу үшін стандартты әдістеме мен компьютерлік бағдарлама қолданылды.

Зерттеу объектілері – ыстықтай илемдеу технологиясы мен құрылымы жаңа орнақ болды.

Құрылымы жаңа орнақта тәжірибелік зерттеу жүргізу үшін ыстықтай илемделген жолақтар қолданылды. Ыстықтай илемделген жолақтардағы ақау өлшемі дәлдігі  $\pm 0,01$  мм болатын БМИ-1 аспаптық микроскопы арқылы анықталды.

**Жұмыстың практикалық құндылығы** жүргізілген зерттеулер негізінде орнақтың жаңа құрылымын және талап етілетін сападағы бұйым шығаруға ықпал ететін ыстықтай илемделген жолақтарды осы орнақтарда илемдеу режимдерін әзірлеу.

#### **Қорғауға ұсынылған ережелер:**

- пішінбіліктер диаметрлеріне қарай илемді аймағы сырғу және жабысу немесе тұтастай сырғу, немесе тұтастай жабысу аймағы болып табылатын серпімді-илемді моделі негізінде, құрылымы жаңа орнақта жолақты ыстықтай илемдеу үрдісінің энергиякүштік параметрлерін есептеудің жетілдірілген әдістемесі;

- деформация ошағы аймағында жанама кернеудің сенімді өзгеру заңдылықтары және құрылымы жаңа орнақта табақты илемдегенде қолданылатын жаншу мен энергиякүштік параметрлердің тиімді режимдері;

- жаңа орнақта беткі ақауы бар жұқа жолақтарды ыстықтай илемдегенде пайдаланылатын ИҚҚД есептеудің жетілдірілген әдістемесі;

- құрылымы жаңа орнақта жұқа табақтарды ыстықтай илемдегенде алынған КДК сандық деректері мен оның өзгерісінің негізгі заңдылықтары, ал тағыда осы деректер негізінде есептелген илемділік қорын қолдану дәрежесінің мөлшерлері.

**Алынған нәтижелердің шынайылығы.** Теориялық есептер нәтижесінің шынайылығына белгілі әдістемелерді, теориялық тәуелділіктерді, рұқсаттар мен шектеулерді негізді қолдану, өңдеу міндеттерін дұрыс қою, сондай-ақ есептеу техникасының қазіргі заманғы математикалық әдістері мен құралдарын қолдану арқылы қол жеткізіледі.

**Автордың жеке үлесі** – зерттеу міндетін дұрыс қою, құрылымы жаңа орнақта илемдеудің энергиякүштік параметрлерін есептеудің жетілдірілген әдістемесін әзірлеу, сапаны бақылау мен басқару, жұқа жолақтарды илемдеу кезінде илемдеу қорын қолдану дәрежесін есептеу, ыстықтай илемдеу жолақтарын құрылымы жаңа орнақта илемдеу кезінде деформация ошағындағы кернеулі-деформация күйін зерттеу, зерттеу қорытындысына талдау жасау.

**Жұмысты мақұлдау.** Диссертацияда ұсынылған негізгі ережелер мына конференциялар мен семинарларда баяндалып, талқыланды: «Қазақстан республикасының мұнай-газ саласын дамытудың инновациялық жолдары» атты халықаралық ғылыми-техникалық конференциясында (Алматы, 2007 ж.), «Механика мен машина жасаудың Қазақстандағы жағдайы мен даму жолдары» атты халықаралық ғылыми конференциясында (Алматы, 2007 ж.), «Шекарасыз ғылым мен инженерлік білім» атты халықаралық форумында (Алматы, 2009 ж.), «Металлургиядағы жеделдетілген индустриалдық инновациялық даму» атты халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференциясында (Алматы, 2010 ж.), «Білдек жасау, материал тану және машина жасау өндірісінің автоматты жобалауындағы жаңалық» атты бірінші халықаралық ғылыми-техникалық конференциясында (Алматы, 2010 ж.) және Қ.И.Сәтбаев атындағы ҚазҰТУ-нің «Білдек жасау, материалтану және машина жасау өндірісінің технологиясы» кафедрасының ғылыми семинарларында, 2009-2010 ж; «Стандарттау, сертификаттау және машина жасау технологиясы», «Металлургия машиналары мен жабдықтары» және «Білдек жасау, материалтану және машина жасау өндірісінің технологиясы» кафедраларының ғылыми және бірлескен ғылыми семинарларында, Алматы, 2010 ж., мәлімделіп, талқыланды.

**Жарияланымдар.** Диссертациялық жұмыстың негізгі ғылыми жетістіктері автор жариялаған 13 баспа жұмыстарында толық сипатталған. Баспа жұмыстарының 5 Қазақстан Республикасының білім және ғылым министрлігінің білім және ғылым саласындағы бақылау комитеті ұсынған мерзімді ғылыми басылым беттерінде, 1 монографияда, 6 мақалада және 1 инновациялық патентте баяндалған.

**Диссертацияның құрылымы мен көлемі.** Диссертация кіріспеден, 4 бөлімнен, жалпы қорытындылардан, әдебиеттер тізімінен және қосымшалардан тұрады. 136 беттерінде баяндалған, онда 57 сурет, 34 кесте, 142 атаулардан тұратын қолданылған әдебиеттер тізімі, 2 қосымша бар.

## **ЖҰМЫСТЫҢ БАСТЫ МАЗМҰНЫ**

**Кіріспеде** мәселенің өзектілігі мен диссертация тақырыбының жаңалығы көрсетілген, еңбектің мақсаты қалыптастырылған, зерттеу міндеттері белгіленіп, қорғалуға ұсынылған заңдылықтар баяндалған.

**Бірінші бөлімде** илемдеу өндірісіне, сондай-ақ технологиялар мен жабдықтарды дамыту жолдарына, кеңжолақты орнақтарда үздіксіз ыстықтай илемдеу мәселелері мен келешектеріне арналған еңбекке шолу көрсетілген. Әдебиеттік шолуда келтірілген деректерде қазіргі кезде болаттардан алынған жұқа жолақтар мен қорытпаларды ыстықтай илемдейтін жаңа орнақтарды, тәсілдерді және технологияны жасауға бағытталған көптеген зерттеулер жүргізіліп жатқаны көрінеді. Дегенмен, олардың көптеген бөлігі қолданысын таппай отыр. Бұның себептері көп, әсіресе: көптеген жеке жабдықтар күрделі құрылыммен жасалуы; осы жабдықтарды илемдеу орнағының тізбегіне қиын

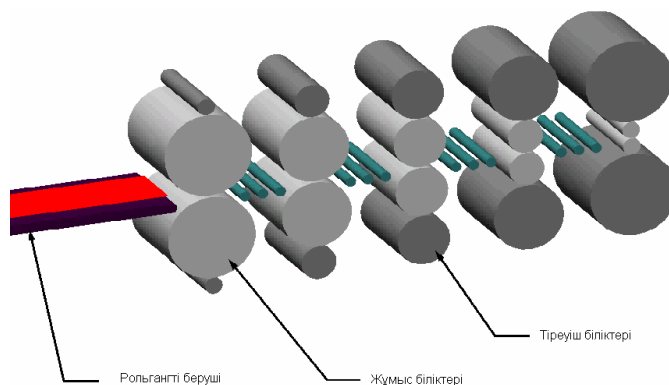
орнатылуы; дайындауға кететін көп шығындар, аз өнімділігі, көптеген жабдықтар мен құралдардың қолданылу аясының тар болуы және т.б.

**Екінші бөлімде** құрылым бойынша жаңа орнақта жұқа слябтарды ыстықтай илемдегенде осы слябта пайда болатын КДК зерттелді.

Болаттан және қорытпалардан алынған жолақтарды илемдеуге арналған жаңа 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 тақта, тұғырды бекітетін бұрандамалар (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:

$$D_i = \frac{F_1 \cdot D_{p1} \cdot n_1}{F_i \cdot n_i}; \quad D_j = \frac{F_1 \cdot D_{p1} \cdot n_1}{F_j \cdot n_j}, \quad (i = 1, 2, \dots, N, \quad j = N, \dots, 2, 1), \quad (1)$$

мұндағы  $F_i$  – тиісті қапаста илемделіп жатқан жолақтың көлденең қимасының ауданы;  $n$  – пішінбіліктердің айналу жылдамдығы;  $N$  – қапастың реттік нөмірі.



Сурет 1 – Жұқа жолақтарды илемдеуге арналған үздіксіз орнақтың жалпы түрі

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 5\*20\*50 мм болатын параллелепипед алынды (2 сурет). Дайындаманың материалы ретінде болат Ст3 қолданылды. Деформациялаудың температуралық ауқымы 1100 – 1250 °С. Дайындама материалының илемділік қасиетін үлгілеу үшін Джонсон-Куктің серпімді илемділік үлгісі таңдап 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.

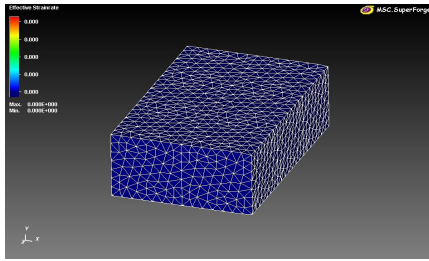
Қатты пішінбілік пен деформацияланатын дайындама материалының арасындағы өзара әрекеттесуі пішінбіліктің беті мен сляб бетінің арасындағы байланысу жағдайларын бейнелейтін жанасу беттері арқылы үлгіленеді. Үлгілеу процесінде жанасу жағдайлары, пішінбіліктің айналуы мен материалдың деформациялануын көрсете 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 жанасуымен жүзеге асырылады. Илемдеу процесі бөлме температурасында жүргізіледі, сондықтан пішінбіліктің бастапқы температурасы 20<sup>0</sup>С-ге тең деп қабылданды.

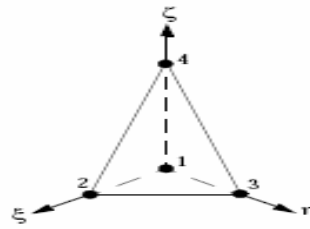
Жұқа сляб пен пішінбіліктің үш өлшемді геометриялық үлгісі Inventor CAD бағдарламасында жасалған және MSC.SuperForge CAE бағдарламасына импортталған. 2-суретте көрсетілген жұқа слябтың шекті-элемент үлгісін жасау кезінде үш өлшемді денелерді үлгілеу үшін қолданылатын TETRA (төрт түзілімдік тетраэдр) үш өлшемді элемент пайдаланылды (3 сурет). Жұқа слябтың үлгісі үшін 2518 элемент және 3180 түзілім жұмсалды.

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 таңдап алынды: толық деформациялану уақытынан бірінші саты 20, екінші саты 40, үшінші саты 60 және төртінші саты 80 пайыз.





Сурет 2 – Шекті-элемент үлгісі



Сурет 3– Шекті элемент ТЕТРА

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 қарпитын аймақта шоғырланады. Жаншуды көбейткен кезде  $\Gamma$  және  $\sigma_i$  мөлшерлерінің екпінi деформацияланатын дайындаманың беткі жағынан ортасына және шеттеріне қарай ауысады. Жаншуды одан әрі артырған кезде  $\Gamma$  және  $\sigma_i$  мөлшерлері шамалы түрде біркелкі тарайды, ал өтімнің соңында эквивалентті деформациялар мен кернеулер деформация ошағының кіретін аймағына шоғырланады;

2) Бірінші қапаста илемдеген кезде "ыстық металл - пішінбілік" жанасу аймақтарында температура төмендейді. Илемдеудің келесі сатыларында пішін өзгерту мен үйкелуден жылудың бөліну себебінен деформация ошағы бойынша температура теңеседі. 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 қарай біртіндеп ауысады;

4) Температура өрісі екінші қапаста илемдеген кезде біркелкі таралмайды. Осы кезде деформация ошағының сыртында тұрған аймақтар қарқынды түрде суыйды, ал деформация ошағында орналасқан дайындама металы қызады;

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

MSC.SuperForge жүйесімен алынған мәліметтердің негізінде дайындаманың көлемі бойынша илемділік қорын қолдану дәрежесін (ИҚҚД) есептеудің әдістемесі ұсынылды.

Жоғарыда алынған мәліметтер бойынша ИҚҚД есептеу үшін деформация ошағының көлемінде кернеу мен деформация тензорының сыңарларын анықтап алу қажет, ал алынған деректермен кернеулі күй сұлбасының қатаңдық коэффициентін есептеу керек. Деформация жылдамдықтарының өрісі, ығыстыру деформациясы жылдамдықтарының сыңарлары, ығысу деформациясы жылдамдықтарының қарқындылығы және кернеу тензорының сыңарлары келесі формулаларды пайдалана отырып есептелді:

деформациясы жылдамдықтарының өрісі:

$$\left. \begin{aligned} v_{xi} = \pm v_o \frac{x_i}{l_o}; \quad \xi_{xi} = \pm \frac{v_o}{l_o}; v_{zi} = -\frac{\ln \frac{z_i}{b}}{\ln \frac{x_i}{l_o}} \frac{v_o}{l_o} z; \quad \xi_{zi} = -\frac{\ln \frac{z_i}{b}}{\ln \frac{x_i}{l_o}} \frac{v_o}{l_o}; \\ v_{yi} = \left( \mp 1 + \frac{\ln \frac{z_i}{b}}{\ln \frac{x_i}{l_o}} \right) \frac{v_o}{l_o} y; \quad \xi_{yi} = \left( \mp 1 + \frac{\ln \frac{z_i}{b}}{\ln \frac{x_i}{l_o}} \right) \frac{v_o}{l_o}; \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

ығысу деформациясы жылдамдықтарының сыңарлары:

$$\left. \begin{aligned} \xi_{xy} = -\frac{v_o \frac{y}{l_o} \ln \frac{z}{b}}{2y \ln^2 \frac{x}{l_o}}; \sqrt{\xi_{yz}} = \frac{v_o \frac{y}{l_o}}{2z \ln \frac{x}{l_o}}; \xi_{zx} = \frac{v_o \frac{z}{l_o} \ln \frac{z}{b}}{2y \ln^2 \frac{x}{l_o}}; \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

ығысу деформациясы жылдамдықтарының қарқындылығы:

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

кернеу тензорының сыңарлары:

$$\sigma_{ij} - \frac{1}{3} \sigma_{ij} \delta_{ij} = \frac{2T}{H} \left( \xi_{ij} - \frac{1}{3} \xi_{ij} \delta_{ij} \right), \quad (5)$$

мұндағы  $l_i, h_i, v_i$  – деформация ошағының ұзындығы, биіктігі және ені бойынша зерттелетін нүктеге дейінгі қашықтық;  $l_o, h_o, v_o$  – деформация ошағының ұзындығы, биіктігі және ені (сәйкесті жазылған).

Ығысу деформациясы жылдамдықтарының қарқындылығы шамасын біле отырып және «біртұтас қисық сызық» болжамын пайдалана отырып, жанамалы кернеулерді анықтаймыз. Осы кезде (5) жүйенің соңғы үш теңдеуіне (3) 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

$$\frac{\partial \sigma_{ii}}{\partial x_i} + \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} + \frac{\partial \sigma_{ik}}{\partial x_k} = 0. \quad (6)$$

Жеке туындылар  $\partial \tau_{xy} / \partial y$  және  $\partial \tau_{xz} / \partial z$  алып және (6) теңдеуін интегралдап  $\sigma_{xx}$  кернеуін анықтаймыз. Әрі қарай, ығысу деформациясы жылдамдықтарының қарқындылығы шамасын біле отырып және «біртұтас қисық сызық» болжамын

пайдалана отырып (5) жүйенің бірінші теңдеуінен орташа кернеуді табамыз, келесі екі теңдеуді пайдалана отырып,  $\sigma_{yy}$  және  $\sigma_{zz}$  нормальды кернеулерін анықтаймыз.

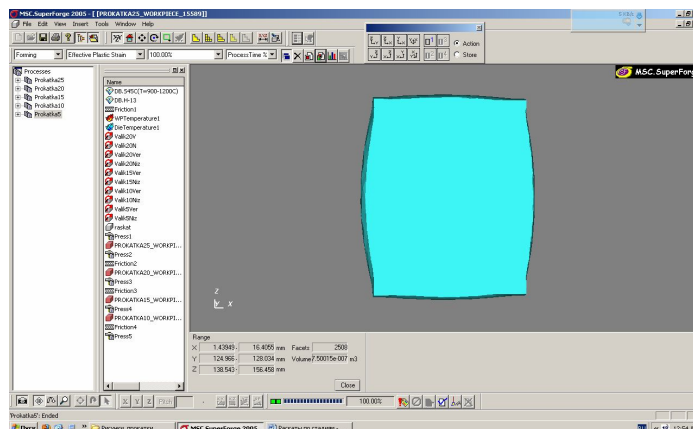
Кернеулі-деформациялы күйді анықтаған кезде өлшенген деректерді пайдаландық (4 сурет).

Болат пен қорытпаларды ұсынылған орнақта илемдеген кезде пайда болатын қирау жағдайын илемділік қорын қолдану дәрежесін (ИҚҚД) есептеп бағаладық. Илемділік қорын қолдану дәрежесін мынандай формуламен есептедік:

$$\psi = \int_0^{\varepsilon} \frac{H(\tau)d\tau}{\Lambda_p[k_{жс}(\tau)]} = \int_0^{\varepsilon} \frac{H(\varepsilon)d\tau}{\Lambda_p[k_{жс}(\varepsilon)]}, \quad (7)$$

мұндағы  $\Lambda_p$  – кернеулі күйден тәуелді болатын металдың шекті илемділігі;  $k_{жс} = \sigma/T$  – кернеулі күй сұлбасының қатаңдық коэффициенті;

$T = \frac{1}{\sqrt{6}} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_x - \sigma_z)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2 + \tau_{zy}^2)}$  – жанама кернеудің қарқындылығы;  $\sigma$  – орташа кернеу.



Сурет 4 – Бірінші қапаста илемдегеннен кейінгі деформация ошағының геометриялық өлшемдері

Ст3 болатын деформациялаған кезде  $\Lambda_p$  анықтау үшін мынандай белгілі теңдеуді пайдаланылды:

$$\Lambda_p = 2,58 + 3,1(T_n/1000)^2 - 0,73(T_n/1000)\ln \xi - 0,64(\sigma/T) + 0,1(\sigma/T)\ln \xi, \quad (8)$$

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

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.

**Үшінші бөлімде** құрылымы жаңа үздіксіз орнақта жолақты ыстықтай илемдеу кезінде пайда болатын энергиякүштік параметрлерді есептеудің

жетілдірілген әдістемесін ұсындық. Бұл тарауда белгілі ғылыми әдібеттерден алынған нәтижелерді және жаңа орнақтың жұмыс пішінбіліктерінің диаметрлері өзгеру заңдылықтарын қолданып деформация ошағаның келесі түрлерін қабылдадық:

- 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 ( $v_{\text{хср}}$ ) қатысты мынаны жазуға болады:  $h_x > h_n$  болған кезде  $v_{\text{хср}} < v_b$ ;  $h_x < h_n$  болған кезде  $v_{\text{хср}} > v_b$  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.

Деформация ошағының бірінші және екінші серпімді аймағының және илемді аймақтарының ұзындықтары белгілі формулалар бойынша анықталады.

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 (5 сурет):

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

$$\tau_x = ?p_x, \quad (9)$$

? – үйкеліс коэффициенті.

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

$$\tau_x = \tau_s \left( \frac{h_x - h_n}{h_{1.\text{кол}} - h_n} \right), \quad (10)$$

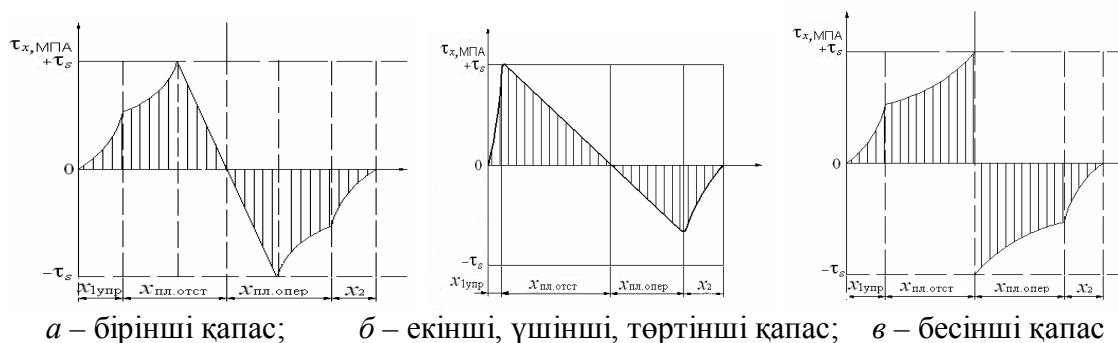
мұндағы  $h_{1\text{скоп}}$  – жолақтың сырғу және жабысу шекарасындағы бөлімінің қалыңдығы;

- екінші, үшінші, төртінші қапас: ұзындығы  $x_{1\text{упр}}$  және  $x_2$  болатын деформация ошағында (9) формуламен есептелетін сырғу үйкелісінің заңы қолданылды, ал жабысу аймағы болып табылатын илемді бөлімде жанама кернеулер сызықты үлкен мәннен  $\tau_{x\text{max}} = \tau_s$  бейтарап қимада  $\tau_x = 0$  мәнінен өте отырып  $\tau_x \geq -\tau_s$ , кіші мәнге дейін өзгереді. Осындай айтылған өзгеруді мынандай өрнекпен бейнелеуге болады:

$$\tau_x = \tau_s \left( \frac{h_x - h_n}{h_{1\text{упр}} - h_n} \right), \quad (11)$$

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

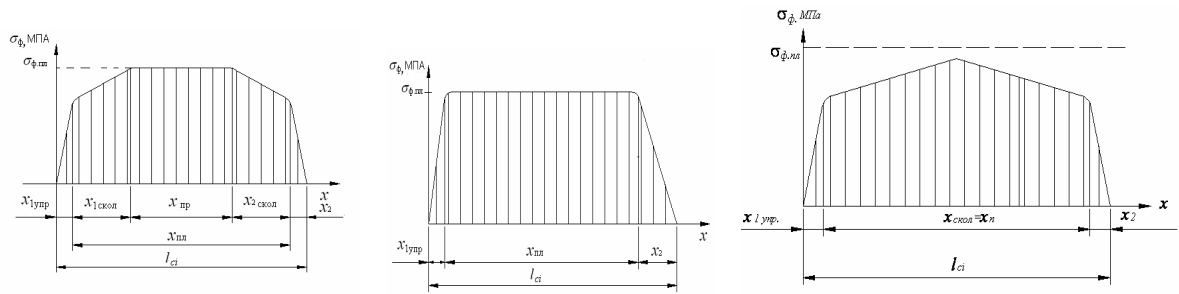
- бесінші қапас: деформация ошағынның серпімді және сырғу бөлімдерінде сырғу үйкелісінің (9) формуламен анықталатын заңы қолданылды.



Сурет 5 – Деформация ошағындағы жанама түйіспелі кернеулердің өзгеру заңдылықтары

Илемдеу күшін есептеудің әдістемесінде жабысу аймағы үшін үйкеліс жағдайының өзіне тән белгілі ерекшеліктері пайдаланылды. Бұл аймақта нормальды және түйісетін жердегі жанама кернеулер сырғу үйкелісінің коэффициентінен мүлде тәуелді емес. Осы кернеулер жолақ материалының таза ығысуға кедергісінен және жолақтың жылдамдығы  $v_{\text{хср}}$  (әрбір көлденең қимада 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 (6 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; *б* – екінші, үшінші, төртінші қапас; *в* – бесінші қапас

Сурет 6 – Ыстықтай илемдейтін орнақтың *i*-қапасындағы түйісу доғасының ұзындығы бойынша деформация кедергісінің өзгеру кестесі

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

$$\sigma_{\phi,пл} = \sigma_{SO} \cdot \xi^{n_1} + D \cdot \bar{\varepsilon}_x \times \exp\left[\left(-\frac{\bar{\varepsilon}_{x1}}{\bar{\varepsilon}_{x2}}\right) \xi^{n_{\varepsilon 1}}\right] - (\sigma_{SO} \cdot \xi^{n_{\varepsilon 2}} - \sigma_J \cdot \xi^{n_J}), \quad (12)$$

мұндағы  $\sigma_{SO} = \lim_{\substack{\varepsilon \rightarrow 0 \\ \xi = 1}} \sigma_S$  - аққыштық шегі;  $D = -\frac{d\sigma_S}{d\varepsilon}$  - бастапқы беріктенудің

модулі;  $\bar{\varepsilon}_{x1}, \bar{\varepsilon}_{x2}$  - ең жоғары температурада алынған, максималды мөлшері бар  $\sigma_S - \bar{\varepsilon}$  диаграммасындағы  $\sigma_{Smax}$  - ке сәйкес келетін сипаттамалық логарифмдік деформация;  $\sigma_J = \lim_{\varepsilon \rightarrow \infty} \sigma_S$  - 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.

Нормальды түйіспелі кернеулерді және илемдеу күштерін есептеу келесі формулалармен жүргізілді:

Жолақта ұзындығы  $x_{1упр}$  тең серпімді жаншуды пайда болғызатын және ұзындығы  $x_{пл}$  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.

$$P_1 = \alpha_p \sigma_{\phi,пл} Q_p \left(1 - \frac{q_0 + q_1}{2,3\sigma_{\phi,пл}}\right) l b, \quad (13)$$

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:

$$Q_p = 0,692 + 0,008 \frac{R}{h_1} + 1,984\varepsilon + 0,016\varepsilon \frac{R}{h_1} - 2 \cdot 10^{-6} \left(\frac{R}{h_1}\right)^2 - 1,188\varepsilon^2, \quad (14)$$

ал  $\alpha_p$  есептеген кезде тәжірибелік деректерді регрессиялық талдаумен алынған келесі теңдеуді пайдаландық:

$$\alpha_p = 0,2527 + 13,8433(1 - 0,0205\varepsilon + 0,2485k_l) Q_p \sqrt{\frac{h_1}{R} \frac{\varepsilon}{1 + \varepsilon}}, \quad (15)$$

мұндағы  $R$  – жұмыс пішінбілік бөшкесінің радиусы;  $\varepsilon$  – салыстырмалы жаншу;  $h_1$  – жолақтың алдыңғы ұшындағы қалыңдық;  $k_l = l_{c1}/l_x$  – қабысу:

$$k_l = 1 + 3,95 \cdot 10^{-6} \sigma_{\phi,пл} \frac{R}{h_1} \sqrt{\frac{1 + \varepsilon}{1 - \varepsilon}}, \quad (16)$$

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

- екінші, үшінші, төртінші қапас: екінші, үшінші, төртінші қапастарда пайда болатын нормальды түйіспелі кернеулердің орташа мәндерін есептеу үшін белгілі теңдеулер пайдаланылды (диссертацияда көрсетілген).

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

$$p_{cpi} = \frac{1}{l_{ci}} (p_1 x_{1,ynp} + p_{2,3} x_n + p_4 x_2) \quad (17)$$

- 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:

$$p_{cp} = 1,15 \{ [x_{0i} \sigma_{s0i} h_0 / (d - 2)] [(h_0/h_H)^{d-2} - 1] + [x_{1i} \sigma_{s1i} h_1 / (d + 2)] [(h_H/h_1)^{d+2} - 1] \} / \Delta h, \quad (18)$$

мұндағы  $h_0, h_1$  – деформация ошағынан шыға берістегі және кіре берістегі жолақтың қалыңдығы;  $x_{0i} = 1 - q_{0i} / (1,15 \sigma_{s0i}) - p_{cp}$  –ға алдыңғы тартудың ықпалын сипаттайтын коэффициент;  $x_{1i} = 1 - q_{1i} / (1,15 \sigma_{s1i}) - p_{cp}$  –ға артқы тартудың ықпалын сипаттайтын коэффициент;  $d = 2? l_d / \Delta h$  – деформация ошағының параметрі;  $h_H = [x_{0i}/x_1 (h_0)^d - 1 (h_1)^d + 1]^{1/2d}$  – бейтарап қимадағы (жанама кернеулердің таңбасы өзгеретін 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:

$$P = p_{cpi} \cdot l_{ci} \cdot b, \quad (19)$$

мұндағы  $b$  – илемделетін жолақтың ені.

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

$$M_{1p} = K_M [2P_1 \psi l_c + R(q_o h_o - q_1 h_1)] \quad (20)$$

мұндағы  $h_o$  – жолақтың артқы жағы ұшының қалыңдығы;  $\psi$  – иін коэффициенті;  $K_M$  – моменттің бейімделу коэффициенті.

Жаңа орнақтың екінші, үшінші және төртінші қапастары үшін біз қабылдаған ыстықтай илемдеу қуатын есептеу әдістемесі белгілі еңбектерден алынған және суықтай илемдейтін орнақтар үшін әзірленген әдістемеге ұқсас. 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 (9) есептелетін үйкеліс заңымен байланысқан.

Илемдеу қуатын илемдеудің деформация ошағының әрбір аймағы үшін меншіктік жұмыстардың белгілі өрнектерін пайдалана отырып анықтадық (диссертацияда келтірілген).

Жолақ  $i$ -қапасында орналасқан пішінбілік арқылы өткен кезде онда пайда болатын илемдеудің меншіктік жұмысын, меншіктік жұмыстарды өзара қосу арқылы анықтадық, яғни:

$$a_{пр} = a_1 + a_2 + a_3 + a_4. \quad (21)$$

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

$$N_{при} = a_{при} v_i h_i b. \quad (22)$$

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.

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

Илемдеу күштері мен шақтама күштердің, сондай-ақ жұмыс моменттері мен шақтама моменттердің қапастар бойынша таралуы диссертацияда келтірілген.

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

- қалдық беріктендіруді ескермей  $\sigma_{ф.пл}$  анықтағанда, осы мөлшерді анықтаудың қателігі қапастан қапасаққа 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 қапасаққа қарай азаяды;
- пішінбіліктерге әсер етіп тұрған күштердің, жұмыс моменттерінің азаяуы, сондай-ақ орнақтың қаттылығының артуы, бір жағынан, қапастардың өлшемдері мен жетектің қуатын азайтуға мүмкіндік берсе, екінші жағынан



илемделіп жатқан жолақтың дәлдігін арттырады.

Жаңа орнақ құрылымының жекелеген элементтерін беріктікке есептеп, алынған нәтижені тексеру 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.

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:

$$\Delta x_i = 0,25 \cdot k_n \cdot D_{pi} \cdot \alpha^2, \quad (23)$$

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

$$h_1 \frac{\pi D_{k1} n_1}{60} (1 + s_1) + h_2 \frac{\pi D_{k2} n_2}{60} (1 + s_2) + \dots + h_5 \frac{\pi D_{k5} n_5}{60} (1 + s_5) \quad (24)$$

мұндағы  $n$  – пішінбіліктердің айналу жылдамдығы;  $D_k$  – пішінбіліктердің илемдеу диаметрі;  $s$  – пішінбіліктерден шыға берістегі озу.

Соңғы болып жазылған (23) 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.

Жүргізілген зерттеулер беткі ақаумен жасалатын жергілікті кернеулі күйді, ақаудың тереңдігіне ғана байланысты анықтауға мүмкіндік берді. Бұл, өз

кезегінде, шекті илемділік диаграммасы көмегімен, беткі ақауы бар болаттардың әсіресе созушы кернеу аймағына түскен кезде илемділігінің азаю қарқындылығын сандық бағалауға мүмкіндік берді.

**Төртінші бөлімде** жаңа орнақта илемделіп алынған ыстықтай илемделген жолақтардың сапасы бағаланды.

Жаңа орнақта ыстықтай илемделген жұқа табақтардың сапасын бағалау бір балқымадан илемделген 29 жолақ үшін жүргізілді. Жұқа табақтардан өлшеніп алынған беткі ақаулар, механикалық қасиеттер, сондай-ақ алақалыңдық статистикалық массив түзіп, олар жолақтардың сапасын квалиметриялық бағалауға мүмкіндік берді.

Ыстықтай илемделген жұқа табақ үшін сапаның жинақталған көрсеткішінің орташа мәні 0,64926 тең болды. Бұл жағдайда ұсынылған технология үшін түзетілетін ақаудың шамасы (Харрингтон межелігі бойынша 0,2-ден 0,37-ге дейін) бүкіл массив көлемінің 7,23%-ын құрады, ал стандарт талаптарын орындау пайызы – 59,25%-ға тең болды. Арттырылған дәлдік сыныбына көшу 34,52% жұқа табақта байқалды. Ұсынылған технологияда гипотезалық жақсы қасиетке жұқа жолақтың 3,0%-ы жетті (гипотезалық қасиеттердің деңгейі – Харрингтон бойынша 0,8-ден 1,0-ге дейін). Сапаның жинақталған коэффициентінің дисперсиясы илемделген топ үшін 0,06385 құрады.

### **ҚОРЫТЫНДЫ**

Ыстықтай илемдеудің технологиялық режимдерін жетілдіру мақсатында, жаңа орнақта жұқа жолақтарды ыстықтай илемдегенде пайда болатын кернеулі-деформация күй және энергиякүштік параметрлерді есептеу жөнінде зерттеулер жүргізілді.

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. Белгілі энергиякүштік параметрлерді есептеу әдістемесінде мынандай кемшіліктер бар:

- илемдеу бағытында жұмысшы пішінбіліктердің диаметрі азаятын 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 етіп немесе деформация ошағы сырғу мен жабысу аймақтары бар тек илемді бөлімнен тұратын етіп 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;

4. Илемдеу қорын қолдану дәрежесін есептеу әдістемесі жетілдірілді;

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 параметрлерінің өзгеру заңдылықтары анықталды;

7. Әзірленген әдістемелерді қолдана отырып орнақ пен илемдеу параметрлерінің деформация ошағының энергиякүштік параметрлеріне ықпалы зерттеліп, илемдеудің тиімді режимдері анықталды.

8. Жаңа орнақта жолақты ыстықтай илемдеген кезде салыстырмалы жаншу, илемдеу температурасы және қапасаралық тартылыс түйісу кернеуі мен күшке аса тиімді әсер ететін құралдар екендігі анықталды.

9. Ыстықтай илемделген жолақтардың дәлдігін арттыруды және илемдеу күшін, энергияның жұмсалуды азайтуды қамтамасыз ететін ыстықтай илемдеудің жетілдірілген режимдері есептеліп, табысты түрде сыналды.

**Қойылған мәселелердің толық орындалу шешімінің бағасы.** Зерттеу мақсаттары толық шешіліп, жұмыстың алға қойған мақсаты жетістікке жетті.

**Алынған нәтижені нақты қолдануға ұсыныстар және бастапқы мәліметтер жасау.**

Диссертациялық жұмыстың нәтижелерін «жұқа сляб құю – ыстықтай илемделген жолақ» технологиялық тізбегіне ендіру ұсынылады. Жаңа орнақта ыстықтай илемдеудің технологиясы жасалған. Ұсынылып отырған зерттеу жұмысын көміртекті және аз көміртекті болаттардан ыстықтай күйінде жұқа жолақ алу үшін шағын өндірісте пайдалануға болады.

**Зерттелген техника-экономикалық қесек аймақта алынған жақсы жетістіктермен салыстырғанда жасалған жұмыстың ғылымдық деңгейін бағалау**

Ұсынылып отырған орнақ пен өндіріс технологиясы қалыңдығы 0,6 – 1,2 мм металлургиялық қасиеттері жағынан суықтай илемделген жолақтардың қасиетімен бәсекелес боларлықтай ыстықтай илемделген жолақты алуға мүмкіндік береді. Ыстықтай илемделген жұқа табақты суықтай қалыптауға пайдалану өнімділікті арттыру мен ысырапты қысқарту нәтижесінде пайда көлемін 1 -1,5 %-ға өсіреді. Ыстықтай илемделген жұқа жолақтың қол жеткізген қасиеті өндірушілерге, оны суықтай илемделген жолақ бағасымен немесе оған жуық бағамен сатуға, қосымша үнемдеуге қол жеткізе отырып мүмкіндік береді.

**Зерттелген ғылыми аймақта алынған жақсы жетістіктермен салыстырғанда жасалған жұмыстың ғылымдық деңгейін бағалау**

Ұсынылып отырған орнақтың құрылымы жаңа (патент алынған). Жаңа орнақтың құрылымының айырмашылығы диссертацияда келтірілген.

## **ДИССЕРТАЦИЯ ТАҚЫРЫБЫ БОЙЫНША БАСЫЛЫМДАР ТІЗІМІ**

1. Машеков С.А., Смаилова Г.А., Машекова А.С. и др. Методика статистической обработки данных квалиметрической оценки качества. // Материалы Международной научно-технической конференции «Инновационные пути развития нефтегазовой отрасли Республики Казахстан», том I, Алматы: КазНТУ 2007г. С. 259-262.

2. Машеков С.А., Кузьминов И.И., Смаилова Г.А. и др. Расчет степени использования ресурса пластичности при холодной прокатке. // Вестник КазНТУ. № 5 (68). Алматы, 2008г. С. 75-80.

3. Машеков С.А., Кузьминов И.И., Смаилова Г.А. и др. Оптимизация режимов непрерывной холодной прокатки с целью предупреждения обрывности полос (Сообщения 1). // Материалы международной научной конференции «Состояние и перспективы развития механики и машиностроения в Казахстане». том. II, Алматы: КазНТУ. 2007г. С. 44-48.

4. Машеков С.А., Кузьминов И.И., Смаилова Г.А. и др. Оптимизация режимов непрерывной холодной прокатки с целью предупреждения обрывности полос (Сообщения 2). // Материалы международной научной конференции «Состояние и перспективы развития механики и машиностроения в Казахстане». том II, Алматы: КазНТУ. 2007г. С. 48-51.

5. Байгунчеков Ж.Ж., Смаилова Г.А., Нугман Е.З., и др. «Прогресс в производстве тонких стальных полос» Труды международного форума «Наука и инженерное образование без границ» Алматы: КазНТУ. 2009г. С.159-162.

6. «Непрерывный стан для прокатки полос из сталей и сплавов» С.А. Машеков, Г.А. Смаилова, Е.З. Нугман и др. Патент №59427 Оpubл. 11.05.2007г. бюл. № 3. -2с: ил

7. Машеков С.А., Кузьминов И.И., Смаилова Г.А. и др. Технология прокатного производства: Монография. – Алматы: Tetaprint. 2007г. 334 С.

8. Машеков С.А., Смаилова Г.А., Машекова А.С. и др. Методика контроля качества при производстве холоднокатанного проката. // Вестник КазАТК. № 6 (61). Алматы. 2009г. С. 99-104.

9. Машеков С.А., Смаилова Г.А., Машекова А.С. и др. Методика контроля состояния оборудования при производстве холоднокатанного проката. // Вестник КазАТК. № 6 (61). Алматы. 2009г. С. 104-109.

10. Машеков С.А., Нуртазаев А.Е., Смаилова Г.А., и др. Исследование НДС заготовки при прокатке на непрерывном стане горячекатанных тонких полос с применением MSC.SUPERFORGE. // Вестник КазАТК. № 6 (61). Алматы. 2009г. С. 112-117.

11. Смаилова Г.А. Разработка методики расчета степени использования ресурса пластичности при прокатке на новом непрерывном стане. // Вестник КазАТК. № 3 (64). Алматы. 2010г. С. 86-93.

12. Смаилова Г.А. Құрылымы жаңа илемдеу орнағында илемдеу режимін жолақтардың үзілгіштігін ескерту мақсатында оңтайландыру. // Халықаралық «Металлургиядағы жеделдетілген индустриалдық инновациялық даму» ғылыми-тәжірибелік конференциясының еңбектері. - Алматы: ҚазҰТУ. 2010ж. 43-45. б.

13. Смаилова Г.А., Нұғман Е.З. Құрылымы жаңа илемдеу орнағында энергиякүштік параметрлерді есептеу нәтижелерін талдау. // «Білдек жасау, материалтану және машина жасау өндірісінің атоматты жобалауындағы жаңалық» Бірінші Халықаралық ғылыми – техникалық конференциясының еңбектері. I том, Алматы: ҚазҰТУ. 2010ж. 55-59. б.

## РЕЗЮМЕ

**СМАИЛОВА ГУЛЬБАРШЫН АБЫЛКАСЫМОВНА**

### **«Улучшение качества листового проката путем изменения конструкции клетки прокатного стана»**

**На соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.03.01 – Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки**

Общая характеристика. Основным направлением совершенствования производства тонкого горячекатаного листа являются: оснащение цехов новым высокопроизводительным оборудованием; улучшение качества поверхности полос и повышение точности их размеров; улучшение механических свойств материала листов; повышение производительности станов и агрегатов; увеличение выхода годного, снижение издержек производства.

Актуальность работы. Задачи связанные с улучшением качества продукции, снижением издержек производства, исключением обрывности полос путем разработки новой конструкции прокатного стана, методики расчета СИРП, энергосиловых параметров процесса горячей прокатки, а также совершенствованием технологии производства тонколистовой стали отвечающей современным условиям производства представляется весьма актуальной и целесообразной.

Цель работы. Исследование причин обрывности полос в существующих станах горячей прокатки и на основе полученных результатов разработка конструкции нового стана для прокатки тонких полос без изменения набора элементов оборудования существующего стана и их теоретическое обоснование.

**Научная новизна работы.** В работе представлены результаты решения проблемы по совершенствованию технологии производства катаных изделий, позволяющих повысить качество продукции. В связи с этим:

- на основе упругопластической модели очага деформации, пластический участок которого представляют в зависимости от диаметров валков зону скольжения и прилипания или целиком зону скольжения или прилипания усовершенствована методика расчета энергосиловых параметров процесса горячей прокатки тонких полос на новом стане;

- установлен достоверный закон изменения касательных напряжений в зоне очага деформации, оптимальные режимы обжатия и энергосиловые параметры при прокатке на новом стане;

- усовершенствована методика расчета СИРП при горячей прокатке тонких полос с поверхностными дефектами на новом стане;

- получены количественные данные и установлены основные закономерности изменения НДС при горячей прокатке тонких полос в новом

стане и на основе этих данных рассчитана СИРП.

Методика исследований базируются на использовании теории НДС. Для теоретического расчета НДС использована стандартная методика и компьютерная программа. Объектами исследования были технология горячей прокатки, стан новой конструкции.

**Практическая ценность** работы заключается в том, что на основе проведенных исследований разработана новая конструкция стана и режимы прокатки горячекатаных полос в этом стане, способствующие получению изделия требуемого качества.

**Положения, выносимые на защиту:**

- усовершенствованная методика расчета энергосиловых параметров процесса горячей прокатки на новом стане основанная на упругопластической модели очага деформации, пластический участок которого представляет в зависимости от диаметров валков зону скольжения и прилипания, или целиком зону скольжения или прилипания;

- закон изменения касательных напряжений в зоне очага деформации, режимов обжатий и энергосиловых параметров при прокатке на новом стане;

- усовершенствованная методика расчета СИРП при горячей прокатке тонких полос в новом стане;

- результаты теоретического исследования НДС и СИРП при горячей прокатке тонких полос в новом стане.

**Достоверность полученных результатов.** Достоверность результатов теоретических расчетов достигается обоснованным использованием известных методик, теоретических зависимостей, допущений и ограничений, корректностью постановки задачи моделирования, а также применением современных математических методов и средств вычислительной техники.

## Summary

**Smailova Gulbarshyn Abylkasymovna**

**“The quality improvement of sheet products by means of change the cage construction of rolling mill.**

**For the candidate’s thesis of technical sciences, speciality 05.03.01-Technology and equipment for the mechanical and applied-physics treatment.**

**The Overall performance.** The mainstream of production improvement of thin hot-rolled sheet is the department rigging by the new high-productive equipment; the quality improvement of surface band and the exactness increase their sizes; the improvement of material property of sheets; the productivity increasing of mills and aggregates; the increasing yield, the lowering of cost of production.

**The work currency.** The tasks connected with the quality improvement of production, with lowering of cost of production, with exclusion of band thread by development of new construction of rolling mill, with design procedures of the degree of use ductility, with energy-power parameters of the hot rolling and also with technology improvement of production of light plate which met to modern conditions of production is very urgent and reasonable.

**The purpose of work.** The reason research of band thread in existing mills of hot rolling and on the basis of received results the development of constructions of new mill for rolling of thin band without changes of set components equipment of existing mill and its theoretical justification.

**Scientific novelty of the research.** This work presents the results of problem solution of technology improvement of rolled products production which improve the product quality. In that case:

- On the basis of elastoplastic model of deformation site the plastic area of which represent against the roll diameter zone of sliding and sticking or the whole area of sliding and sticking, improved the method of energy-power parameters calculation of hot rolling process of thin bands on new mill;

- There is established a reliable law of tangential stress change in zone of deformation site, the optimum draughting schedule and energy-power parameters in rolling on new mill;

- There is improved the calculation method of the degree of use ductility in hot rolling of thin bands with surface defects on new mill;

- There is received the quantitative data and established the main change conformities of mode of deformation in hot rolling of thin bands in new mill and on the basis of these data of the degree of use ductility is calculated.

The method of investigation is based on use the theory of mode of deformation. For theoretical calculation of mode of deformation is used the standard method and computer program. The research objects were the technology of hot rolling and the mill of new construction.



The practical value of work is that on the basis on conducted researches is developed a new construction of mill and conditions of hot-rolled bands in this mill which is promoted product receipt of required quality.

**Provisions for the defence:**

- the improved calculation method of energy-power parameters of hot-rolled process on new mill, which is based on elastoplastic model of deformation site, the plastic area of which represents against the against the roll diameter zone of sliding and sticking or the whole area of sliding and sticking;

- law of tangential stress change in zone of deformation site, the draughting schedule of clamping and energy-power parameters in rolling on new mill;

- the improved the calculation method of the degree of use ductility in hot rolling of thin bands in new mill;

- the theoretical results of research mode of deformation and the degree of use ductility on hot-rolled of thin bands in new mill.

The reliability of the results. The reliability of the results of theoretical calculations achieves by well-founded use of known methods, theoretical dependences, assumptions and limitations, correctness of problem definition of modelling and also by application of modern mathematic methods and means of a computer science.