

МАШИНОСТРОЕНИЕ. МЕТАЛЛУРГИЯ

МРНТИ 55.22.19, 53.43.03

Р.Д. Абдирова¹, Э.А. Тусупкалиева², С.А. Машеков²

- ¹Ө.А. Жолдасбеков атындағы Механика және машинатану институты,
Алматы қ, Қазақстан
- ²Қ. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті,
Алматы қ, Қазақстан

ФУНКЦИОНАЛДЫ ЖАБЫНДЫЛАРДЫ ҚОЛДАНУ ҮШІН ҚАРҚЫНДЫ ПЛАСТИКАЛЫҚ ДЕФОРМАЦИЯНЫҢ АСПАПТЫҚ ТЕЗ КЕСЕТІН Р6М5 БОЛАТТЫҢ БЕТКІ ҚАБАТЫНЫҢ ҚҰРЫЛЫМЫНА ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ

Түйіндеме. Мақалада зерттеулерді жүргізу үшін бұрандалы жұмысшы беттерге илемденген пішінбіліктері бар сайман жасалды. Бұл сайман ұсақ түйіршікті құрылымы бар жартылай өнімдерді алу үшін қолданылады. Жасалған сайман бастапқы дайындаманың өлшемі мен пішінін еш өзгертпестен деформацияны іске асырады. Жұмыста толқынды пішіні бар дайындаманы илемдеу үшін жазық жұмысшы беті бар пішінбілік пайдаланылды. Мақалада шеткі элементтер әдістемесін негізге алатын ANSYS-LS/DYNA бағдарламасы қолданылып, бұрандалы және жазық пішінбілікте дайындаманы илемдеген кезде пайда болатын кернеулі-деформациялы күй (КДК) зерттелді. Алынған мәліметтер негізінде Р6М5 болатынан жасалған жолақтарды (тез кесетін тілімшелерді жасау үшін қолданылады) бұрандалы және жазық пішінбіліктерде илемдегенде оның беткі қабаттары қарқынды деформацияланатындығы анықталды. Беткі қабаттарды қарқынды деформациялау, біртекті ұсақ түйіршікті құрылымды қалыптастыратындығын, беріктік қасиеттерін жоғарлататындығын және функциялық қасиеті бар қабатпен жабу үшін ұтымды құрылымды алу мүмкіндігінің бар екенін көрсетті.

Түйінді сөздер: тез кесетін Р6М5 болаты, илемдеу, бұрандалы және жазық пішінбілік, қарқынды пластикалық деформация, кернеулі-деформациялы күй, кернеу мен деформация қарқындылығы, функциялы қабат.

• • •

Аннотация. В статье описан разработанный инструмент, имеющий валки с винтообразными рабочими поверхностями. Данный инструмент предназначен для получения полуфабрикатов с мелкозернистой структурой. Он реализует интенсивную пластическую деформацию без значительных изменений исходной формы и размеров заготовки. В работе для прокатки полос из заготовок с волнистой поверхностью применили гладкие валки. В статье, используя метод конечных элементов и программный продукт ANSYS-LS/DYNA, исследовали напряженно-деформированное состояние (НДС) заготовки при прокатке полос

в винтообразных и гладких валках. На основе полученных данных установили, что прокатка листового материала, применяемых для изготовления быстрорежущей пластины, в винтообразных и гладких валках обеспечивает интенсивное деформирование ее поверхностных слоев. Интенсивное деформирование поверхностных слоев полос способствует формированию однородной ультрамелкозернистой структуры, что приводит к повышению прочностных свойств быстрорежущей пластины из стали Р6М5 и получению рациональной структуры для нанесения функциональной покрытий.

Ключевые слова: быстрорежущая сталь Р6М5, прокатка, винтообразные и гладкие валки, напряженно-деформированное состояние, интенсивность напряжений и деформаций, функциональные покрытия.

Abstract. The article accounts development of a tool with rolls with helical working surfaces. This tool is designed to produce semi-finished products with a fine-grained structure. The developed tool implements severe plastic deformation without significant changes in the original shape and dimensions of the workpiece. The tool deploys smooth rolls for rolling strips from billets with a wavy surface. In The article investigates the stress-strain state (SSS) of the billet when rolling strips in helical and smooth rolls using the finite element method and the ANSYS-LS / DYNA software product. Based on the obtained data, it was found that rolling of sheet material used for the manufacture of a high-speed plate in helical and smooth rolls provides intensive deformation of its surface layers. Intense deformation of the surface layers of the strips contributes to the formation of a homogeneous ultrafine grainy structure, which leads to an increase in the strength properties of a high-speed plate made of R6M5 steel and obtaining a rational structure for applying functional coatings.

Keywords: rapidcutting steel R6M5, rolling, helical and smooth rolls, stress-strain state, intensity stresses and deformations, functional coatings.

Кіріспе. Қазіргі заманғы машина жасаудың технологиялық дамуының маңызды мәселелерінің бірі кесу құралдарының, қалыптардың, пішімбіліктердің, матрицалардың және баспа-штемпельдердің төзімділігін арттыру болып табылады [1, 2]. Бұл жаңа, қиын өңделетін материалдардың пайда болуымен және өнеркәсіптің машина жасау және металлургия саласында осы құралдарды пайдалану шарттарының қатаңдатылуымен байланысты. «Құрал – өңделетін материал» жүйесінің ең әлсіз буыны бүкіл жүйенің жұмыс істеуі мен ресурсын анықтайтын құрал беті болып табылады. Бұл беттік қасиеттерді модификациялау әдістері мен технологияларын дамытудың жоғары маңыздылығын анықтайды. Металдарды қысыммен өңдеу және өңдеу жүйесіне қатысты мұндай жүйе илемдеу, қалыптау, баспалау, созу,

кесу және т. б. баспалардан туындаған жағдайларда аспаптық және өңделген материалдардың өзара әрекеттесуімен анықталады. Осы мәліметтерге сүйене отырып, жаңа әрі қиын өңделетін материалдардың пайда болуымен және оларды пайдалану жағдайларын күшейте отырып, кесу және деформациялау құралының беріктігін арттыру мәселесі өзекті бола түсуде деп қорытынды жасауға болады.

[3, 4] жұмыстардың авторларының пікірінше, аспаптық материалдың беткі қасиеттерін бағытты түрлендірудің ең тиімді әдісі – кесу құралының жұмыс беттеріне функционалды жабындарды қолдану. Олардың пікірінше, қазіргі уақытта әр түрлі өнімдерге, соның ішінде кесу құралдарына арналған жабындардың физикалық тұндыру процестері (FOR немесе PVD процестері) өңдеу саласында көбірек қолданылады. Бұл жабындылардың химиялық тұндыру әдістерімен және процестерімен (ХОП немесе CVD әдістері) салыстырғанда кез-келген архитектураның, құрамның, құрылымның жабындыларын алудың жоғары сенімділігіне, әмбебаптығына, мүмкіндігіне байланысты. Бұл құрал өндірудің экологиялық таза процесін қамтамасыз етеді. Сондықтан, [4] жұмыстың авторлары жабындыларды алудың негізгі әдісі ретінде әлемдік тәжірибеде MEVVA (Metal Vapor Vacuum Arc) немесе CYB (иондық бомбаланған конденсация, ТМД елдері) деп аталатын жабындылардың вакуумдық-доғалық синтезі процестерін қолданды. Жұмыс авторлары [5] жабындыларды вакуумды-доғалы тұндыру (CYB - MEVVA) технологиясын градиент, метастабильді, көп компонентті, көп қабатты немесе супер торлы жабындылардың соңғы тұжырымдамаларына сәйкес келетін әртүрлі функционалды жабындарды қалыптастыру үшін қолдануға болатындығын атап өтті. Олардың пікірінше, жабудың көптеген әдістерінің ішінде наноөлшемді түйіршіктер мен қабаттардың қалыңдығымен көп қабатты жабындыларды қолдану әдісі ең тиімдісі болып табылады. Бұл жабындылар жиі қарама-қайшылықты талаптардың гаммасын қанағаттандырады (төмен үйкеліс, жоғары тозуға төзімділік, диффузияның тосқауыл функциялары, кесу жүйесіндегі жылу ағындары, жоғары қабатты адгезияның беріктігі, ішкі кернеулердің төмендеуі, қаттылық пен тұтқырлық тепе-теңдігі және т.б.). Сонымен қатар, бір жабындыдағы жеке қабаттардың әртүрлі қасиеттерін біріктіретін ауыспалы метастабильді және көп компонентті құрылымдарды қамтитын аралас жабындыларды қалыптастыруға мүмкіндігі бар.

[6] жұмыста сондай-ақ, кесу құралын өндіруде наноқұрылымды жабындылардың үлкен артықшылықтары бар екендігі атап өтілді. Аралық шекаралардың үлкейтілген ауданы бар ультра дисперсті материалдар материалдың тозуға төзімділігі мен беріктік сипаттамаларына, оның ішінде циклдік термомеханикалық кернеулердің әсерінен

оң әсер ететін «қаттылық» арасындағы теңгерімді ара-қатынасқа ие. Түйіршік мөлшері $d > 1$ мкм-ден асатын стандартты (микрометриялық) құрылым материалдарының бұзылуының негізгі себебі – әртүрлі ақауларда дислокацияның шоғырлануынан пайда болатын жарықтардың пайда болуында екені белгілі [7]. Бұл жұмыстың авторлары атап өткендей, түйіршік мөлшері $d < 80 \dots 100$ нм-ден аз наноқұрылымды материалдарда бұзылудың басқа механизмі көрінеді. Мұндай материалдар үшін қирауының себебі – түйіршік аралық шекаралардағы процестер. Бұл олардың шекараларындағы атомдардың аздығымен байланысты. Бұл түйіршік аралық өзара әрекеттесуді айтарлықтай өзгертеді, қозғалыс тежелуіне және дислокацияның пайда болуына әкеліп соғады, түйіршік шекараларының нығаюына байланысты шарықшақтардың пайда болуын, тармақталуын және қозғалуын болдырмайды. Наноөлшемді түйіршіктердегі дислокация іс жүзінде түйіршік шекараларында толық тежелуге байланысты пайда болмайды, ал шекаралардың өзі материалдың деформациясы мен бұзылуында шешуші рөл атқара бастайды. Мұның бәрі нанокристалды материалдардың ерекше қасиеттерін жасауға мүмкіндік береді [8].

[9] жұмыс материалдарын талдай отырып, жабынды мен субстрат арасындағы адгезияның жоғары беріктігің, сондай-ақ өңделген материалға қатысты жабынды материалының химиялық пассивтілігі кез-келген тозу және бұзылу механизмдерінде көп қабатты композициялық наноқұрылымды жабындылары бар кескіш құралдың тозуға төзімділігі мен беріктігін арттыруға мүмкіндік беретінін атап өтуге болады. Біздің ойымызша, кескіш құралды өндіруде наноқұрылымды жабындылар ғана емес, сонымен қатар наноқұрылымды субстраттар да артықшылыққа ие, яғни жабу құралының беті бар. [10] жұмыс материалдарынан аспаптық болаттардың, соның ішінде Р6М5 болатының ыстық илемделген шыбықтар түрінде жеткізілу жағдайындағы негізгі кемшіліктердің бірі және жұмыс шарттарын қатаңдату илем осі бойынша қатаңдықтың болуы (орталықта неғұрлым қарқынды және шеті бойынша аз) және илем қимасы бойынша карбидтердің біркелкі бөлінбеуі байқалады. Өңдеу саласының мамандары бұл болаттың қалыптау және суықтай түсіру құралдарын жасау үшін кеңінен қолданылатынын жақсы біледі.

Металл материалдарының пайдалану қасиеттерін және олардың құрылымдық біртектілігін арттыру үшін соңғы жылдары қарқынды пластикалық деформация (ҚПД) әдістері жиі қолданылуда [11].

Жалпы дәрежесі 2-3-тен жоғары макроғыстырушы деформацияны жүзеге асыратын ҚПД әдістеріне [12] жатады: жоғары квазигидростатикалық қысыммен бұралу, тең каналды бұрыштық баспа,

жан-жақты изотермиялық соғу, радиалды ығыстырып илемдеу және т.б. Макроығыстырушы деформациялар түйіршіктердің кристалдық бағытына тәуелді емес трансүйіршікті сырғу есебінен металл құрылымында өзгерістер тудырады. Бұл субмикроструктуралық диапазонда (0,1-ден 1 мкм-ге дейін) түйіршік мөлшері бар ультраұсақ түйіршікті (УҰТ) құрылымы бар металдар мен қорытпаларды немесе құрылымдық объектілерінің өлшемдері <100 нм нанокристалды құрылымды алуға мүмкіндік береді. Бұл илемделген өнімнің осі бойындағы тізбекті және карбидтердің илемнің көлденең қимасы бойынша бірқалыпсыз таралуын болдырмайды. [10] жұмыс материалдарын талдай отырып, бетті қатайтудың барлық әдістерінің ішінде бықсыған разряд плазмасындағы иондық азоттауды бөліп алуға болады деген қорытындыға келуге болады. Дәстүрлі әдістермен салыстырғанда бұл әдіс бірқатар маңызды артықшылықтарға қол жеткізуге мүмкіндік береді. Мұндай артықшылықтарға қанығудың жоғары жылдамдығы; берілген фазалық құрамы мен құрылымының диффузиялық қабаттарын алу; бетінің тазалығының жоғары класы; қосымша депассивтендірусіз пассивті материалдарды азоттау мүмкіндігі; электр энергиясын пайдалану коэффициентін жоғарылату және қаныққан газдардың шығынын азайту арқылы процестің үлкен тиімділігі; процестің экологиялық тазалығын жатқызуға болады. Бұл жұмыстың мақсаты тозуға төзімді жабындыларды қолдануға мүмкіндік беретін бұрандалы және тегіс пішімбіліктерде УҰТ құрылымы бар Р6М5 болаттан жасалған жолақтарды илемдеудің ұтымды технологиясын әзірлеу болып табылады.

Жабдықтар, материалдар және тәжірибе әдістемесі. [13] жұмыста бұрандалы жұмыс беті бар пішімбілікті құрал жасалды. Бұл пішімбіліктерде жоғарғы және төменгі пішімбіліктердің бұранда тәрізді шығыңқы жерлері мен ойықтары қарама-қарсы орналасады. Бұл жағдайда шығыңқы енінің жоғарғы және төменгі орамдардың ойығының еніне қатынасы 0,8...0,9 құрайды. Бұл құрал ұсақ түйіршікті құрылымы бар жартылай фабрикаттарды алуға арналған. Дайындалған құрал дайындаманың бастапқы пішіні мен мөлшерін айтарлықтай өзгертпестен ҚПД-ны жүзеге асырады. Жартылай фабрикаттардың толқынды бетін ұсақ түйіршікті құрылыммен тегістеу және қажетті мөлшердегі жолақтарды алу үшін қарапайым құрылымды ДУО-180 зертханалық білдегі қолданылғанын атап өткен жөн. Дайындама материалының тұтастығын бұзбай бетіндегі УҰТ құрылымы бар Р6М5 болат жолақтар жасауға мүмкіндік беретін технологиялық процесті дайындау үшін ДУО-180 білдегінде орнатылған бұранда тәрізді және тегіс пішімбіліктерде илемдеу кезінде дайындаманың кернеулі-деформациялы күйі (ҚДК) зерттелді.

Қарапайым илемдеу жағдайлары үшін де мәселенің дұрыс тұжырымдалуы интегралдық-дифференциалдық теңдеулер жүйесіне әкелетінін айта кету керек [14]. Мұндай мәселені аналитикалық түрде шешу мүмкін емес. Сондықтан, көптеген анықтайтын параметрлер мен олардың әсерінің анық емес сипатына байланысты бұрандалы және тегіс пішімбіліктердегі илемдеу орамдарындағы илектеу процесін математикалық модельдеу күрделі процесс болып табылады. Мұндай мәселелерді шешу үшін шекті элементтер әдісін қолдануға болады. Илемдеу процесінде дайындаманың ҚДК-н зерттеу түйіспелі, серпімді пластикалық, сызықсыз болып табылады. Бұрандалы және тегіс пішімбіліктерде илемдеу кезінде үлкен орын ауыстырулар, деформациялар мен кернеулер, сондай-ақ температура градиенті пайда болады. Сондықтан, шекті элементтер әдісін қолдана отырып илемдеу процесінің имитациялық модельдеуі жүргізілді, яғни ҚДКС және деформацияланатын дайындаманың температуралық өрісі зерттелді. Бұрандалы және тегіс пішімбіліктерде илемдеу кезінде дайындамалардың ҚДК анықтау үшін ANSYS – LS/DYNA бағдарламалық өнімі қолданылды [14]. Модельдеуді илемделетін дайындамасы бар бұрандалы және тегіс құралдан бастадық. Бұрандалы және тегіс құрал мен илемделетін дайындаманың геометриясы SIEMENS NX6 CAD жүйесінде жасалды және кейіннен ANSYS/LS-DYNA-ға импортталды. Шекті элементтің қажетті түрі Ansys Ls-dyna ішіндегі элемент түрлерінің кітапханасынан таңдалды. Ғылыми-техникалық әдебиеттерді зерттеу көрсеткендей, металдарды қысыммен өңдеудің көлемдік ҚДК анықтау кезінде әдетте Solid 164 немесе Shell 163 элементтерінің түрлері қолданылады [14]. Илемделген дайындаманы модельдеу үшін біз Shell 163 шекті элементін таңдадық. Элементтің бұл түрі есептеу уақытын азайтады және үлкен деформацияларға төзімді. Shell 163-иілу және серіппе мүмкіндігі бар 3 немесе 4 түйіндік үш өлшемді қабық элементі. Элемент әр түйінде 12 еркіндік дәрежесіне ие.

Дайындаманың ҚДК-ін анықтау үшін өлшемі 6×100×200 мм болатын тікбұрышты пішінді үлгілер қолданылды. Дайындаманың материалы ретінде P6M5 болаттарын 850-1160°C температуралық деформация диапазонымен таңдалды. Бұрандалы пішімбіліктерде (БП) деформация келесі режим бойынша жүзеге асырылды: 850 °C температураға дейін қыздыру, қалыңдығы 5,9 мм дейін төрт БП өту арқылы илемдеу. Тегіс пішімбіліктерде (ТП) дайындаманы илемдеу 850 ° C температурада жүргізілді. БП-де және ТП-де илемдеу процесін моделдеу кезінде дайындама үшін трансверсальді қатайтылатын анизотропты материал – transverse Anisotropic Material қолданылды [14]. Lenkford R коэффициенті бірлікке тең болды, яғни изотропты ма-

териал бастапқы дайындама үшін пайдаланылды. Lenkford R коэффициенті бірлікке тең болды, яғни изотропты материал бастапқы дайындама үшін пайдаланылды. БП-те деформациялау процесінде металдың деформациялық беріктенуі үлгіні бір осьті созуға сынау кезінде алынған қисық беріктендіру бойынша болуы тиіс. Модель қисығында серпімді және пластикалық компонент болды. БП-те және ТП-те материалдық моделі үшін қатты материал пайдаланылды.

Айта кету керек, деформацияланатындар БП-де және ТП-де барлық қозғалыстардан шектелді. Бұл роликтер тек илемдеу бағытында айналды. Бастапқы жалпақ дайындамада қозғалыс шегі болмады. БП-те және ТП-де илемдеу бағытына сәйкес келетін бұрыштық жылдамдықтар орнатылды. Біліктер арасындағы саңылау арқылы бастапқы дайындаманың қозғалысы пішімбіліктердің шығыңқы және шұңқырларында иілу процесінде пайда болатын үйкеліс күштерінің әсерінен болды. Бұл зерттелген процеске толық сәйкес келеді. Shell 163 элементін пайдалану кезінде байланыс өзара әрекеттесуінің келесі шарттары қабылданды: бастапқы дайындама – илемделетін пішімбіліктер – Forming surface-to-surface contact (ASTS). [14] surface-to-surface беттесуі айтарлықтай түйісу аймақтары бар кездейсоқ орналасқан денелер үшін қолданылатыны белгілі. Бастапқы дайындама мен БП, сондай-ақ ТП арасындағы байланыс үйкелісі 0,35 тең болды. Бұл Р6М5 болатының ыстықтай илемделуіне сәйкес келеді [15]. «ANSYS-LS/DYNA» бағдарламасын іске қостық. Қадам әдісі U қозғалыстарың деформация тензорларының компоненттерін ϵ және кернеулерді σ , деформациялар мен кернеулердің қарқындылығы (эквивалентті деформация және кернеу), дайындаманың көлеміне температураның таралуы. Илемдеу процесінің барлық бастапқы мәліметтері мен технологиялық параметрлері енгізгеннен кейін бағдарлама есептеу үшін іске қосылды. Процесті есептеу 3,4 ГГц тактілі жиілікті және 2 Гб жедел жадысы бар Pentium Duo компьютерінде шамамен 25 минутта жүзеге асты.

Зертханалық жағдайда бірқатар тәжірибелер жүргізілді. Дайындаманың материалы ретінде өлшемі $6 \times 150 \times 400$ мм болатын Р6М5 болаты таңдалды. БП-і және ТП-і бар білдегінде илемдеу келесі режимдер бойынша жүзеге асырылды:

- 850°C температураға дейін қыздыру, 2 сағат ұстау, қалыңдығы 5,8 мм-ге дейін БП-те екі рет илемдеу, 850°C температурада қыздыру, 30 мин ұстау, 5,5 мм қалыңдығына дейін БП-те екі рет илемдеу, 850°C температурада қыздыру, 30 мин ұстау, қалыңдығы 4,0 мм-ге дейін ТП-те илемдеу;

- 850°C температураға дейін қыздыру, 2 сағат ұстау, қалыңдығы 5,8 мм-ге дейін БП-те төрт рет илемдеу, 850 °C температурада қызды-

ру, 30 мин ұстау, 5,5 мм қалыңдығына дейін БП-те төрт рет илемдеу, 850 °С температурада қыздыру, 30 мин ұстау, қалыңдығы 4,0 мм-ге дейін ТП-те илемдеу;

- 850°С температураға дейін қыздыру, 2 сағат ұстау, қалыңдығы 5,8 мм-ге дейін БП-те алты рет илемдеу, 850°С температурада қыздыру, 30 мин ұстау, 5,5 мм қалыңдығына дейін БП-те алты рет илемдеу, 850°С температурада қыздыру, 30 мин ұстау, қалыңдығы 4,0 мм-ге дейін ТП-те илемдеу.

Металлографиялық талдау Carl Zeiss axiovert-200 mat оптикалық микроскопында 200, 500 және 1000 есе үлкейтумен жүргізілді. Суреттерді өңдеу JNCA ENERGY (Англия) энергетикалық спектрометрін қолдану арқылы жүргізілді. Ақауы бар субқұрылым параметрлерін сандық талдау стандартты әдістермен жүзеге асырылды [15]. Металлографиялық зерттеуге арналған шлифтер дәстүрлі әдіс бойынша тегістеу және жылтырату шеңберлерінде дайындалды. Түйіршіктің шамасы (D_3 , мкм) қима әдіспен (~300 түйіршіктің өлшемі бойынша) мынадай формула бойынша орташа хорда (X) шамасына сүйене отырып, түйіршік сфералық пішінде деген болжаммен анықталды: $D_3 = 4/\pi \cdot X_{\text{орташа}}$.

Нәтижелер және талқылау. 1-суретте төрт жолмен БП-де илемдеу кезінде дайындамадағы кернеу мен деформация қарқындылығының таралу суреттері көрсетілген. Дайындаманың қыздыру температурасы 850°С. Алынған сандық модельдеу нәтижелері негізінде мыналар анықталды:

- БП-де илемдеудің бастапқы сәтінде кернеулер мен деформациялар қарқындылығы дайындаманың пішімбіліктердің шығыңқы жерлерінің жұмыс беттерімен түйісетін аймақтарында оқшауланады;

- бір қысылудың ұлғаюы кернеулер мен деформациялар қарқындылығының екпінін түйіспелі аймақтардан біліктер шығыңқы жерлері мен ойықтарының көлбеу жұмыс беттерінің астында орналасқан жолақ аймақтарына ауыстыруға әкеледі (2-сурет);

- БП-де илемдеу процесінде құралдың жолақпен жанасу аймағы салқындатылады, бұл ретте июші деформациялар әсер ететін аймақтарда температура көтеріледі;

- БП-де илемдеудің екінші, үшінші және төртінші өтулерінде кернеулер мен деформациялар қарқындылығының шамасы пішімбіліктердің шығыңқы жерлері мен ойықтарының доға тәрізді учаскелері астында артады;

- ұсынып отырған аспапта илемдеу пішімбіліктің жұмыс бетінің шығыңқы жерлері мен ойықтарының өлшемдері бірдей, сондай-ақ төменгі пішімбіліктің ойықтары мен шығыңқы жерлеріне қарама-қарсы орналасқан жоғарғы пішімбіліктің шығыңқы жерлері немесе ойықта-

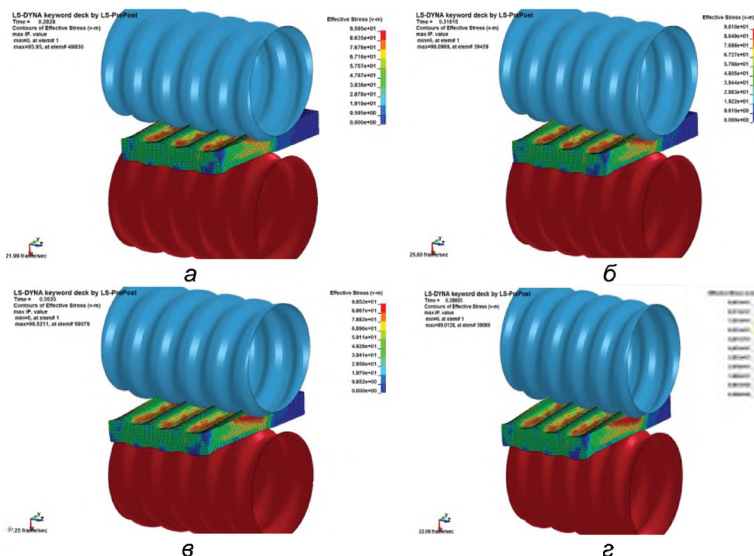
рының өлшемдері бірдей, тиісінше жоғарыда көрсетілген ұқсас қысылулары қалыңдығы кіші дайындаманы оның өлшемін өзгертпей бірнеше рет иіп деформациялауға мүмкіндік береді;

- БП-те жолақтың илемдеудің дайындалған әдісі жолақтың қарқынды ауыспалы деформациясын қамтамасыз етеді. Максималды ығысу шығыңқы енінің ойық еніне қатынасы 0,8...0,9 тең кезінде жүзеге асырылады;

- БП-і бар пішімбіліктерде илемдеу кезінде беттің шығыңқы жерлері мен ойықтарда илемделген жолақтың ені бойымен жылжуы орын алады, бұл дайындаманың көлденең қимасында қосымша макро қозғалыстарды тудырады және деформация қарқындылығының артуына ықпал етеді;

- бұрандалы жұмыс беті бар пішімбіліктерде илемдеу жағдайында деформациялар қарқындылығы шамасының өсуі цилиндрлік пішімбіліктерде илемдеу кезіндегіге қарағанда екі есе жоғары;

- бірнеше рет иілу дайындаманың бетіндегі ығысу деформациясының дәрежесін арттыруға мүмкіндік береді. Мұның бәрі қорытпалардың құрылымын тиімді ұсақтауға және дайындаманың осы аймағында біртекті ұсақ түйіршікті құрылымды қалыптастыруға мүмкіндік береді.



а-бірінші өту; б-екінші өту; в-үшінші өту; г-төртінші өту
1 сурет - ВВ-да илемдеу кезінде дайындамадағы кернеу қарқындылығының таралу суреті (илемдеу температурасы 850°C)

2-суретте ТП-де жолақтарды илемдеу кезінде кернеулер мен деформациялар қарқындылығының таралу көрінісі көрсетілген. Дайындаманың қыздыру температурасы 850°C.

Кернеулі-деформацияланған күйді есептеу және талдау мынаны көрсетеді:

1) ТП-де илемдеудің бастапқы сәтінде кернеулер мен деформациялар қарқындылығы металды пішімбілікпен қармау аймақтарында оқшауланады;

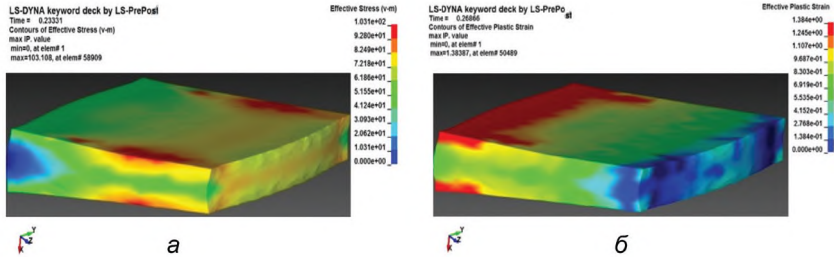
2) ТП-де илемдеудің келесі кезеңінде кернеулер мен деформациялардың қарқындылығы дайындаманың толқын тәрізді беттерімен пішімбіктердің түйіскен аймақтарында оқшауланады;

3) Қысылудың ұлғаюымен кернеулер мен деформациялар қарқындылығының шамасы деформацияланатын дайындаманың орталық аймақтарында ұлғаяды;

4) Жолақ бетіндегі деформация мен кернеу қарқындылығының оқшаулануы деформация ошағының осы аймағында металл құрылымының қарқынды ұсақталуына әкеледі;

5) Деформацияны оқшаулау аймағында илемдеу процесінде дайындаманың температурасы көтеріледі;

6) ТП-те илемдеу кезінде температурасы жоғары металдың бөліктері деформация ошағымен бірге салыстырмалы түрде қозғалады.

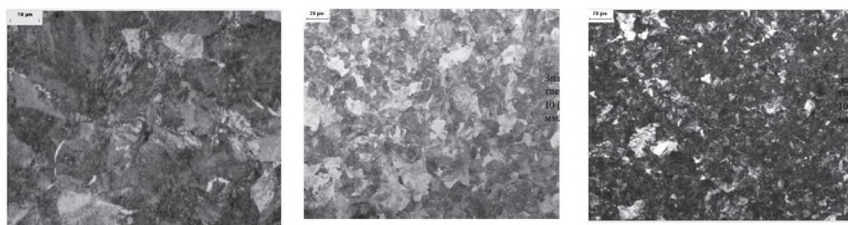


2 сурет - Тегіс пішімбіліктерде илемдеу кезінде дайындамадағы кернеулер (а) және деформациялар (б) қарқындылығының таралу көрінісі (илемдеу температурасы 950°C)

Бастапқы күйде Р6М5 болаттан жасалған дайындама бірқалыпсыз микроқұрылымға ие болды. Бұл құрылым бойлық бағытта ~316 мкм және көлденең бағытта ~294 мкм орташа мөлшері бар ірі кристалданбаған түйіршіктерден тұрды. Ірі түйіршіктердің шекараларында өлшемі ~53-57 мкм болатын ұсақ түйіршіктер орналасқан. Р6М5 болатының құрылымдық күйін БП-те екі өтпемен илемдегеннен кейін зерттеу (1-режим)

илемдеу жазықтығына перпендикуляр қиманың беткі аймағында салыстырмалы түрде ұсақ түйіршікті құрылым қалыптасатынын көрсетеді (3,а-сурет,). Бұл жағдайда ішкітүйіршікті дислокацияның тығыздығы артады, ені 48-55 мкм дейін ығысу жолақтары пайда болады. Ығысу жолақтары түріндегі деформация негізінен үлкен түйіршіктердің ішінде жүреді. Төрт өткелмен (2-режим) илемделгеннен кейін үлкен бұрышты шекаралары бар микрожолақ енінің ең ықтимал мәндері осы мәннің максималды мәні ~ 45 мкм болған кезде 42-ден 48 мкм-ге дейін болады (3,б-сурет). Төмен бұрышты шекаралары бар микрожолақтардың ені 26 мкм-ден 28 мкм-ге дейін өзгеруі мүмкін ең ықтимал мәні шамамен 25 мкм.

БП-те алты өту арқылы илемдеу (3-режим, 3,в-сурет) микрожолақтың енінің төмендеуіне әкеледі, бастапқы кең микрожолақ шекараларында жұқа ығысу жолақтары пайда болады. Бұл ретте, жолақтың беткі аймағында алты өткелмен илемдегеннен кейін 26-31 мкм барынша ықтимал мәндерде шекаралар арасындағы қашықтық 21-34 мкм аспайтын айқын ұсақ түйіршікті құрылым қалыптасады (3,в-сурет). Дайындамаларды 850°C температураға дейін қыздырып және оларды төрт және сегіз өту жолымен БП-те илемдеу (1 және 2-режимдер) Р6М5 болатында қосымша ұсақтауға және түйіршікті-субтүйіршікті құрылымның қалыптасуына әкелді. Дайындаманың перифериялық аймағындағы жеке түйіршіктердің мөлшері 12-19 мкм жетеді (4,а,б-сурет).



а

б

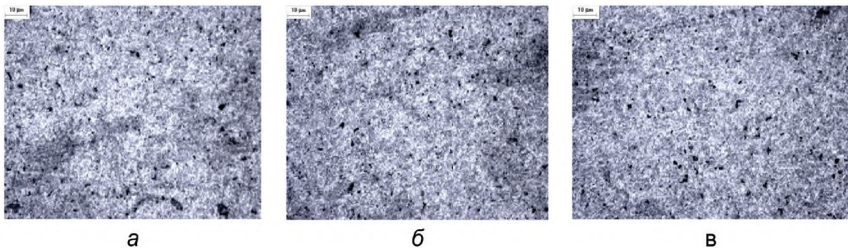
в

а-екі өтуден кейін; б-төрт өтуден кейін; в-алты өтуден кейін
3 сурет - қыздырудан (850°C) және БП-те илемдеуден кейін Р6М5 болатының микроқұрылымы

850°C (3-режим) температурада қыздырылған дайындамалардың БП-те он екі өту жолымен деформациялануы дайындаманың бойлық және көлденең қимасының шеткері аймағында біртекті және тең осьті құрылымның қалыптасуына әкелді (4,в-сурет). Сонымен қатар, түйіршік-субтүйіршік құрылымның одан әрі ұсақталуы байқалады. Тығыздау процестерінің нәтижесінде дайындама металында орташа түйіршік мөлшері шамамен 6-9 мкм болатын илемделген жолақтардың беткі ай-

мағында полигондалған немесе қайта кристалданған құрылым қалыптасады. Түйіршіктердің шекарамен шектес аймақтарында ірі бұрышты шекаралар пайда болады. Дислокацияның тығыздығы өте жоғары және құрылымның суреттерінен оның мәнін есептеу мүмкін болмады.

БП-те илемдеудің келесі жолдарында деформация дәрежесінің жоғарылауымен құрылымның ұсақталуы тек қосарланумен ғана емес, сонымен қатар дислокацияның сырғанау процестерінің дамуы нәтижесінде жасушалық құрылымдардың пайда болуымен де жүреді деп болжауға болады. Жинақталған деформацияның үлкен дәрежесінде бұрынғы егіздер мен субтүйіршіктердің шекаралары үлкен бұрышқа айналады. Үлкен бұрыштық шекаралардың болуы екі кезеңде дамитын кристалл торын қайта бағыттаудың дислокациялық-дискриминациялық механизмінің жүзеге асырылуын көрсетеді [16]: дисциплинация тығыздығы тензорының нөлдік емес компоненттері бар субқұрылымның қалыптасуы; оның дискретті бағдарлау шекараларына ұжымдық релаксациясы. Мұндай механизм кристалл фрагментациясының ең әмбебап механизмдерінің бірі болып табылады, оның ішінде металдар мен қорытпалардың кең класында субмикро - және нанокристалды құрылымдық күйлерді қалыптастыру кезінде де.



а-төрт өтуден кейін; б-сегіз өтуден кейін; в-он екі өтуден кейін
4 сурет - Р6М5 болатының қыздырудан (850°С) және БП-те илемдеуден кейінгі микроқұрылымы

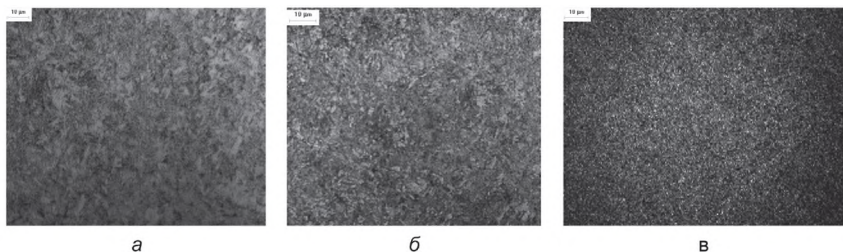
Осылайша, ауыспалы деформация механизмдерінің әсерінен БП-те илемдеу кезінде кристалл торының фрагментациясы мен қайта бағытталуын қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, тығыздығы жоғары дайындаманың шеткі аймақтарында үлкен бұрыштық шекаралар қалыптасады. ТП-те илемдеудің Р6М5 болатының микроқұрылымының қалыптасуына әсерін зерттеу үшін БП-те илемделген жолақтар одан әрі 850°С температурада ТП-те илемделді (5-сурет). 850°С температурада илемдеу қорытпаның микроқұрылымына айтарлықтай әсер ететінін көруге болады. Р6М5 болаттан жасалған жолақтардың үстіңгі аймақтарының микроқұ-

рылымы төрт және сегіз өту жолдары бар БП-те илемдеуден және ТП-те илемдеуден кейін (1 және 2-режимдер) бұрынғы деформация жолақтарының ішінде пайда болған субтүйіршіктердің болуымен сипатталады (5 а,б - сурет,). Субтүйіршіктердің орташа мөлшері 1-4 мкм құрайды. БП-те (3-режимдер) он екі өту жолымен деформацияланған дайындамаларды ТП-те илемдеу жолақтардың бетінде УҰТ өлшемді құрылымның пайда болуына әкеледі. Илемделген жолақтардың бүкіл көлемі бойынша беріктендіру процестерінің өтуі нәтижесінде ультраұсақтүйіршікті өлшем диапазонында құрылым қалыптасады және 0,6-дан 0,9 мкм-ге тең болады (5,в-сурет). Алынған УҰТ құрылым илемделетін жолақтардың перифериялық аймағының барлық көлеміндегі түйіршіктердің біркелкілігімен сипатталады. Микроқұрылымның суреттерінде ТП-те илемделгеннен кейін түйіршік шекараларының айқын бейнесі байқалды. Микроқұрылымның түрі негізінен үлкен бұрыштық шекаралары бар түйіршіктердің пайда болуын көрсетті. Осылайша, БП-те және ТП-те илемдеу процесінде Р6М5 болат құрылымының эволюциясы келесі ретпен жүреді:

- деформациялық субқұрылымның (дислокациялық және қосарланған) түзілуі;

- жолақтар ішіндегі көлденең шекаралардың қалыптасуы, бастапқы кристалдық тордың ішкі кернеулері мен бұрмалануларының жоғарылауы;

- 0,6-0,9 мкм өлшемді УҰТ құрылымын қалыптастыра отырып, полигонизация және бастапқы қайта кристаллизация ретінде беріктендіру процестерін дамыту.



а-төрт өтуден кейін; б-сегіз өтуден кейін; в-он екі өтуден кейін
5 сурет - Қыздырудан (850 оС) және БП-те және ТП-те илемдеуден кейін Р6М5 болатының микроқұрылымы

Осылайша, БП-те және ТП-те илемдеу кезінде құралдың дайындамамен жанасу аймағында ерекше кернеулі-деформацияланған күй пайда болады. Дайындаманың беткі қабатының микрокөлемдері ығысу деформациясына, сондай-ақ бір-бірін алмастыратын қысу және созылу

кернеулері мен деформацияларына ұшырайды. Жоғары қысушы кернеулер микрошарықшықтардың пайда болуына және дамуына кедергі келтіреді, бұл дайындаманың беткі қабатында пластикалық деформацияның өте үлкен мөлшерін жүзеге асыруға жағдай жасайды, оны тек механизмінің ротациялық икемділігі жағдайында қол жеткізуге болады. Бұл механизмнің дамуы металда УҰТ дайындама құрылымының пайда болуына әкеледі. Ротациялық икемділік сырғанау және қосарлану процестері кезінде материалда қалыптасқан құрылымдық элементтердің (фрагменттердің) салыстырмалы өзгеруімен сипатталатыны белгілі [17]. Мұндай құрылымдық элементтер-бұл қиылысатын деформациялық егіздермен шектелген металдың дислокациялық жасушалары мен микротүйіндері. Фрагменттердің айналуы нәтижесінде олардың шекаралары қалыптасады, олар бастапқыда айтарлықтай ені бар күрделі дислокациялық топтосулар болып табылған. Фрагменттерді одан әрі айналдыру кезінде олардың дислокациялық негізінен төмен бұрышты шекаралары жартылай дискринация нәтижесінде пайда болған жұқа үлкен бұрышты шекараларға қайта құрылады, осылайша УҰТ құрылымы пайда болады.

[17] әдебиеттерден Р6М5 аспаптық болатының кесу және қалыптау құралдарын жасау үшін кеңінен қолданылатын ыстықтай илемделген жолақтар түрінде жеткізудегі кемшілігі - илем осі бойымен (орталықта неғұрлым қарқынды және шеткі жағынан аз) және карбидтердің илем қимасы бойынша біркелкі бөлінбеуі белгілі. Материалдың бастапқы құрылымын зерттеу көрсеткендей, деформация осі бойымен бойлық бағытта өрескел сызықтар мен карбидті жолақтардың болуы байқалады. Құрылымда үлкен де, орташа да, кіші де карбидтердің қосындылары бар. Карбид фазаларының деформация осі бойымен ұқсас бағыты қатаю кезінде көлемдік өзгерістердің анизотропиясына және фазалық ығысу құбылысынан туындаған жылу кернеулері деңгейінің жоғарылауына әкеледі. Тиісінше, құрылымдық біртексіздік құралдың пайдалану қасиеттеріне әсер етеді, мысалы, жылуға төзімділік және тозуға төзімділік. Сондықтан құрылымдық біртектілік аспаптық болаттардың маңызды сипаттамасы болып табылады [17]. Алынған жолақтардың құрылымдық жағдайын талдау көрсеткендей, шеткері екі, төрт және алты өту арқылы илемдеу кезінде үлгінің ығысу деформацияларынан туындаған иілу бағытында карбидті қосылыстардың орналасуы байқалады. Орталық аймақта карбидтердің біркелкі таралуы, сондай-ақ аз мөлшерде қатаю және жолақтану байқалады. 850°C температураға дейін қыздыру және дайындамаларды төрт, сегіз және он екі өту жолымен БП-те деформациялау және 850°C температурада Р6М5 болаттан жасалған жартылай фабрикатты одан әрі илемдеу жолақтың беткі аймағында карбидті біртексіз балының айтарлықтай төмендеуімен қатар жүреді. БП-те төрт және сегіз өту ап-

қылы үлгілерді илемдеу олардың карбидтік біртексіздігін (7-8 балл) 3-4 балға, ал БП-те он екі өту жолымен илемдеу 6-7 балға азайтады. Карбидті біртексіздіктің төмендеу әсері құралдың кесу элементтері орналасқан жолақтың шетіне жақынырақ байқалады, бұл оның тұрақтылығын арттыру үшін алғышарттар жасайды.

Р6М5 болатының құрылымын егжей-тегжейлі талдау жолақтың шеткі аймағында төрт және сегіз өту жолдары бар БП-те илемдегеннен кейін материалдағы карбидті қосындылар негізінен түйіршік шекаралары бойынша бөлінетінін көрсетті. Бұл жағдайда ірі карбидтердің ішінара ұсақталуы байқалады. Карбидтердің орташа мөлшері шамамен 1,2 мкм болды.

Қорытынды. Р6М5 жылдам кесетін болаттан жасалған дайындамалардың микроқұрылымының эволюциясын зерттеу нәтижелері оларды дайындаудың әртүрлі сатыларында қарқынды пластикалық деформацияны пайдалана отырып, УҰТ құрылымы бар жолақтарды алу мүмкіндігін көрсетті. Өңдеудің технологиялық схемасындағы негізгі рөл бұрандалы пішімбіліктерде илемдеуге жатады, нәтижесінде жолақтардың бетіндегі құрылымды қарқынды ұсақтауға қол жеткізіледі. Р6М5 болатының жеткілікті икемділігін сақтау бұрандалы пішімбіліктерде илемдегеннен кейін дайындаманың толқын тәрізді бетін тегіс тішімбілікте тегістеуге мүмкіндік береді, бұл дайындаманың түйіршік құрылымын қосымша ұнтақтауға және жоғары орналасу тығыздығын қалыптастыруға ықпал етеді. Нәтижесінде кесу пластинасын жасау үшін қолданылатын тез кешкіш Р6М5 болаттан жасалған парақ материалында жолақтардың бетінде 0,6 – 0,9 мкм түйіршік мөлшері бар біртекті УҰТ құрылымын қалыптастыру қамтамасыз етіледі, бұл Р6М5 болатының беріктік қасиеттерінің жоғарылауына және функционалды жабындыларды қолдану үшін жолақтардың бетінде оңтайлы құрылымның пайда болуына әкеледі.

Әдебиеттер

1 Okolovich G.A., Shtampovye stali dlya kholodnogo deformirovaniya metallov. Monografiya. – Barnaul. Izd-vo AIGTU, 2010. 358 s.

2 Sherbart S. Sovremennye rezhushhie materialy i instrumenty dlya povysheniya proizvoditel'nosti [Moderne Schneidstoffe und Werkzeuge-Wege zur gesteigerten Produktivitat]. Sandvik Tsoromant GmbH: 7-ya konferentsiya po instrumentam SHmal'kal' dera, 2005.

3 Vereshhaka A.S., Vereshhaka A.A. Tendentsii sovershenstvovaniya i metodologshiya sozdaniya funktsional'nykh pokrytij dlya rezhushhego instrumenta. Sovremennye tekhnologii v mashinostroenii: Sbornik nauchnyh statej (Pod redaktsiej A.I.Grabchenko. – KHark'ov: NTU «KHPИ», 2007. S. 192-235).

4 Vereshhaka A.S., Vereshhaka A.A. Povyshenie ehffektivnosti instrumenta putem upravleniya sostavom, strukturoj i svojstvami pokrytij. Uprochnayushhaya

tehnologiya i pokrytiya Moskva, Uprochnyayushhaya tekhnologiya i pokrytiya, No. 9, 2005. S.9-18.

5 *Panckow, A.N.* Application of novel vacuum-arc ion-plating technologies for the design of advanced wear resistant coatings. /A.N. Panckow, J. Steffenhagen, D. Wegener, L. Dubner, F. Lierath. //Surface and Coating Technologies. 2001. Vol. 138, P. 71-76.

6 *Gleiter H.* Nanostructured materials: basic concepts and microstructure // Acta mater. 2000. V.48. P.1-29.

7 *Koch C.C.* Bulk Behavior of Nanostructured Materials. //North Carolina State University Annals. 2002. Chapter 6. P.184-232.

8 Simultaneously Increasing the Ductility and Strength of Nanostructured Alloys //YongHao Zhao, Xiao-Zhou Liao, Sheng Cheng, En Ma, and Yuntian T. Zhu. 2006 WILEYVCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.P. 123-132.

9 *Okumiya, M.* Mechanical properties and tribological behavior of TiN-CrAlN and CrN/CrAlN multilayer coatings. /M. Okumiya, M. Gripenrog.// Surface and Coating Technologies. 1999. Vol 112, P.123-128.

10 *Shajkhutdinova L. R. , Khajretdinov E.H. F., Sitdikov V. D.* Issledovanie vliyaniya ionnogo azotirovaniya na strukturu i mekhanicheskie svoystva instrumental'noj bystrorezhushej stali r6m5 posle IPD // Vestnik UGATU, 2017. T. 21, No. 4 (78). S. 50–56.

11 *KHvan A. D.* Povyshenie stojkosti stali R6M5 plasticheskoj deformatsiej v neizotermicheskom rezhime // Zagotovitel'nye proizvodstva v mashinostroenii. 2011. No. 11. S. 21–23.

12 *Valiev R.Z., Aleksandrov I.V.* Nanostrukturnye materialy, podvergnutye intensivnoj plasticheskoj deformatsii. Moskva, Logos, 2000. 272 P.

13 Vintoobraznyj instrument dlya prokatki metallov i splavov /S.A. Mashekov, E.H.A. Tusupkalieva, E.Z. Nugman i dr. Patent No.33745, Data registratsii 04.07.2019 g.

14 *Ilyushkin M.V.* Modelirovanie protsessov obrabotki metallov davleniem v programme Ansys/Ls-dyna. Uchebnoe posobie. – Ul'yanovsk: UIGU. 2013. 112 P.

15 *Utevskij L.M.* Difrakcionnaya ehlektronnaya mikroskopiya v metallove-denii. Moskva, Metallurgiya, 1973. 584 P.

16 *Tyumentsev A.N., Ditenberg I.A.* Strukturnye sostoyaniya s vysokoj kriviznoj kristallicheskoj reshetki v submikrokristallicheskikh i nanokristallicheskikh metallicheskikh materialakh// Izvestiya vuzov. Fizika. 2011. No. 9. 26 – 36 P.

17 *Bataev V.A., Bataev A.A., Tushinskij L.I., Kotorov S.A., Sukhanov D.A.* Rotatsionnyj kharakter plasticheskogo techeniya v stali s geterofaznoj strukturoj. // Vestnik TGU. 2000. Vol 5, No 2-3, 289 – 291 P.

Абдирова Р.Д., Number ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7740-2321>,
e-mail: raushan.abdirova@mail.ru

Машеков С.А., Number ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9577-2219>,
e-mail: mashekov.1957@mail.ru

Тусупкалиева Э.А., e-mail: e.tussupkaliyeva@satbayev.university