

ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС В АПК

УДК 621.791:621.791.9

DOI 10/26897/1728-7936-2018-1-52-58

СЕРОВ АНТОН ВЯЧЕСЛАВОВИЧ, канд. техн. наук, доцент¹

E-mail: serov@rgau-msha.ru

БУРАК ПАВЕЛ ИВАНОВИЧ, докт. техн. наук, профессор¹

E-mail: pburak@rambler.ru

ЛАТЫПОВ РАШИТ АБДУЛХАКОВИЧ, докт. техн. наук, профессор²

E-mail: latipov46@mail.ru

СЕРОВ НИКИТА ВЯЧЕСЛАВОВИЧ, ассистент¹

E-mail: spreiz2@inbox.ru

¹ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Лиственничная аллея, 2А, Москва, Российская Федерация

² Московский политехнический университет; 107023, ул. Б. Семёновская, 38, Москва, Российская Федерация

КРИТЕРИЙ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПАКТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ ПРИВАРКОЙ НА ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ ПОВЕРХНОСТИ

Обосновано применение электроконтактной приварки компактных материалов (проволок и лент) при получении функциональных покрытий на деталях сельскохозяйственных машин. Показана возможность применения отходов инструментального производства (полотен механических и ручных пил, а также электролобзиков) для получения функциональных покрытий на цилиндрических деталях электроконтактной приваркой (ЭКП). Установлен деформационный критерий привариваемости отходов инструментального производства из углеродистых, легированных и быстрорежущих сталей в зависимости от их физико-механических свойств и диаметра цилиндрической детали. Критерием, отражающим возможность приварки углеродистых и легированных стальных лент заданной толщины на вал известного диаметра, которыми, в частности, являются ножовочные полотна, может служить полная деформация ленты, предшествующая разрушению. Деформацию можно рассчитать, зная физико-механические свойства присадочного материала: относительное удлинение, модуль и предел упругости. Приведены аналитические зависимости, позволяющие рассчитать минимальный (критический) диаметр вала, на который возможно приварить ленту известных размеров из материала с известными физико-механическими свойствами, представлен пример расчётов для некоторых марок сталей. Установлено, что критический диаметр вала, полученный при расчёте по зависимостям для ленты из стали Р9 толщиной 0,65 мм в состоянии поставки (после отжига) и в термообработанном состоянии (закалка и отжиг 560°C), составил 5,8 и 64,4 мм соответственно. Экспериментально подтверждена предложенная расчётная формула, позволяющая производить расчёт длины раскроя компактного материала, при его электроконтактной приварке на цилиндрическую деталь, с необходимой точностью.

Ключевые слова: функциональные покрытия, восстановление, упрочнение, ремонт, электроконтактная приварка, металлическая лента.

Введение. Одним из направлений повышения эффективности использования ресурсов (материалов) и качества производства, восстановления и упрочнения деталей, является создание на рабочей поверхности функционального покрытия, отвечающего требованиям, предъявляемым к данной детали,

и обеспечивающего необходимый рабочий ресурс при работе в сочетании с материалом основы.

Функциональное покрытие [1] – слой, созданный на поверхности детали, являющийся её неотъемлемой частью, отличающийся от неё по химическому составу и имеющий меньшую толщину, чем основной

материал, со строго определёнными заданными свойствами, чередованием или градиентом свойств, необходимыми для работы детали или обеспечивающими более высокие технико-экономические показатели эксплуатации изделия, чем без наличия такого.

Получение покрытий можно осуществлять:

- в жидком/пластичном виде (баббиты, полимерные композиции, лаки, краски, эмали, грунтовки, шпатлевки, расплавы);
- физическими и химическими методами (никелирование, кобальтирование, меднение, вакуумное напыление, самораспространяющийся высокотемпературный синтез, электроискровое легирование);
- гальванически (железнение, хромирование, цинкование);
- финишной антифрикционной безабразивной обработкой (ФАБО);
- методами наплавки;
- газодинамическими методами (холодное газодинамическое напыление [1], газопламенное напыление, плазменное напыление, плазменно-дуговое напыление, высокочастотное плазменное напыление, электродуговая металлизация, детонационное напыление, напыление в контролируемой атмосфере, напыление в динамическом вакууме, тигельное напыление);
- в твёрдой фазе (электроконтактная приварка, диффузионная сварка, детонационное плакирование, плакирование прокаткой, пайка).

Из всех рассмотренных методов электроконтактная приварка является наиболее универсальным. Имеющийся опыт в получении покрытий электроконтактной приваркой (ЭКП) различных материалов, таких как стальные ленты (углеродистые, коррозионно-стойкие, рессорно-пружинные), проволоки, порошки [2], делает возможным и перспективным использование данного способа при утилизации отходов машиностроительного и инструментального производства за счёт использования их в качестве присадочного материала [3]. Утилизация инструмента позволит повысить экономичность и экологичность процесса получения функциональных покрытий данным методом.

Авторы [4-5] исследовали возможность утилизации твёрдосплавных отходов инструментального и маши-

ностроительного производства методом электроэрозионного диспергирования с последующим электроконтактным напеканием полученных порошков на поверхности упрочняемых и восстанавливаемых деталей.

Не менее важным направлением является утилизация ножовочных полотен (механических и ручных пил) и полотен бытовых электролобзиков, которые применяются в быту, машиностроительном, слесарном, столярном и строительном производстве.

Согласно ГОСТ Р 53411-2009, ножовочные полотна должны выпускаться из стальной ленты толщиной 0,65 мм (ГОСТ 23522-79), из сталей марок: Р9 по ГОСТ 19265-73, Х6ВФ или В2Ф по ГОСТ 5950-2000 с твёрдостью зубьев 62...65 HRC.

Приварка ножовочных полотен контактной сваркой к плоским поверхностям не представляется затруднительным мероприятием. ЭКП полотен можно использовать для восстановления или упрочнения рабочих органов сельхозмашин, таких как лемех плуга, лапы культиваторов, сошники сеялок и машин для внесения удобрений, поверхности борон. Ножовочные полотна имеют высокую твёрдость и низкую пластичность, что затрудняет их приварку к цилиндрическим поверхностям вследствие хрупкого разрушения. В связи с этим необходимым является прогнозирование возможности электроконтактной приварки материала с известными геометрическими параметрами и физико-механическими свойствами на цилиндрическую деталь известного диаметра без его разрушения.

Цель исследований – получение аналитических зависимостей для оценки возможности использования компактных материалов для ЭКП на цилиндрические поверхности.

Материал и методы. Для получения расчётных формул использовались методы физического и математического моделирования.

Результаты и обсуждение. В поперечных сечениях стальных лент при ЭКП (рис. 1 а) возникают только нормальные напряжения растяжения и сжатия [6]. Вопрос о распределении этих напряжений по поперечному сечению решается путем рассмотрения деформаций волокон ленты.

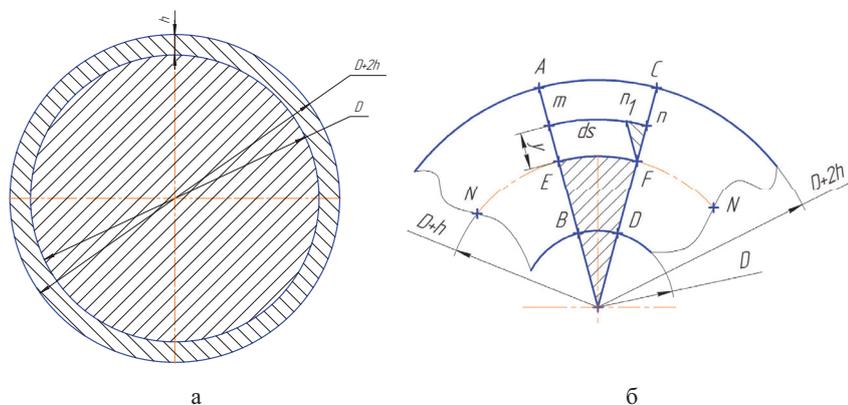


Рис. 1. Схема деформации присадочного материала при ЭКП компактных материалов: а – всей ленты; б – участка ленты

Рассмотрим участок ленты, подверженный деформации чистого изгиба. Двумя поперечными сечениями AB и CD выделим элемент ленты бесконечно малой длины ds (рис 1 б). Радиус кривизны нейтрального слоя ленты обозначим $(D+h)/2$.

Слой волокон mn находится на расстоянии u от нейтрального слоя NN . В результате деформации при изгибе это волокно удлинилось на величину nn_1 . Ввиду малости расстояния ds заштрихованные треугольники можно считать прямолинейными; эти треугольники подобны ($n_1F \parallel mE$):

$$\Delta OEF \sim \Delta Fnn_1. \quad (1)$$

Из подобия треугольников запишем равенство:

$$nn_1 / ds = h/2 / (D+h)/2. \quad (2)$$

Так как левая часть этого равенства есть полное относительное удлинение $\Delta l/l$, то

$$\Delta l/l = h / (D+h). \quad (3)$$

Таким образом, критерием отражающим возможность приварки углеродистых и легированных стальных лент заданной толщины на вал известно-

го диаметра, может служить полная деформация ленты, предшествующая разрушению, которую можно найти как

$$\Delta l = \Delta l_y + \Delta l_{ост} \quad (4)$$

где Δl – полная деформация, предшествующая разрушению, м; Δl_y – величина упругой деформации, м; $\Delta l_{ост}$ – величина пластической деформации, м.

Схема зависимости деформации присадочного материала от величины внешних напряжений представлена на рисунке 2.

В связи с тем, что в справочниках и стандартах на марки сталей и сплавов такие параметры, как предел упругости и предел текучести, для материалов указываются редко, для дальнейших расчётов примем несколько допущений:

$$\sigma_y \approx \sigma_{0,05},$$

$$\sigma_T \approx \sigma_{0,2},$$

где σ_y , $\sigma_{0,05}$, σ_T и $\sigma_{0,2}$ – соответственно предел упругости, условный предел упругости, предел текучести и условный предел текучести.

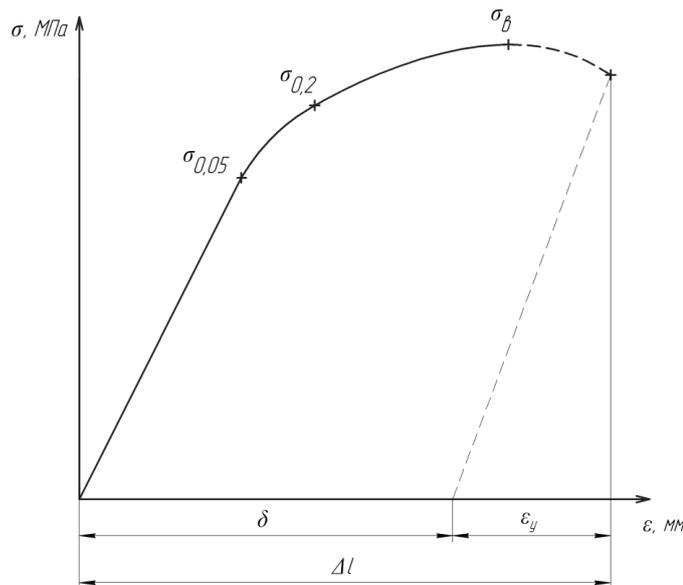


Рис. 2. Схема деформации ленты при изгибе

Величину упругой деформации найдём по закону Гука [6-8]:

$$\sigma_{0,05} = E\varepsilon_y, \quad (5)$$

где E – модуль упругости Юнга, МПа; ε_y – относительная упругая продольная деформация:

$$\varepsilon_y = \frac{\Delta l_y}{l}, \quad (6)$$

где l – начальная длина ленты, м.

Подставив выражение (3) в выражение (2), получим

$$\sigma_{0,05} = E \frac{\Delta l_{ynp}}{l}. \quad (7)$$

Выразив величину упругой деформации, получим

$$\varepsilon_y = \frac{\sigma_{0,05} l}{E}. \quad (8)$$

В качестве величины пластической деформации можно принять остаточную деформацию, которую

можно определить из формулы относительного удлинения:

$$\delta = \frac{\Delta l_{\text{ост}}}{l} \cdot 100\%, \quad (9)$$

где δ – относительное удлинение, %.

Тогда остаточная деформация ленты будет находиться как

$$\Delta l_{\text{ост}} = \frac{\delta l}{100\%}. \quad (10)$$

Из схемы деформации присадочного материала в процессе приварки, представленной на рисунке 1, длина окружности детали находится как

$$l_d = \pi D, \quad (11)$$

где D – диаметр вала, м.

Если использовать эту формулу, для определения длины раскроя ленты под приварку на вал длины на стороне, прилегающей к валу, будет меньше длины окружности на величину, равную деформации сжатия ленты. Другая сторона будет длиннее на эту же величину вследствие её растяжения.

Поскольку горизонтальная ось сечения ленты не деформируется, необходимую первоначальную длину ленты можно найти как

$$l = \pi(D + h), \quad (12)$$

где h – толщина присадочного материала, мм.

Полученное выражение позволяет производить расчёт длины раскроя компактных материалов для ЭКП на детали типа «вал» с необходимой точностью, что подтверждается экспериментально.

Деформация сжатия стороны ленты, прилегающей к детали, будет равна

$$\Delta l_c = \pi(D + h) - \pi D. \quad (13)$$

Деформация растяжения для противоположной стороны

$$\Delta l_p = \pi(D + 2h) - \pi(D + h). \quad (14)$$

При симметричной деформации растяжения-сжатия ленты полная деформация, предшествующая разрушению, будет находиться как

$$\Delta l = \Delta l_c = \Delta l_p = \pi(D + h) - \pi D = \pi(D + 2h) - \pi(D + h) = \pi h. \quad (15)$$

Подставив выражение (12) в (8) и (10), а полученное выражение и выражение (15) в (4), получим критерий привариваемости присадочного материала к цилиндрической поверхности из условий его полной предельной деформации:

$$\pi h = \frac{\sigma_{0,05} \pi (D + h)}{E} + \frac{\delta \pi (D + h)}{100\%}. \quad (16)$$

Минимальный (критический) диаметр вала, на который возможно приварить данный присадочный материал:

$$D_{\text{кр}} = \frac{h}{\left(\frac{\sigma_{0,05}}{E} + \frac{\delta}{100\%}\right)} - h. \quad (17)$$

Отсюда относительная деформация ленты заданной толщины при электроконтактной приварке на вал известного диаметра должна быть меньше суммы её возможной упругой и пластической деформации:

$$\frac{h}{D + h} < \frac{\sigma_{0,05}}{E} + \frac{\delta}{100\%}. \quad (18)$$

В данном случае напряжение максимальной упругой деформации соответствует пределу упругости $\sigma_{0,05}$. Следует отметить, что для некоторых марок сталей предел упругости не указывается, поэтому при расчётах его величину можно принять равной 95% от $\sigma_{0,2}$.

Для средне- и высокоуглеродистых сталей после закалки их пластичность практически равна нулю. Поэтому при оперативных расчётах слагаемым $\frac{\delta}{100\%}$ (показатель пластичности) можно пренебречь, а вместо значения предела упругости использовать значение предела прочности, поскольку деформация, получаемая расчётом с его использованием по закону Гука, будет меньше или равной фактической предельной деформации. Для пластичных материалов можно пренебречь слагаемым $\frac{\sigma}{E}$ (показатель упругости).

Примеры полученных расчётных критических диаметров для некоторых марок стальных лент представлены в таблице. Свойства сталей взяты из справочников [9-11]. Из таблицы видно, что при ЭКП материалов в состоянии поставки (отжиг, нормализация) расчётные критические диаметры меньше существующих рекомендаций относительно минимальных диаметров валов, восстанавливаемых данным методом, соответственно их приварка не затруднена.

Расчётный критический диаметр ленты из стали Р9 в термообработанном состоянии (ножовочное полотно) равен 64,4 мм, это означает, что при приварке данного материала на вал меньшего диаметра вероятно его разрушение. Следовательно, перед приваркой необходимо провести разупрочняющую термическую обработку для получения требуемого относительного удлинения, достаточного для приварки на вал заданного диаметра.

Таким образом, при получении функциональных покрытий с использованием в качестве присадочного материала отходов инструментального и машиностроительного производства из углеродистых, легированных и быстрорежущих сталей методом электроконтактной приварки наряду

с технологической свариваемостью необходимо учитывать и механические свойства материалов. Относительное удлинение δ , модуль Юнга

E и предел упругости σ_y также будут оказывать влияние на процесс и качество формирования покрытия.

Расчётный критический диаметр для некоторых марок сталей

Марка	20			45			65Г			Р9	
	Термообработка	Нормализация	Нормализация	Закалка + отпуск 450°C	Отжиг	Закалка + отпуск 400°C	Закалка + отпуск 200°C	Отжиг	Закалка + отпуск 560°C		
δ , %		25	16	10	15	8	4	10			-
σ_b , МПа		410	600	980	640	1670	2200	840			2210
$\sigma_{0,2}$, МПа		245	355	830	-	1450	1790	490			-
$\sigma_{0,05}$, МПа		-	-	-	-	-	-	210			2200
$E \cdot 10^{-5}$, МПа		2,12	2,00	2,00	2,15	2,15	2,15	2,20			2,20
$\sigma_{0,05}/E$		-	-	-	-	-	-	0,0010			0,0100
$h/(D + h)$		0,250	0,160	0,100	0,150	0,080	0,040	0,101			0,010
h , мм		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,65			0,65
$D_{кр}$, мм		2	3,4	5,9	2,8	5,8	12,0	5,8			64,4

Выводы

1. Показана возможность применения отходов инструментального производства (полотен механических и ручных пил, а также электролобзиков) для получения функциональных покрытий на цилиндрических деталях электроконтактной приваркой.

2. Установлен критерий привариваемости отходов инструментального производства из углеродистых, легированных и быстрорежущих сталей в зависимости от физико-механических свойств привариваемого материала и диаметра цилиндрической детали.

3. Получены формулы для расчёта длины раскроя ленты при ЭКП на деталь известного диаметра и для определения величины минимального (критического) диаметра детали, на которую возможно произвести ЭКП компактного материала с известными механическими свойствами (δ , E , σ_y) и толщиной.

Библиографический список

1. Серов А.В., Бурак П.И., Латыпов Р.А., Серов Н.В. Функциональные покрытия в сельскохозяйственном машиностроении // Международный научный журнал. 2014. Вып. 6. С. 71-77.
 2. Латыпов Р.А. Выбор компактных и порошковых металлических материалов и управление качеством покрытий при упрочнении и восстановлении деталей электроконтактной приваркой: Автореферат дис. ... докт. техн. наук: 05.02.01. М.: Моск. гос. вечер. металлург. ин-т, 2007. 48 с.
 3. Серов А.В., Серов Н.В., Бурак П.И., Латыпов Р.А. Способ утилизации отходов из углеродистых, легированных и быстрорежущих инстру-

ментальных сталей электроконтактной приваркой // Труды ГОСНИТИ. 2017. Т. 127.

4. Латыпов Р.А., Бурак П.И., Агеев Е.В., Латыпова Г.Р. Получение порошков из отходов вольфрамсодержащих твердых сплавов и их применение в технологиях восстановления и упрочнения деталей // Труды ГОСНИТИ. 2014. Т. 114.

5. Латыпов Р.А., Латыпова Г.Р., Агеев Е.В., Бурак П.И. Исследование твердосплавных порошков, полученных электроэрозионным диспергированием вольфрамсодержащих отходов // Международный научный журнал. 2013. № 5. С. 80-85.

6. Эрдеди Н.А., Эрдеди А.А. Сопротивление материалов: Учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по машиностроительным направлениям подготовки. М.: КноРус, 2012. 156 с.

7. Межецкий Г.Д., Загребин Г.Г., Решетник Н.Н. Сопротивление материалов: Учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по машиностроительным специальностям. М.: Дашков и К°, 2013. 430 с.

8. Степин П.А. [и др.]. Сопротивление материалов: Учебник. 12-е изд., стер. Санкт-Петербург: Лань, 2012. 319 с.

9. Сорокин В.Г. [и др.]. Стали и сплавы. Марочник: Справочник / Под ред. В.Г. Сорокина, М.А. Гервасьева. М.: Интермет инжиниринг, 2001. 608 с.

10. Марочник сталей и сплавов / Сост. А.С. Зубченко и др.; Под ред. А.С. Зубченко. 3-е изд., стер. М.: Машиностроение, 2011. 782 с.

11. Марочник сталей и сплавов / Сост.: Ю.Г. Драгунов [и др.]. М.: Инновационное машиностроение. 2016. 1215 с.

Статья поступила 25.09.2017

FEASIBILITY CRITERION OF USING COMPACT MATERIALS FOR OBTAINING FUNCTIONAL COATINGS BY ELECTROCONTACT WELDING ON CYLINDRICAL SURFACES

ANTON V. SEROV, PhD (Eng), Associate Professor¹

E-mail: serov@rgau-msha.ru

PAVEL I. BURAK, DSc (Eng), Professor¹

E-mail: pburak@rambler.ru

RASHIT A. LATYPOV, DSc (Eng), Professor²

E-mail: latipov46@mail.ru

NIKITA V. SEROV, Assistant Professor¹

E-mail: spreiz2@inbox.ru

¹ Russian Timiryazev State Agrarian University; 127550, Listvennichnaya Alley, 2A, Moscow, Russian Federation

² Moscow Polytechnic University; 107023, B. Semenovskaya Str., 38, Moscow, Russian Federation

The paper provides grounds for the use of electrocontact welding of compact materials (wires and ribbons) to make functional coatings on parts of agricultural machines. The authors show a possibility of applying tool-making waste (mechanical and hand saw blades, as well as electric jigsaws) for obtaining functional coatings on cylindrical parts by electrocontact welding (ECW). They have determined a deformation criterion for the weldability of tool-making waste from carbonaceous, alloyed and high-speed steels depending on their physical-and-mechanical properties and the cylindrical part diameter. A criterion reflecting the possibility of welding carbon steel and alloyed steel ribbons of a given thickness to a shaft of a known diameter, which, in particular, can be represented by saw blades, can be checked by the complete tape deformation preceding the destruction. The deformation can be calculated by operating with the physical-and-mechanical properties of the filler material: elongation, as well as the limit and the modulus of elasticity. The paper provides analytical dependencies allowing to calculate the minimum (critical) diameter of the shaft, on which a tape of known dimensions from a material with known physical and mechanical properties can be welded, as exemplified by calculations for some steel grades. It has been established that the critical shaft diameter obtained in the calculation based on dependencies for a 0.65 mm-thick P9 steel ribbon in the as-received condition (after annealing) and in the heat-treated condition (quenching and annealing at 560°C) is 5.8 and 64.4 mm respectively. The authors have experimentally confirmed the proposed calculation formula that allows calculating the cutting length of a compact material by its electrocontact welding on a cylindrical part with the required accuracy.

Key words: functional coatings, restoration, hardening, repair, electrocontact welding, metal ribbon.

References

1. Serov A.V., Burak P.I., Latypov R.A., Serov N.V. Funktsional'nyye pokrytiya v sel'skokhozyaystvennom mashinostroyenii [Functional coatings in agricultural machine building]. *Mezhdunarodnyy nauchnyy zhurnal*, 2014, Issue 6. Pp. 71-77. (in Rus.)
2. Latypov R.A. Vybory kompaktnykh i poroshkovykh metallicheskiykh materialov i upravleniye kachestvom pokrytiy pri uprochnenii i vosstanovlenii detaley elektrokontaktной приваркой [Selection of compact and powdered metal materials and coating quality control for hardening and restoration of parts by electrocontact welding]: Self-review of PhD (Eng) thesis: 05.02.01. Moscow, Mosk. gos. vecher. metallurg. in-t, 2007. 48 p. (in Rus.)
3. Serov A.V., Serov N.V., Burak P.I., Latypov R.A. Sposob utilizatsii otkhodov iz uglerodistykh, legi-

rovannykh i bystrorezhushchikh instrumental'nykh staley elektrokontaktной приваркой [Method of recycling waste from carbon, alloyed and high-speed tool steels by electrocontact welding]. *Trudy GOSNITI*. 2017. Vol. 127. (in Rus.)

4. Latypov R.A., Burak P.I., Ageyev Ye.V., Latypova G.R. Polucheniye poroshkov iz otkhodov vol'framsoderzhashchikh tverdykh splavov i ikh primeneniye v tekhnologiyakh vosstanovleniya i uprochneniya detaley [Production of powders from wastes of tungsten-containing hard alloys and their application in restoration and hardening of parts]. *Trudy GOSNITI*. 2014. Vol. 114. (in Rus.)

5. Latypov R.A., Latypova G.R., Ageyev Ye.V., Burak P.I. Issledovaniye tverdospilavnykh poroshkov, poluchennykh elektroerozionnym dispergirovaniyem vol'framsoderzhashchikh otkhodov [Study of carbide

powders obtained by electroerosive dispersion of tungsten-containing waste]. *Mezhdunarodnyy nauchnyy zhurnal*. 2013. No. 5. Pp. 80-85. (in Rus.)

6. Erdedi N.A., Erdedi A.A. Soprotivleniye materialov: Uchebnoye posobiye dlya studentov vysshikh uchebnykh zavedeniy, obuchayushchikhsya po nemashinostroitel'nyim napravleniyam podgotovki [Resistance of materials: Study manual for students of higher educational institutions of non-machine-building training fields]. Moscow, KnoRus, 2012. 156 p. (in Rus.)

7. Mezhetskiy G.D., Zagrebin G.G., Reshetnik N.N. Soprotivleniye materialov: Uchebnik dlya studentov vysshikh uchebnykh zavedeniy, obuchayushchikhsya po mashinostroitel'nyim spetsial'nostyam [Resistance of materials: Study manual for students of higher educational institutions of engineering training field. Moscow, Dashkov i K^o, 2013. 430 p. (in Rus.)

8. Stepin P.A. [et al.]. Soprotivleniye materialov: Uchebnik [Resistance of materials. Study manual]. 12th edition, stereotyped. St-Petersburg, Lan', 2012. 319 p. (in Rus.)

9. Sorokin V.G. [i dr.]. Stali i splavy. Marochnik: Spravochnik [Steels and alloys. Grade database: Directory]. Ed. by V.G. Sorokina, M.A. Gervas'yeva. Moscow, Internet inzhiniring, 2001. 608 p. (in Rus.)

10. Marochnik staley i splavov [Grade database of steels and alloys / Compiled by A.S. Zubchenko et al.; ed. by A.S. Zubchenko. 3rd edition, stereotyped. Moscow, Mashinostroyeniye, 2011. 782 p. (in Rus.)

11. Marochnik staley i splavov [Grade database of steels and alloys. Compiled by Yu.G. Dragunov [et al.]. Moscow, Innovatsionnoye mashinostroyeniye. 2016. 1215 p. (in Rus.)

The paper was received on September 25, 2017