

УСТАНОВКА ВИНТОВОГО ОБЖАТИЯ УВО 20-50 ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ И КАЛИБРОВКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ И ЗАГОТОВОК СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

INSTALLATION OF SCREW REDUCTION UVO 20-50 FOR HARDENING AND CALIBRATION OF CYLINDRICAL PARTS AND BILLETS OF AGRICULTURAL MACHINERY

В.Б. ДЕМЕНТЬЕВ, д.т.н.
А.Д. ЗАСЫПКИН, к.т.н.
М.Ю. СТЕРХОВ, к.т.н.
А.В. ЧУРКИН, к.т.н.

Удмуртский федеральный исследовательский центр
Уральского отделения РАН, Ижевск, Россия,
oka592@rambler.ru

V.B. DEMENT'YEV, Dsc in Engineering
A.D. ZASYPKIN, PhD in Engineering
M.YU. STERKHOV, PhD in Engineering
A.V. CHURKIN, PhD in Engineering

Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch
of the Russian Academy of Sciences, Izhevsk, Russia,
oka592@rambler.ru

Разработана установка винтового обжатия УВО 20-50 (диаметр упрочняемых изделий от 20 до 55 мм) с замкнутой системой охлаждения упрочненного проката с возможностью встраивания оборудования в производственную линию изготовления деталей. УВО предназначена для формообразования и упрочнения цилиндрических деталей методом высокотемпературной термомеханической обработки (ВТМО) с деформированием металла винтовым обжатием (ВО) и обеспечением технических характеристик изделий. Известно, что некоторые термомеханические способы упрочнения и производства проката, например ВТМО сталей, по сравнению с обычными видами упрочняющей термической обработки, обеспечивают комплекс более высоких свойств: прочность, пластичность и сопротивление разрушению. Оценивая эффективность применения упрочняющей термомеханической обработки сортового проката для высоконагруженных деталей, необходимо привлекать критерии механики разрушения, исследовать сопротивление хрупкому и циклическому разрушению стали при действии концентраторов напряжений, отрицательных температур и других сложных условий испытаний и эксплуатации. Учитывая повышенные свойства сталей с ВТМО, становится возможным применение полых профилей взамен сплошной заготовки. Исследованные материалы и выявленные закономерности позволяют сделать вывод, что особотолстостенные полые детали, применение которых экономит металл и облегчает вес конструкций, должны рассматриваться не только в качестве полноценных заменителей сплошных, но и как имеющих преимущество перед последними, главным образом, в связи с их лучшей упрочняемостью при поверхностном наклепе и меньшей чувствительностью к концентрации напряжений при циклических нагрузках, что делает их более надежными в эксплуатации. Указанные результаты исследований обосновывают более широкое применение полых профилей для таких деталей сельхозтехники, как пальца траков гусеницы, валы, оси, торсионы и другие детали различного назначения.

Ключевые слова: нагрев, деформация, охлаждение, высокотемпературная термомеханическая обработка, качество поверхности, точность, механические свойства, долговечность.

Для цитирования: Дементьев В.Б., Засыпкин А.Д., Стерхов М.Ю., Чуркин А.В. Установка винтового обжатия УВО 20-50 для упрочнения и калибровки цилиндрических деталей и заготовок сельскохозяйственной техники // Тракторы и сельхозмашины. 2021. № 3. С. 62–68. DOI: 10.31992/0321-4443-2021-3-62-68.

A screw reduction unit UVO 20-50 (diameter of hardened products from 20 mm to 55 mm) with a closed cooling system for hardened rolled products with the ability to integrate equipment into a production line for manufacturing parts was developed. The UVO unit is intended for shaping and hardening of cylindrical parts by high-temperature thermomechanical treatment (HTMT) with metal deformation by screw compression (VO), ensuring the technical characteristics of products. It is known that some thermomechanical methods of hardening and production of rolled products, for example, steels HTMT, in comparison with conventional types of hardening heat treatment, provide a set of higher properties: strength, ductility and fracture resistance. Evaluating the efficiency of using the hardening thermomechanical treatment of long products for highly loaded parts, it is necessary to use the criteria of fracture mechanics, to study the resistance to brittle and cyclic fracture of steel under the action of stress concentrators, negative temperatures and other difficult test and operating conditions. Taking into account the increased properties of steels with HTMT, it becomes possible to use hollow sections instead of solid billets. The investigated materials and the revealed patterns allow authors to conclude that thick-walled hollow parts, which are used to save metal and lighten

the weight of structures, should be considered not only as full-fledged substitutes for solid ones, but also as having an advantage over the latter, mainly due to their better hardenability at surface cold working and less sensitivity to stress concentration at cyclic loads, which makes them more reliable in operation. These research results substantiate the wider use of hollow profiles for such parts of agricultural machinery as track pins, shafts, axles, torsion bars and other parts for various purposes.

Keywords: heating, deformation, cooling, high temperature thermomechanical treatment, surface quality, precision, mechanical properties, longevity.

Cite as: V.B. Dement'yev, A.D. Zasyplin, M.YU. Sterkhov, A.V. Churkin Installation of screw reduction UVO 20-50 for hardening and calibration of cylindrical parts and billets of agricultural machinery. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2021. No 3, pp. 62–68 (in Russ.). DOI: 10.31992/0321-4443-2021-3-62-68.

Введение

Разработанный метод высокотемпературной термомеханической обработки с деформацией винтовым обжатием (ВТМО ВО) [1] зарекомендовал себя как один из ставших традиционными способов термо-пластического воздействия на заготовку с одновременным ее упрочнением при охлаждении. Дальнейшее совершенствование метода позволило вести обработку горячекатаных заготовок, применяя большой спектр технологических схем и конструктивных решений в области оснастки и оборудования [2, 3]. Однако, несмотря на гибкость процесса винтового обжатия (ВО), технологические возможности метода ограничены. К этому можно отнести трудность получения равномерной структуры по сечению заготовок для таких деталей сельхозтехники, как валы и оси. В связи с этим и в свете дальнейшего развития метода ВО и его модификаций была разработана установка высокотемпературной термомеханической обработки УВО 20-50 с возможностью ее использования в линии изготовления цилиндрических деталей.

Установка УВО предназначена для формообразования и упрочнения цилиндрических

деталей сельхозтехники методом высокотемпературной термомеханической обработки (ВТМО) с деформированием металла винтовым обжатием (ВО) и обеспечением технических характеристик технологических операций, приведенных в таблице 1.

Деформация винтовым обжатием цилиндрических деталей сельхозтехники основана на придании заготовке вращения и осевого перемещения с последовательным обжатием ее в неприводных роликах (валках), которые образуют калибр обработки.

Кроме ВТМО на установке можно проводить упрочнение деталей методами ВТМПО, ППД и закалки ТВЧ.

ВТМПО – высокотемпературная термомеханическая поверхностная обработка – отличается от ВТМО только глубиной прогреваемого и деформируемого слоя по сечению. При ВТМПО поверхностный слой прогревается и соответственно деформируется на заданную глубину.

ППД – поверхностная пластическая деформация – проводится на «холодной заготовке». В результате обкатки заготовки в валках поверхностный слой получает упрочнение в виде наклепа.

Таблица 1

Технические характеристики технологических операций

Table 1. Technical characteristics of technological operations

Наименование стадии (№ операции)	Параметры технологического процесса					
	Наименование параметра	Значение				
		Технологическая норма		Предельно безопасное	Предельно допустимое	Критическое
мин.	макс.					
1. Нагрев	Температура, °С	980	1000	980	1010	1040
	Время, с	5	5	5	5	5
2. Деформация	Степень деформации, λ, %	20	30	30	30	45
	Скорость подачи, м/с	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033
3. Охлаждение	Скорость охлаждения, град/с	30	120	130	130	130

Закалка ТВЧ проводится без деформирования заготовки в валках.

Таким образом, установка позволяет получить термомеханически упрочненные или закаленные или «наклепанные» детали заготовки типа валов и осей.

Цель исследований

Проектирование и изготовление специализированного оборудования для упрочнения и калибровки высоконагруженных деталей сельхозтехники УВО 20-50 с высокими механическими свойствами материала деталей и возможной замене сплошных заготовок на полые.

Материалы и методы

Обработка опытных партий заготовок из сталей 38ХС и 30ХГСН2А была проведена на установке УВО 20-50.

Устройство и работа установки и ее составных частей

Управление системой загрузки-разгрузки заготовок установки осуществляется с электрического пульта основного узла, а системой для нагрева заготовки – с пульта установки ТВЧ. Механических органов управления установка не имеет.

Структура технологического оборудования:

– система для нагрева заготовки (установка ТВЧ, мощность 100–150 кВт, частота 60–100 кГц, тип исполнения: тиристорная);

– деформирующее оборудование: клеть трехроликовая (трехвалковая) неприводная с управлением радиальным перемещением и углом разворота валков; катаемый диаметр, 20–50 мм, длина заготовки до 1200 мм; угол разворота роликов 0–6°;

– привод вращения заготовки: мощность до 10 кВт (5,5 кВт), частота вращения 60–120 об/мин;

– привод осевой подачи: мощность 1,5 кВт, величина подачи 300–500 мм/мин;

– система загрузки-разгрузки заготовок;

– система охлаждения: а) разомкнутая от водонапорной сети и сливом в систему водоотведения; б) замкнутая с управляемым составом охлаждаемой среды;

– вариант системы управления: а) элементная ручная наладочная (применяет-

ся при отработке режимов упрочнения новой детали); б) полуавтоматическая, основная (запуск процесса упрочнения производится оператором установки с пульта управления, а останов производится автоматически, при достижении заданной величины обрабатываемого размера).

Суммарная подводимая мощность – до 200 кВт. Необходимо наличие на участке водонапорной сети и системы водоотведения. Материал деформирующих валков – теплостойкие штамповые стали типа 6Х6М1Ф.

Результаты и обсуждение

Описание работы установки

Установка может работать по двум вариантам (в зависимости от конструкции упрочняемой детали) следующим образом.

1-й вариант. Операции упрочнения и калибровки (для деталей типа «вал», «труба») начинаются, по необходимости, с перемещения каретки 8 (рис.) в первоначальное положение (крайнее положение возле клетки б). Затем происходит закрепление упрочняемой детали в тяге заготовки 11. После этого начинает работать спрейер 3, включается система охлаждения (замкнутая или разомкнутая – в зависимости от необходимости получения нужной структуры материала заготовки), и происходит включение привода вращения заготовки 9, затем включается установка ТВЧ (полупроводниковый преобразователь частоты ППЧ-160-66) и с помощью индуктора (входящего в состав ППЧ) происходит нагрев «заходного» конца заготовки до заданной температуры. После этого включается привод осевой подачи и происходит непрерывно-последовательный процесс нагрева заготовки с последующей калибровкой в клетке б до момента перемещения каретки 8 в крайнее положение от клетки (заготовка с тягой 11 находится в зоне разгрузки). Затем происходит выключение привода осевой подачи и привода вращения заготовки 9, после этого выключается система охлаждения (спрейер), происходит выгрузка (отсоединение) заготовки от тяги заготовки 11.

2-й вариант. Операции упрочнения и калибровки (для деталей с отверстием типа «гайка»). Вариант отличается от первого тем, что вместо тяги заготовки 11 устанавливается оправка деформирующая, а заготовка (с отверстием) закрепляется в кулаках клетки с внутренней стороны вместо спрейера, после чего

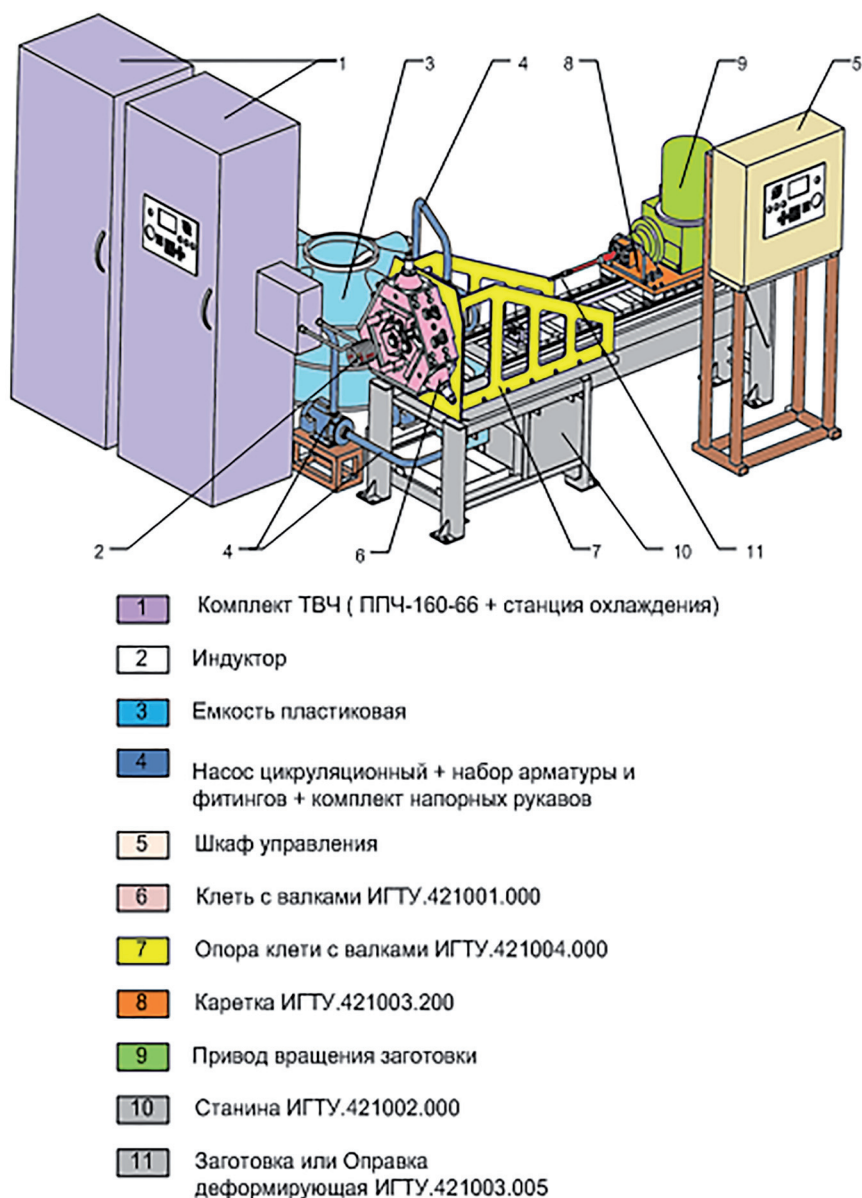


Рис. Общий вид установки УВО 20-50 для упрочнения наружных поверхностей
Fig. General view of the UVO 20-50 installation for hardening the outer surfaces

с помощью индуктора ТВЧ происходит нагрев ее внутренней поверхности. Затем включается привод осевой подачи, и деформирующая оправка калибрует внутреннюю поверхность заготовки, после этого включается обратный ход привода осевой подачи, происходит выключение хода привода осевой подачи, а заготовка попадает в зону охлаждения.

Описание групп и узлов установки

Станина 10 – сварная металлоконструкция служит основанием, на котором смонтированы узлы установки.

Привод вращения заготовки (NMRV 130-15-93,3-5,5-V5) представляет собой трехфазный

мотор-редуктор (с муфтой предохранительной крутящего момента фрикционной TL700-2C) мощностью 5,5 кВт и числом оборотов 93,3 об/мин, крутящий момент 490 Нм, установленный на каретку 8.

Привод осевого перемещения заготовки (NMRV 063-7,5-186,7-1,5-V5) представляет собой трехфазный мотор-редуктор (с муфтой предохранительной крутящего момента фрикционная TL350-1C) мощностью 1,5 кВт и числом оборотов 186,7 об/мин, установленный на модуль каретки 8.

Каретка представляет собой «сборку»: пластины каретки 8 с прикрепленными на нее мотор-редуктором (с помощью опоры),

ось каретки (передающая вращение с мотор-редуктора на заготовку), и 4 каретки HIWINHGW30CCZ0C (служат направляющими, компенсируют перекосы каретки во время работы), гайка ШВП (шарики-винтовая передача) каретки SFU3205 (закрепляется неподвижно в осевом направлении). Каретка предназначена для совмещения приводов вращения и осевого перемещения и выведения их на позицию загрузки-разгрузки заготовка.

Система загрузки-разгрузки представляет собой совокупность узлов и механизмов приводов вращения заготовки, осевой подачи (перемещения) заготовки, а также тяги заготовки II, управляемых системой управления.

Деформирующее оборудование включает в себя клетку с валками б, предназначенную для радиального обжатия и калибровки цилиндрических заготовок.

В клетки б собраны три направляющих, на торцах которых смонтированы неприводные деформирующие ролики, закрепленные на кулаках. Каждая направляющая имеет гайку, фиксирующую радиальное перемещение ролика к оси обработки. Разворот роликов относительно оси обработки осуществляется регулируемыми болтами настройки угла и контролируется по лимбу.

Спрейер предназначен для закалки изделия, выполнен в виде сборного цилиндра, на внутренней поверхности которого расположены отверстия для разбрызгивания воды.

Система слива (емкость для сбора воды) предназначена для сбора и отвода использованной жидкости из зоны охлаждения изделия в систему водоотведения (при помощи прикрепленного шланга) как производственного участка, так и в замкнутую систему охлаждения.

Описание системы нагрева ТВЧ

Полупроводниковые преобразователи частоты серии ППЧ предназначены для преобразования трехфазного тока промышленной частоты в переменный однофазный ток средней частоты. Применяются для питания колебательного контура индукционных плавильных печей, закалочных и других электротермических устройств с секционными устройствами.

В диапазоне частот от 8000 до 70 кГц используются статические преобразователи частоты, являющиеся источником напряжения специальной формы с импульснокодовой моду-

ляцией, выполненном на IGBT-транзисторах, который питает параллельный колебательный контур электротермической установки.

Питание ППЧ должно осуществляться от четырехпроводной сети с номинальным напряжением 380 В.

Описание системы управления установкой винтового обжатия

Система управления выполняет следующие задачи:

- управление пуском, остановкой, защитами;
- сигнализация режимов работы и неисправностей, обеспечение требуемых законов регулирования;
- обеспечение алгоритмов подачи и снятия управляющих импульсов для тиристорных выпрямителя и транзисторных инверторов;
- формирование импульсов управления тиристорами с заданными параметрами.

В табл. 2 представлены технические характеристики установки для упрочнения круглого проката и комплект оборудования для нагрева и охлаждения.

В таблице 3 представлен уровень механических свойств, формирующихся в сталях 38ХС и 30ХГСН2А при различных схемах обработки.

Исследования механических свойств углеродистых среднелегированных сталей опубликованы в работах М.Л. Бернштейна, О.И. Шаврина, В.Б. Дементьева и многих авторов, занимающихся вопросами упрочнения при ВТМО [4]. Определенный интерес в нашем случае представляет влияние вида ВО на свойства стали 30ХГСН2А и степени деформации λ при оправочном деформировании труб из стали 38ХС.

Из приведенных в табл. 3 результатов видно, что для стали 38ХС наилучшие механические свойства получены при режимах обработки заготовок со степенью деформации 20, 26 и 30 % и отпусков 200 и 270 °С. Отсюда для стали 38ХС видно, что при снижении температуры отпуска до 200 °С предел прочности возрастает на 128 МПа, предел текучести – на 100 МПа при степени деформации 30 %, а ударная вязкость уменьшается незначительно.

Физико-механические свойства стали 30ХГСН2А получены для упрочненных трубных заготовок, обработанных со степенью деформации 25 % [5–7].

Таблица 2

Технические характеристики УВО 20-50
 Table 2. Technical characteristics of UVO 20-50

	Наименование параметров	Величина
1	Наибольшая длина обработки, мм	1200
2	Диаметр заготовки, мм: минимальный максимальный	20 50
3	Крутящий момент, Н·м	до 500
4	Скорость вращения заготовки, об/мин (за счет схемы управления эл. двигателями)	60–120
5	Максимальное тянущее усилие, кН	30
6	Максимальное усилие обжатия валков (роликов), кН	90
7	Диаметр обжимных валков (роликов), мм	80
8	Ход каретки, мм	1300
9	Угол разворота валков (роликов), град	от 0 до 6
10	Скорость осевой подачи, мм/мин	300–500
11	Наибольшая величина обжатия, %	20–30
12	Суммарная мощность эл. двигателей, кВт	7
13	Охлаждение	водное
14	Габариты установки, мм (для справки): длина ширина высота	2670 825 1380
15	Масса ориентировочная (без установки ТВЧ), кг	1060
16	Система загрузки-разгрузки заготовок	
17	Полупроводниковый преобразователь частоты ППЧ-160-66 (блок согласования, Провода соединительные к ППЧ и БК, станция охлаждения СО-40, комплект одновитковых индукторов для деталей УВО)	

Таблица 3

Механические свойства стали 38ХС в зависимости от степени деформации при ВТМО и температуры отпуска
 (опыты 1–6) и влияние схемы обработки на свойства стали 30ХГСН2А
 (опыты: 7 – на длинной оправке, 8 – на короткой оправке)

Table 3. Mechanical properties of 38HS steel on the degree of deformation at HTMT
 and tempering temperature (experiments 1–6) and the effect of the treatment scheme on the properties
 of steel 30KHGSN2A (experiments: 7 – on a long mandrel, 8 – on a short mandrel)

№ опыта	Марка стали	$t_{отп.}, ^\circ\text{C}$	$\lambda, \%$	$\sigma_{0,2}, \text{МПа}$	$\sigma_B, \text{МПа}$	$\delta, \%$	$\Psi, \%$	KCU, МДж/м ²	HRC ₃ , ед
1	38ХС Образец КСУ 3х4 мм	200	20	1586	1812	12,9	46,1	0,36	47–51
2		270	20	1428	1587	10,7	43,0	0,54	
3		200	26	1571	1775	15,3	53,4	0,41	
4		270	26	1448	1631	13,5	55,6	0,64	
5		200	30	1603	1817	13,1	52,5	0,56	
6		270	30	1501	1689	14,9	53,0	0,58	
7	30ХГСН2А	200	25	1721	1879	13,3	63,5	1,11	47–51
8	Образец КСУ 10х10 мм	200	25	1653	1837	14,2	56,0	1,21	

Выводы

Разработана и изготовлена установка винтового обжатия УВО 20-50 с замкнутой системой охлаждения упрочненного проката с возможностью встраивания оборудования в производственную линию изготовления деталей.

Установка УВО предназначена для формообразования и упрочнения цилиндрических деталей методом высокотемпературной термомеханической обработки с деформированием металла винтовым обжатием и обеспечением технических характеристик заготовительных

операций. Проведенные исследования механических свойств сталей 38ХС и 30ХГСН2А показывают, что материал полностью соответствует по характеру структуры и прочности традиционному упрочнению методом ВТМО и может использоваться в промышленности в качестве упрочненной заготовки высоконагруженных технических систем. При этом окончательное формирование структуры материала происходит на стадии ВТМО ВО и не зависит от предшествующих операций. Исследования механических характеристик показали, что уровень механических свойств на 15–20 % выше, чем после объемной термообработки.

Литература

1. Шаврин О.И., Дементьев В.Б., Маслов Л.Н., Засыпкин А.Д. Качество поверхности цилиндрических изделий с термомеханическим упрочнением. Ижевск: ИПМ УрО РАН, 2006. 178 с.
2. Засыпкин А.Д., Дементьев В.Б. Исследование процесса винтового обжатия труб на оправке в двухклетевой установке ВТМО // Изв. вуз. Черная металлургия. 2009. № 1. С. 22–27.
3. Дементьев В.Б., Засыпкин А.Д. Способ высокотемпературной термомеханической обработки цилиндрических заготовок переменного сечения и устройство для его реализации: патент РФ № 2 320 731, (RU 2 320 731 C2, МПК C21D 8/00); опубл. 27.03.2008, Бюл. № 9.
4. Дементьев В.Б., Засыпкин А.Д. Исследование структуры и механических свойств стали 30ХГСН2А в технологиях прошивки, редуцирования и высокотемпературной термомеханической обработки осеболестостенных трубных заготовок // Химическая физика и мезоскопия. 2015. Т. 17, № 3. С. 372–379.
5. Дементьев В.Б., Засыпкин А.Д. О некоторых методах улучшения качества проката в металлургии и машиностроении // Наука Удмуртии. 2019. № 5 (90). С. 22–27.
6. Dement'ev V.B., Zasytkin A.D., Sterkhov M.U. High-temperature thermomechanical treatment of hollow track pins of track-type machines // MATEC Web Conf. Vol. 129, 2017. International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment. Sevastopole (ICMTMTE 2017). Web of Science and Scopus.
7. Дементьев В.Б., Засыпкин А.Д. Прогнозирование долговечности полых валов и осей изделий сельхозмашиностроения // Тракторы и сельхозмашины. 2017. № 5. С. 58–64.

References

1. Shavrin O.I., Dement'yev V.B., Maslov L.N., Zasytkin A.D. Kachestvo poverkhnosti tsilindricheskikh izdeliy s termomekhanicheskim uprochneniyem [Surface quality of cylindrical products with thermomechanical hardening]. Izhevsk: IPM URO RAN Publ., 2006. 178 p.
2. Zasytkin A.D., Dement'yev V.B. Investigation of the process of screw compression of pipes on a mandrel in a two-stand HTMT installation. Izv. vuz. Chernaya metallurgiya Publ.. 2009. No 1, pp. 22–27 (in Russ.).
3. Dement'yev V.B., Zasytkin A.D. Sposob vysokotemperaturnoy termomekhanicheskoy obrabotki tsilindricheskikh zagotovok peremennogo secheniya i ustroystvo dlya yego realizatsii [A method of high-temperature thermomechanical processing of cylindrical billets of variable cross-section and a device for its implementation]: patent RF No 2 320 731, (RU 2 320 731 C2, MPK C21D 8/00); opubl. 27.03.2008, Byul. No 9.
4. Dement'yev V.B., Zasytkin A.D. Investigation of the structure and mechanical properties of steel 30HGSN2A in technologies of broaching, reduction and high-temperature thermomechanical processing of extra-thick-walled pipe billets. Khimicheskaya fizika i mezoskopiya. 2015. Vol. 17, No 3, pp. 372–379 (in Russ.).
5. Dement'yev V.B., Zasytkin A.D. The methods of improving the quality of rolled products in metallurgy and mechanical engineering. Nauka Udmurtii. No 5 (90), 2019, pp. 22–27 (in Russ.).
6. Dement'ev V.B., Zasytkin A.D., Sterkhov M.U. High-temperature thermomechanical treatment of hollow track pins of track-type machines. MATEC Web Conf. Vol. 129, 2017. International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment. Sevastopole (ICMTMTE 2017). Web of Science and Scopus.
7. Dement'yev V.B., Zasytkin A.D. Predicting the durability of hollow shafts and axles of agricultural machinery products. Traktory i sel'khoz mashiny. 2017. No 5, pp. 58–64 (in Russ.).