

Дөңес жұмыс беті бар қиық конус пішінді біліктерді қолданып асимметриялы таптау үрдісін зерттеу

¹**АШКЕЕВ Жасулан Аманжолович**, т.ғ.к., доцент, jashkeev@mail.ru,

^{1*}**АБИШКЕНОВ Максат Жарылгасынович**, магистр, аға оқытушы, maks91.kz@inbox.ru,

¹**НОГАЕВ Кайрош Абилович**, т.ғ.к., кафедра меңгерушісі, nk-1912@mail.ru,

¹**ҚАНСЕЙТ Нұрай Шанжарханқызы**, офис-менеджер, kanseit17@mail.ru,

¹**УКТАЕВА Ляззат Идаятовна**, магистр, аға оқытушы, luktaeva@mail.ru,

¹«Қарағанды индустриялық университеті» КеАҚ, Қазақстан, Теміртау, Республика даңғылы, 30,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Мақалада дөңес жұмыс беті бар қиық конус пішінді біліктерді қолданып асимметриялы таптау үрдісін зерттеу нәтижелері сипатталған. Ұсынылып отырған арнайы таптау біліктерін қолдану арқылы тапталатын материалдың сапасына оң әсер ететін ығысу деформацияларының пайда болу мүмкіндігі дәлелденген. Әрқабатты модельдер әдісін қолдана отырып орындалған тәжірибелік зерттеулер жүргізілді. Талдау нәтижесінде дөңес жұмыс беті бар конус тәрізді біліктерде асимметриялы таптау кезінде ϵ сығымдау дәрежесінің жоғарылауымен γ қабаттардың қиғаштану бұрышы жоғарылайтындығы анықталды. Таптау нәтижесінде бір өту кезінде $2\div 2,5$ -ке жететін ығысу деформациясының қарқындылығы артаыны тұжырымдалды.

Кілт сөздер: дөңес жұмыс беті бар қиық конус пішінді біліктер, асимметриялы таптау, әрқабатты модельдер әдісі, ығысу деформациясы, сығымдау дәрежесі, қиғаштану бұрышы, математикалық статистика.

Кіріспе. Қазіргі таңда металлургиялық кәсіпорындарда балқытылатын барлық болат маркаларының 90%-ына жуығы таптау үрдісінен өтетіндіктен және технологиялық қарапайымдылығы мен жоғары өнімділігіне байланысты таптау үрдісі металлургия саласында, әсіресе металдар қысыммен өңдеуде аса маңызды рөл атқарады [1, 2]. Цилиндрлі немесе бөшкесі тегіс таптау біліктерінің арасында металл дайындаманы дәстүрлі бойлық таптаудың нәтижесінде таптау бағыты бойынша түйіршіктер ұзарып созылады да ұзын талшықты құрылым қалыптасады. Бұл таптаманың сапасына кері әсер ететін құбылысты жою мақсатында жаңа әрі қарапайым технологиялық таптау үрдістері мен құрал-жабдықтарын жобалау қажеттілігін тудырады. Осындай жобалардың бірі аталған жұмыста ұсынылып отырған жұмыс бөшкесінің пішіні қиық конус түріндегі таптау біліктерінің арасында металл дайындаманы таптау үрдісі болып табылады. Ұсынылып отырған таптаудың технологиялық үрдісінде біліктердің диаметрлерінің әртүрлі болуына орай тапталатын дененің көлемінде ығысу деформациясы орын алады және ол материалдың бір бағытта созылуына (ұзаруына) кедергі болады. Бұл тұрғы-

дан алғанда ұсынылатын таптау үрдісінің сипаты асимметриялы, яғни симметриялы емес [3, 4] екендігіне көз жеткізуге болады. Асимметриялы таптау бойынша жасалған авторлардың алдыңғы зерттеуінде [5] асимметриялы таптау кезінде деформация ауқымында орын алатын кернеулік-деформациялық күй сырғу сызықтары әдісімен [6] зерттелді және таптаудың кинематикалық параметрлерінің металл сапасына әсер етуі теориялық тұрғыда зерделенді. Зерттеу нәтижелері асимметриялы таптаудың металл ағымына тигізетін оң әсерін, бір бағытты ағынның орын алуына кедергі келтіретіндігін, материалдың ішкі ақауларының сығымдалып жабылуына ықпал ететіндігін көрсетті, сондай-ақ пластикалық деформация ауқымындағы кернеулер мен жылдамдықтардың мәндері анықталды. Бірақ осы жұмыста келтірілген теориялық есептеулер мен болжамдарды эксперименттік зерттеулермен растау керек. Сондықтан, бұл мақалада жұмыс беті дөңес қиық конусты біліктерде асимметриялы таптау кезінде жолақ бөлшектерінің немесе дене нүктелерінің ағымының сипатын зерттеуге бағытталған тәжірибелік зерттеулердің нәтижелері келтірілген.

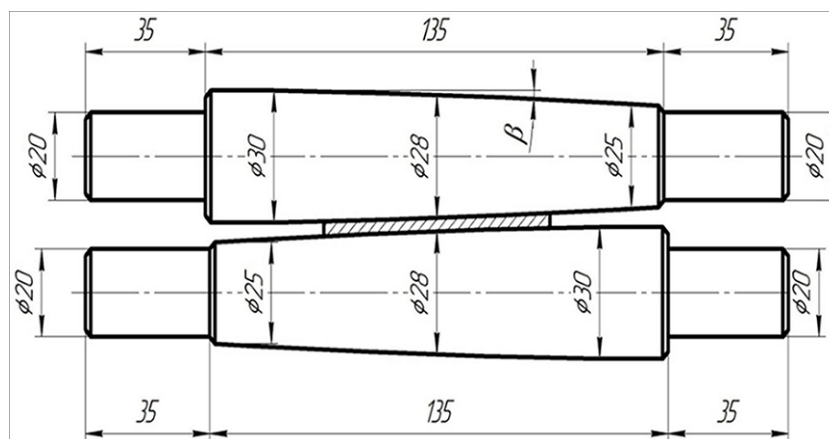
Зерттеу әдістемесі. Тәжірибе өткізу мақса-

тында зертханалық таптау станының моделін (үлгісін) жасау үшін алдымен таптау біліктерінің жұмыс сызбасы әзірленді (1-сурет).

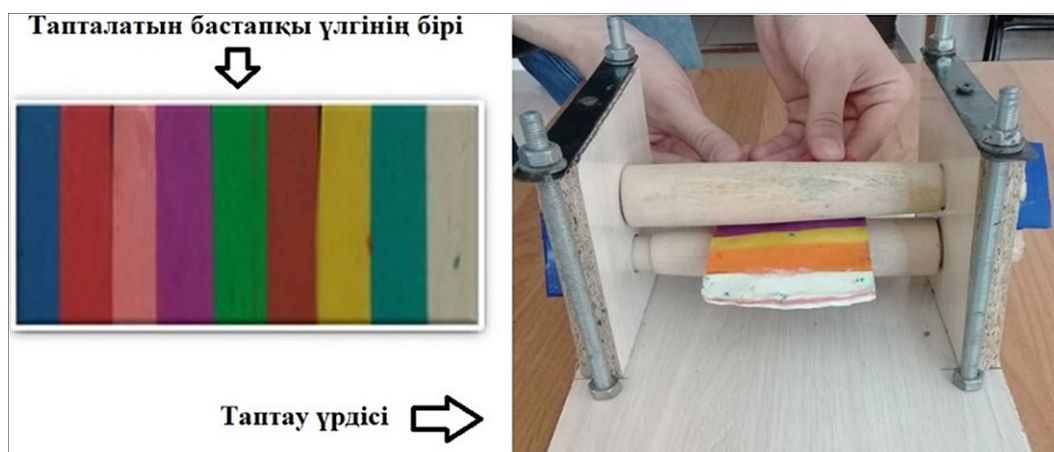
Үстіңгі және астыңғы жұмыс біліктері тұғырға (станинаға) суретте көрсетілгендей бір-біріне кері бағытта орналастырылады. Жұмыс сызбасы геометриялық ұқсастықты сақтай отырып қолданыстағы қаңылтыр таптау стандартының жұмыс біліктеріне барынша жақын етіп әзірленді. Сондықтан алынатын тәжірибелік нәтижелерді қолданыстағы суықтай және/немесе ыстықтай таптаудың өндірістік циклдерінде қолдануға ұсыныстар беруге болады. Ыстықтай таптау кезіндегі біліктердің тозу ықтималдығын ескере отырып біліктердің бөшкесінің диаметрлерін әртүрлі етіп қабылдау (25, 28 және 30 мм) жұмыс бетінің дөнестігін қалыптастырады. Аталған диаметрлік өлшемдер $\beta \approx 1:20$ шамасында болатын аз конустылықты қамтамасыз етеді. Конустылықтың үлкен болуы технологиялы емес, себебі үлкен конустылық дайындамаларды таптауға беруді қиындатады да үрдістің күрделіленуіне әкеліп соқтырады.

Тәжірибелік зерттеулердің негізгі міндеттерінің бірі – жолақтың көлемі мен қимасы бойында ығысу деформацияларының пайда болуын тексеру. Ығысу деформациясының алғышарты біліктер асимметриясы екендігін ескере отырып, мәні $D/d = 1,1 \div 1,2$ болатын асимметрия коэффициенті қабылданды. Мұндағы D және d сәйкесінше қиық конус тәрізді біліктердің үлкен және кіші диаметрлері.

Жұмыс сызбасының негізінде зертханалық станның ағаш моделі жасалды. Модельдің құрылысы астыңғы және үстіңгі жұмыс біліктерінен, осы жұмыс біліктерін орнатылатын тұғырдан, тұғырдың өзі орнатылатын плитадан және біліктердің айналмалы қозғалысын симуляциялайтын айналдырғыштардан (қол жетектен) тұрады (2-сурет). Үш өлшемі бірдей бірақ әр түсті пластилин үлгілері ені мен ұзындығы бойынша бір қатар етіп (бір-біріне жалғанып) қойылады да қажетті ε сығымдау дәрежесіне дейін тапталыады. Нәтижесінде, тапталған үлгілердің әр түсті қабаттарының қиғашталу сипаты арқылы ығысу деформациясы зерттеледі. Іске асырылуының



1-сурет – Дөңес жұмыс беті бар қиық конус пішінді таптау біліктерінің жұмыс сызбасы және орналасу сипаты (тапталатын материал штрихталған)



2-сурет – Тапталатын бастапқы үлгінің бірі және таптау үрдісі

қарапайымдылығымен, арзандығымен және қажетті зерттеу нәтижелерінің жылдам алынуымен сипатталатын бұл әдіс әрқабатты модельдер әдісі деп аталады және металдарды қысыммен өңдеу үрдістерін зерттеуде кеңінен қолданады.

Қиық конусты біліктер арасында таптаудың әрбір өтуінен кейін қалыңдық бағытындағы деформация немесе ϵ сығымдау дәрежесі 30%, 40% және 50% құрады. Аталған сығымдау дәрежелерінен кейінгі үлгінің өлшемдері мен қабаттардың қиғаштану бұрышы γ өлшенді (3-сурет).

Тапталған үлгілердің өзгерісіне байланысты қиық конусты біліктерде асимметриялы таптаудағы ығысу деформациясының параметрлері, сондай-ақ кеңею және ұзару сипаттамалары зерттелді. Математикалық статистика [7] принциптерін қолдана отырып әсер етуші факторлардың оңтайлы жағдайын анықтау міндеті де қойылды.

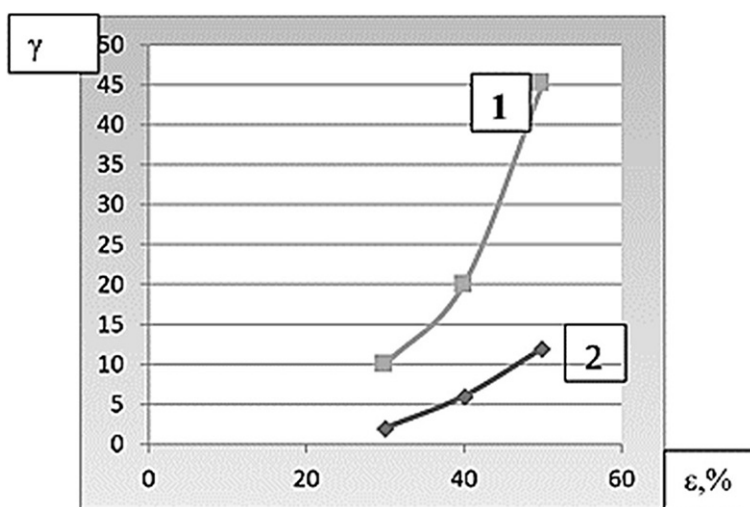
Зерттеу нәтижелерін талдау. Сығымдау

дәрежесі артқан сайын дайындаманың ұзара түсетіндігі және ені бойынша кеңею деформациясының мәні үлкен еместігі анықталды. Тәжірибелік зерттеулердің нәтижелерін талдау ϵ сығымдау көрсеткішінің немесе деформация дәрежесінің жоғарылауы мен үлгі қабаттарының γ қиғаштану бұрышының артатынын көрсетті (4-сурет).

Алынған мәліметтерден (4-сурет) деформация дәрежесі $\epsilon = 50\%$ болған кезде қиғаштану бұрышы $\gamma \sim 45^\circ$ шамасында болатындығын байқауға болады. Бұдан дайындама бір өтуде тапталғандағы ығысу деформациясының дәрежесі $\Gamma = \tan \gamma = 1 \div 1,2$ құрайды. Сонымен қатар қабаттардың бір-біріне қарама-қарсы қиғаштануын, яғни ығысуын көруге болады. Бұл ұсынылып отырған таптау үрдісінде бойлық қимада немесе таптау бағытында ығысу деформациясының орын алатындығын дәлелдейді. Демек, бір өтудегі ығысу деформациясының



3-сурет – Тапталған үлгі және үлгі қабаттарының қиғаштануы (ығысуы)



1 – үлгінің бойлық бағытындағы (бүйір бетіндегі) қабаттардың қиғаштану мәндері;
2 – үлгілердің жанасатын (контактілік) бетіндегі қабаттардың қиғаштану мәндері

4-сурет – Таптау үрдісінде ϵ шамасына байланысты γ мәндерінің өзгерісі

дәрежесі 2Г, яғни 2÷2,4 жетеді. Бұндай деформация дәрежесін цилиндрлік немесе тегіс бөшкеді біліктер арасында дәстүрлі таптау арқылы алу мүмкін емес, өйткені металл құрылымы таптау бағы бойында созылып талшықты болып қалыптасады.

Тәжірибелер дөнес жұмыс беті бар қиық конусты біліктерде симметриялы емес таптау кезінде ϵ сығымдаудың немесе деформация дәрежесінің де, қабаттардың қиғаштану бұрышының да жоғарылайтындығын көрсетті және бұл нәтижесінде бір өту кезінде мәні $\sim 2\div 2,5$ -ке жететін $\Gamma = \tan \gamma$ ығысу деформациясының қарқындылығының артуына әкеледі. Деформация қарқындылығының бұл мәнін цилиндрлік біліктерде симметриялы таптау кезінде жүзеге асыру мүмкін емес екені көрсетілді.

Сонымен, ϵ сығымдау немесе деформация дәрежесінің артуымен, қиғаштану бұрышы γ артады және тапталынатын металдың сапасын жақсартуға үлкен ықпал береді. Бірақ ϵ сығымдау немесе деформация дәрежесінің артуымен Р таптау күші де артады, яғни энергия шығыны жоғарылайды. Сондықтан зерттеуде мақсаты осы әсер етуші факторлардың оңтайлы жағдайын анықтау болатын қосымша міндет қойылды.

Алдымен, үрдістің технологиялық шектеулерінің шегінде осы тәжірибені іске асыру және тәжірибе қателігі шамасынан жоғары мәнді әсерін алу мүмкіндігінен факторлардың өзгеру деңгейлері таңдалды (1-кесте). Бұдан әрі жоспарлау матрицасымен тәжірибені өткізу картасы құрастырылады (2-кесте).

Жоспарлау матрицасын құрастырғаннан кейін таңдалған зерттеу объектісіне тәжірибелер жүргізіледі. Тәжірибелер рандомизация прин-

ципіне сәйкес кездейсоқ ретпен жүргізіледі. Бірінші 4-ші тәртіппен тәжірибе жүзеге асырылды, онда деформация дәрежесімен біліктердің конустығы төменгі деңгейде сақталды. Бұл жағдайда түсті қабатының қиғаштану бұрышы $\gamma \approx 10^\circ$ алынды, екінші рет №1 тәжірибе жүргізілді, онда екі фактор да X_1 X_2 жоғары деңгейде сақталды, ал қиғаштану бұрышы 30° болды және т.б.

Осылайша, екі тәжірибе сериясынан кейін (әрқайсысы фактор деңгейлерінің қайталанбайтын комбинациясы бар төрт тәжірибеден тұрады) Y_{u1} және Y_{u2} шығыс мәндерінің бағандары толтырылды. Енді тәжірибе нәтижелерін өңдеу және статистикалық талдау үшін қажет мәліметтердің бәрі алынған соң, белгілі әдістеме бойынша статистикалық есептеулер жүргізілді [7]. Ол бойынша қатар бойындағы орташа мән $(29^\circ + 31^\circ) / 2 = 30^\circ$ болатындығы анықталды. Есептеу нәтижелері тәжірибелер картасының бағанына енгізілді (2-кесте). Одан кейін қатар бойындағы дисперсиялар анықталды (қайталанатын дисперсия), тәжірибелер біркелкілігі тексеріліп, регрессия теңдеуінің коэффициенттері есептеліп, нәтижесінде қиық конусты біліктер арасында дайындамаларды таптау үрдісін дәл жазбалайтын математикалық модель алынды немесе регрессия теңдеуі ақтық түрде келесідей жазылады:

$$\hat{Y} = 18,75 + 3,75X_1 + 6,25X_2 + 1,25X_1X_2.$$

Алынған математикалық модель екі фактордың артуымен қиғаштану бұрышының γ артуын және бірінші фактормен салыстырғанда ($b_1 = 3,75$) екінші X_2 факторының әсері (конустігі) үлкен екенін көрсетеді ($b_2 = 6,25$). Бірақ конустығы артуымен үрдіс қиындатылады, себебі дайында-

1-кесте – Факторлардың өзгеру деңгейлері

Деңгейі	Факторлар	
	$X_1, \epsilon = \Delta h / h_0, \%$	$X_2, \beta = [(D - d) / 2L]$
Негізгі	30	0,02
Төменгі	10	0,01
Жоғарғы	20	0,03
Өзгеру интервалы, ΔX_i	10	0,01

2-кесте – Тәжірибе өткізу картасы

Тәжірибе номері	Рандомизация бойынша тәжірибені іске асыру тізбегі (екі серия)	Жоспарлау матрицасы		X_1 X_2	Оңтайлы параметрі, (ПО), γ°		
		X_1	X_2		Y_{u1}	Y_{u2}	$\bar{Y}_u$
1	2;4	+1	+1	+1	31	29	30
2	3;1	-1	+1	-1	19	21	20
3	4;2	+1	-1	-1	13	16	15
4	1;3	-1	-1	+1	12	9	10

ма біліктердің арасына тым көлбеулі беріледі. Сондықтан осы алынған математикалық модель көмегімен әсер етуші факторларынан ең оңтайлы параметрлерін анықтауға болады. Ол үшін кодталған факторлардан натуралды түрге өтеді:

$$\widehat{Y} = 18,75 + 3,75\left(\frac{X_1^H - 20}{10}\right) + 6,25\left(\frac{X_2^H - 0,020}{0,010}\right) + 1,25X_1X_2.$$

Мұнда X_1^H және X_2^H – әсер етуші факторларының натуралды мәндері. Осы модельге бірінші қадамда $X_1^H = 25\%$, екіншісін конустығын $X_2^H = 0,025$ қабылдап, келесі теңдеу алынады:

$$\widehat{Y} = 18,75 + 3,75 \cdot 0,5 + 6,25 \cdot 0,5 + 1,25 \cdot 0,25 = 24,0625.$$

Осы қабылданған оңтайлы мәндерінде γ қиғаштану бұрышы жуықтап алғанда $24 \div 25^\circ$ тең болады және ығысу деформациясының шамасы $\Gamma = 0,47$, бір өтуде $2\Gamma = 0,94$ тең болады. Бұны тәжірибе жүргізгенге дейін анықтау теориялық тұрғыдан мүмкін болмады. Тегіс бөшкелі біліктерде симметриялы таптау кезінде мұндай құбылыс байқалмайды, өйткені жолақтың барлық бөлшектері тек бойлық бағытта созылады. Демек,

бойлық және көлденең бағыттардағы жолақтың механикалық қасиеттерінің айырмашылығы туындайды.

Қорытынды. Осылайша, тәжірибелер дөңес жұмыс беті бар конус тәрізді біліктерде симметриялы емес таптау кезінде ϵ сығымдау дәрежесінің жоғарылауымен қабаттардың қиғаштану бұрышы жоғарылайтындығы анықталды. Бұл заңды құбылыс болып табылады және нәтижесінде бір өту кезінде $2 \div 2,5$ -ке жететін $\Gamma = \tan \gamma$ ығысу деформациясының қарқындылығының артуына әкеледі. Деформация қарқындылығының бұл мәнін цилиндрлік біліктерде симметриялы илектеу кезінде жүзеге асыру мүмкін емес. Сондықтан дөңес жұмыс беті бар қиық конусты біліктерді кезек-кезек ыстықтай таптау стандарты құрамындағы цилиндрлік біліктермен орнатқан жөн. Бұл шешім тек дайындамаларды ғана емес, сонымен қатар таптаудан кейін пайдалану кезінде, мысалы, суықтай штамптау кезінде өнімдердің сапасын едәуір жақсартуға әкеледі.

Қаржыландыру туралы ақпарат. Бұл жұмыс Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитеті қаржыландыратын зерттеу аясында іске асырылды (грант № AP19677907).

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Быхин Б.Б., Айнабекова С.С. Таптау және созу үдерістерінің теориясы. Оқу құралы. – Теміртау: ҚМИУ баспасы, 2016. – 130 б.
2. Мәшеков С.Ө. Быхин Б.Б. Материалдарды қысыммен өңдеу теориясы. Оқу құралы. – Алматы, Альманах баспасы, 2018. – 389 б.
3. Ashkeyev Z.A., Andreyachshenko V.A., Bukanov Z.U. Research of the asymmetric rolling of workpieces. PNRPU Mechanics Bulletin, 2020, 4, pp. 27-35.
4. Afifeh M., Hosseinipour S.J., Jamaati R. High-strength and high-conductivity nanograined copper fabricated by partial homogenization and asymmetric rolling. Materials Science and Engineering: A, 2019, 138451.
5. Ашкеев Ж.А., Абишкенов М.Ж., Қансейт Н.Ш. Исследование напряженного состояния и скоростных параметров при несимметричной прокатке // Труды университета. 2021. 2 (83). С. 31-36.
6. Ashkeyev Zh.A., Bestembek Ye.S., Abishkenov M.Zh. Plasticity theory. Educational manual. – Temirtau: KarIU, 2022. – 120 p.
7. Карлов А.М. Теория вероятностей и математическая статистика для экономистов: Учебное пособие. – М.: Кнорус, 2015. – 268 с.

Исследование процесса асимметричной прокатки в конусообразных валках с выпуклой рабочей поверхностью

¹**АШКЕЕВ Жасулан Аманжолович**, к.т.н., доцент, jashkeev@mail.ru,

^{1*}**АБИШКЕНОВ Максат Жарылгасынович**, магистр, старший преподаватель, maks91.kz@inbox.ru,

¹**НОГАЕВ Кайрош Абилович**, к.т.н., зав. кафедрой, nk-1912@mail.ru,

¹**ҚАНСЕЙТ Нұрай Шанжарханқызы**, офис-менеджер, kanseit17@mail.ru,

¹**УКТАЕВА Ляззат Идаятовна**, магистр, старший преподаватель, luktaeva@mail.ru,

¹НАО «Карагандинский индустриальный университет», Казахстан, Теміртау, пр. Республики, 30,

*автор-корреспондент.

Аннотация. Представлены результаты исследования процесса асимметричной прокатки с использованием усеченных конусообразных валков с выпуклой рабочей поверхностью. Доказана возможность возникновения сдвиговых деформаций, положительно влияющих на качество прокатываемого материала, при использовании предлагаемых специальных прокатных валков. Экспериментальные исследования проводились методом многослойных моделей. В результате анализа установлено, что угол наклона слоев γ увеличивается с увели-

чением степени обжатия ϵ при несимметричной прокатке на конусообразных валках с выпуклой рабочей поверхностью. В результате прокатки выявлено, что увеличивается интенсивность сдвиговой деформации, достигая значения $2 \div 2,5$ за один проход.

Ключевые слова: усеченно-конусные валки с выпуклой рабочей поверхностью, асимметричная прокатка, метод разнослойных моделей, сдвиговая деформация, степень обжатия, угол наклона, математическая статистика.

Study of Asymmetric Rolling Process Using Truncated Cone-shaped Shafts with a Convex Working Surface

¹**ASHKEYEV Zhassulan**, Cand. of Tech. Sci., Associate Professor, jashkeev@mail.ru,

^{1*}**ABISHKENOV Maxat**, Master, Senior Lecturer, maks91.kz@inbox.ru,

¹**NOGAEV Kayrosh**, Cand. of Tech. Sci., Head of Department, nk-1912@mail.ru,

¹**KANSEIT Nurai**, Office Manager, kanseit17@mail.ru,

¹**UKTAYEVA Lyazzat**, Master, Senior Lecturer, luktaeva@mail.ru,

¹NPISC «Karaganda Industrial University», Kazakhstan, Temirtau, Republic Avenue, 30,

*corresponding author.

Abstract. The article describes the results of the study of the process of asymmetric rolling using truncated cone-shaped shafts with a convex working surface. The possibility of occurrence of shear deformations, which positively affects the quality of the material to be trampled, has been proven by using the proposed special trampling shafts. Experimental studies were carried out using the method of multi-layered models. As a result of the analysis, it was found that the angle of inclination of the layers γ increases with the increase in the degree of compression ϵ during asymmetric treading on cone-shaped shafts with a convex working surface. As a result of tapping, it was concluded that the intensity of the shear deformation, which reaches $2 \div 2.5$ during one pass, increases.

Keywords: truncated-conical rolls with a convex working surface, asymmetric rolling, method of multi-layered models, shear deformation, reduction degree, inclination angle, mathematical statistics.

REFERENCES

1. Bykhin B.B., Ainabekova S.S. Taptau zhane sozu uderisterinin teorijasy: oqu quraly [Theory of rolling and drawing processes]. Temirtau: Publ. KSIU, 2016. 130 p.
2. Mashekov S.A. Byhin B.B. Materialdardy qysymmen ondeu teorijasy: oqu quraly [Theory of Material Forming]. Almaty: Publ. Al'manah, 2018. 389 p.
3. Ashkeyev Z.A., Andreyachshenko V.A., Bukanov Z.U. Research of the asymmetric rolling of workpieces. PNRPU Mechanics Bulletin, 2020, 4, pp. 27-35.
4. Afifeh M., Hosseinipour S.J., Jamaati R. High-strength and high-conductivity nanograined copper fabricated by partial homogenization and asymmetric rolling. Materials Science and Engineering: A, 2019, 138451.
5. Ashkeev Zh.A., Abishkenov M.Zh., Kanseit N.Sh. Issledovanie naprjazhennogo sostojaniya i skorostnyh parametrov pri nesimmetrichnoj prokatke [Investigation of the stress state and speed parameters during asymmetric rolling] // Trudy universiteta [University's Works]. 2021. 2 (83). Pp. 31-36.
6. Ashkeyev Zh.A., Bestembek Ye.S., Abishkenov M.Zh. Plasticity theory. Educational manual. – Temirtau: KarIU, 2022. – 120 p.
7. Karlov A.M. Teorija verojatnostej i matematicheskaja statistika dlja jekonomistov: Uchebnoe posobie [Probability theory and mathematical statistics for economists]. Moscow: Publ. Knorus, 2015. – 268 p.