

Разработка конструкции фрезы червячной сборной для нарезания шлицев

¹ЖАРКЕВИЧ Ольга Михайловна, к.т.н., профессор, zharkevich82@mail.ru,

¹ЖУКОВА Алла Валентиновна, старший преподаватель, aluny@mail.ru,

¹*НУРЖАНОВА Оксана Амангельдыевна, докторант, nurzhanova_o@mail.ru,

¹МУСАЕВ Медгат Муратович, PhD, и.о. доцента, kstu_mmm@mail.ru,

¹ЛАПКИН Владислав Игоревич, магистрант, lapkin86@gmail.com,

¹НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», Казахстан, Караганда, пр. Н. Назарбаева, 56,

*автор-корреспондент.

Аннотация. Целью исследования является разработка новой конструкции червячной фрезы для нарезания шлицев при восстановлении деталей типа тел вращения. Установлены разрушения шлицевых поверхностей деталей типа тел вращения после эксплуатации. Определены причины дорогостоящей обработки шлицев после восстановления. Приведена фреза червячная сборная для нарезания шлицев с измененными геометрическими параметрами. Приведена зависимость высоты зубьев от наружного и внутреннего диаметров шлицев. Определен шаг сменной зубчатой рейки относительно следующей рейки фрезы в зависимости от осевого шага фрезы и количества продольных пазов. Определено напряженно-деформированное состояние фрезы червячной сборной для нарезания шлицев.

Ключевые слова: фреза червячная, зубчатая рейка, детали типа тел вращения, шлицы, шлицефрезерование, напряжения, деформации, восстановление, имитационное моделирование, механическая обработка, разрушения шлицевых валов.

Введение

В настоящее время одной из имеющихся проблем при ремонте энергооборудования является восстановление работоспособности шлицевых валов [1, 2].

Основными разрушениями шлицевых валов при эксплуатации энергетических установок являются заусеницы и зазубрины шлицев, пластические деформации рабочих кромок шлицев (смятие), разрушения в переходной галтели, износ. Разрушения происходят из-за повышенных нагрузок, неблагоприятных свойств поверхностного слоя материала детали по отношению к усталости, повышенная концентрация напряжения в галтели [3, 4].

Поскольку покупка нового шлицевого вала обходится предприятию достаточно дорого, изношенные шлицевые валы восстанавливаются наплавкой [5].

При восстановлении важное значение имеет технологичность способов восстановления, повышение качества и уменьшение себестоимости ремонтных работ.

Машиностроительные и ремонтные предприятия тратят огромное количество ресурсов на восстановление поверхностей шлицевых валов, в том числе дорогостоящих твердосплавных пластин

для резцов при механической обработке наплавленного слоя и другие виды инструмента.

При обработке шлицевых поверхностей на фрезерных, шлицефрезерных и токарных станках используются червячные, дисковые и пальцевые фрезы [6, 7]. Механическая обработка восстановленных шлицевых поверхностей валов характеризуется высокой трудоёмкостью [8], а потому совершенствование этого процесса является актуальной задачей для промышленности.

В этой связи требуется разработка нового инструмента для обработки шлицев, а именно фрезы червячной сборной для нарезания шлицев, которая обеспечит качество шлицевых пазов, снижение стоимости обработки и сокращение времени на обработку.

Методы исследования

Для установления конструктивных параметров фрезы червячной сборной для нарезания шлицев были использованы методы теории подобия и размерности.

Для определения напряженно-деформированного состояния было применено имитационное моделирование с использованием метода конечных элементов в программе ANSYS Mechanical.

Результаты и обсуждение

Существующая на данный момент типовая

технология обработки шлицевых поверхностей деталей типа тел вращения подразумевает выполнение двух операций: токарной, для получения наружного диаметра шлицев, и фрезерной, для получения шлицев [9].

Недостатками этой технологии являются большие затраты времени, необходимость в двух типах технологического оборудования: токарном и фрезерном, а также затраты на дорогостоящие составляющие инструмента – твердосплавные пластины.

Данный комплекс проблем предлагается решить при помощи создания червячной фрезы, способной обработать шлицевую поверхность после восстановления за одну операцию. Предложенная конструкция фрезы обеспечивает образование наружного диаметра, внутреннего диаметра, а также боковых поверхностей шлицев за одну операцию. При помощи программы Компас 3D была создана трёхмерная модель фрезы предложенной конструкции (рисунок 1).

Фреза червячная сборная содержит корпус 1 с продольными пазами, в которых установлены зубчатые рейки 2, зажатые при помощи зажимных клиньев 3 и регулирующих пластин 4, закрепленных винтами 6, кольцо 5, предохраняющее регулирующие пластины 4 от саморазборки в процессе резания.

В целях удобства заточки режущих кромок в их нижней части предлагается выполнить ряды зубьев фрезы в виде сменных зубчатых реек. Данное решение позволяет также обеспечить расширение технологических возможностей фрезы путём использования одного корпуса инструмента для нарезания шлицев требуемых размеров за счет установки сменных зубчатых реек.

Сменные зубчатые рейки имеют новую гео-

метрию режущей части, в частности, несколько уменьшенную по сравнению с обычным инструментом полную высоту профиля зуба h , а также впадину зубьев, также являющихся режущей частью реек.

Новая высота зубьев h определяется по формуле:

$$h = \frac{d_e + d_i}{2}, \quad (1)$$

где d_e – наружный диаметр шлицев, мм;

d_i – внутренний диаметр шлицев, мм.

Каждая следующая сменная зубчатая рейка смещена относительно предыдущей на величину ΔP_{x0} , которая определяется по формуле:

$$\Delta P_{x0} = \frac{P_{x0}}{Z_0}, \quad (2)$$

где P_{x0} – осевой шаг фрезы, мм;

Z_0 – количество продольных пазов.

На рисунке 4 изображено зацепление при формировании прямобочных шлицев детали типа тела вращения, происходящее на шлицефрезерной операции технологического процесса ремонта шлицев.

При помощи программы Ansys Mechanical были проведено имитационное моделирование [10] для определения напряженно-деформированного состояния при нагружении профиля зубьев сборной фрезы. Материал режущей части – Р6М5, материал заготовки – сталь 45. Геометрические размеры фрезы червячной сборной для нарезания шлицев приведены в таблице.

Значения напряжений и деформаций, возникающих в конструкции сборной фрезы для обработки шлицев, приведены на рисунках 5 и 6.

В результате однократного статического на-

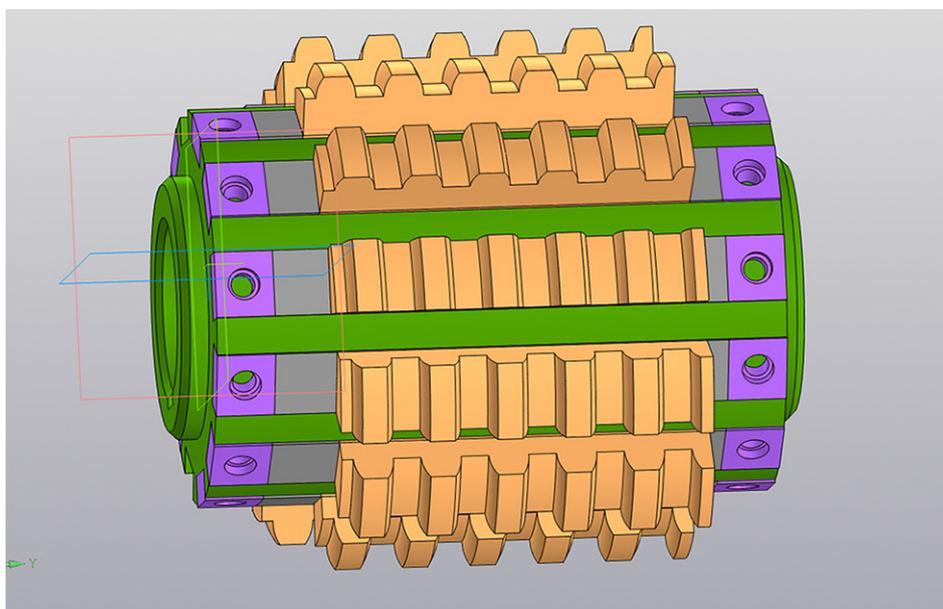
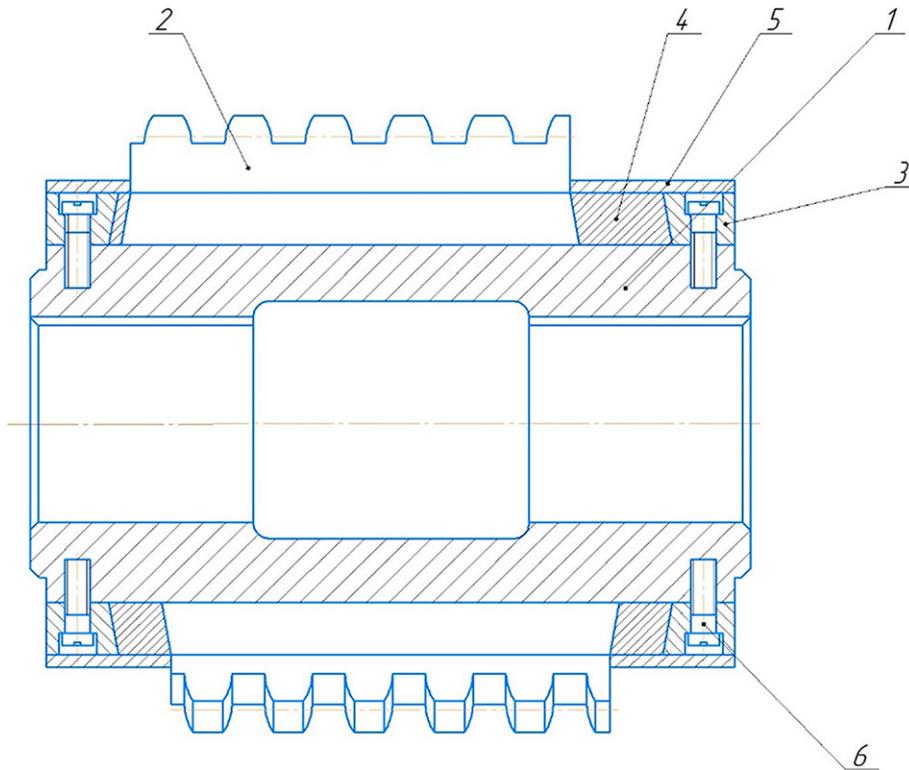


Рисунок 1 – Фреза червячная сборная для нарезания шлицев



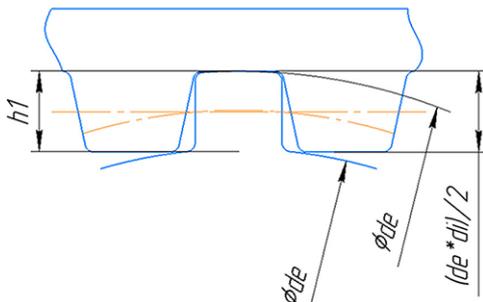
1 – корпус; 2 – зубчатые рейки; 3 – зажимные клинья; 4 – регулирующие пластины;
5 – предохранительное кольцо; 6 – закрепленные винты

Рисунок 2 – Общий вид фрезы



Рисунок 3 – Режущая рейка

Проекция оси фрезы на торцовую плоскость профилируемых шлицев в момент формирования наружного диаметра



$h1$ – высота шлицев, мм; $(de \cdot di) / 2$ – полная высота профиля зубьев фрезы, мм

Рисунок 4 – Зацепление при формировании прямобоочных шлицев

гружения максимальные напряжения в инструменте составляют 2 Па, а максимальные деформации составляют $2,8 \times 10^{-7}$ м за 1 с нагружения.

Из результатов компьютерного моделирования можно увидеть, что наибольшие деформации испытывают вершины зубьев, а наибольшие напряжения возникают в центре зубьев. В целом, деформации инструмента пренебрежительно малы. Во впадинах зубьев наблюдаются меньшие деформации и напряжения. Это доказывает не только возможность реального использования инструмента, но и правильность принятых технических решений.

Выводы:

1) В результате проведенных исследований существующих технологий обработки наплавленных поверхностей деталей типа тел вращения,

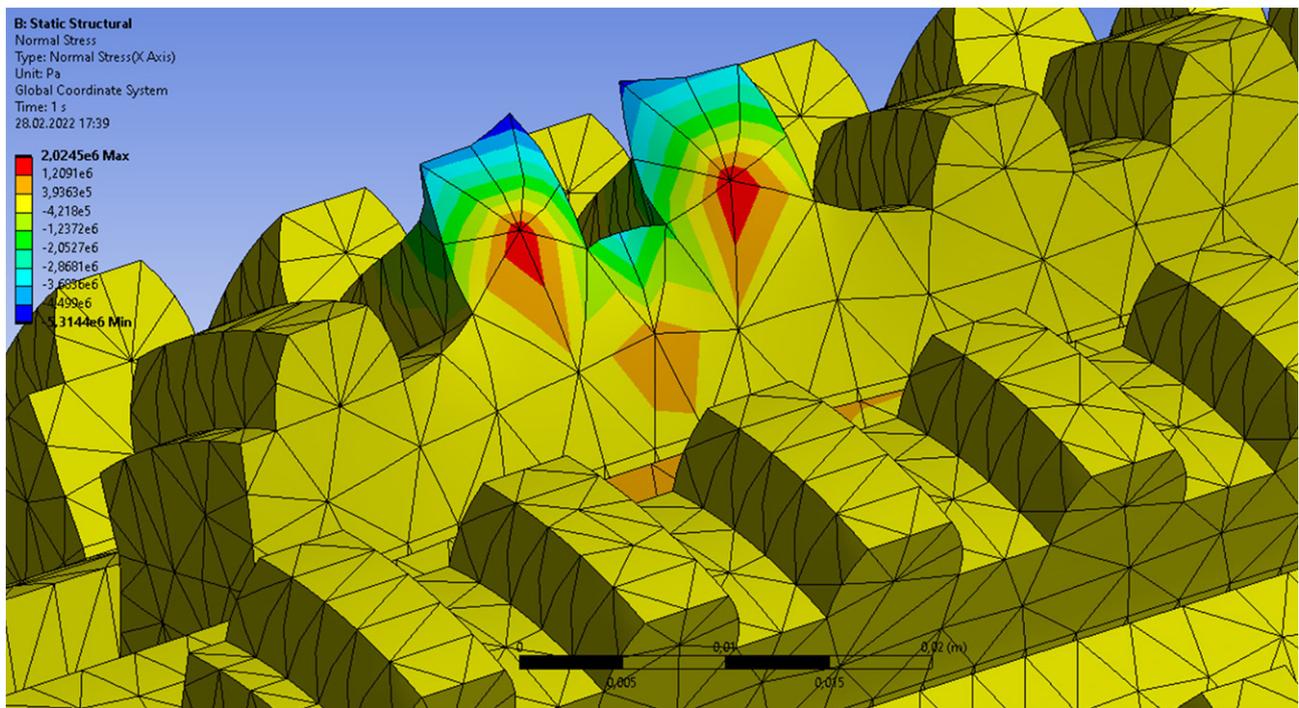


Рисунок 5 – Напряжения в инструменте

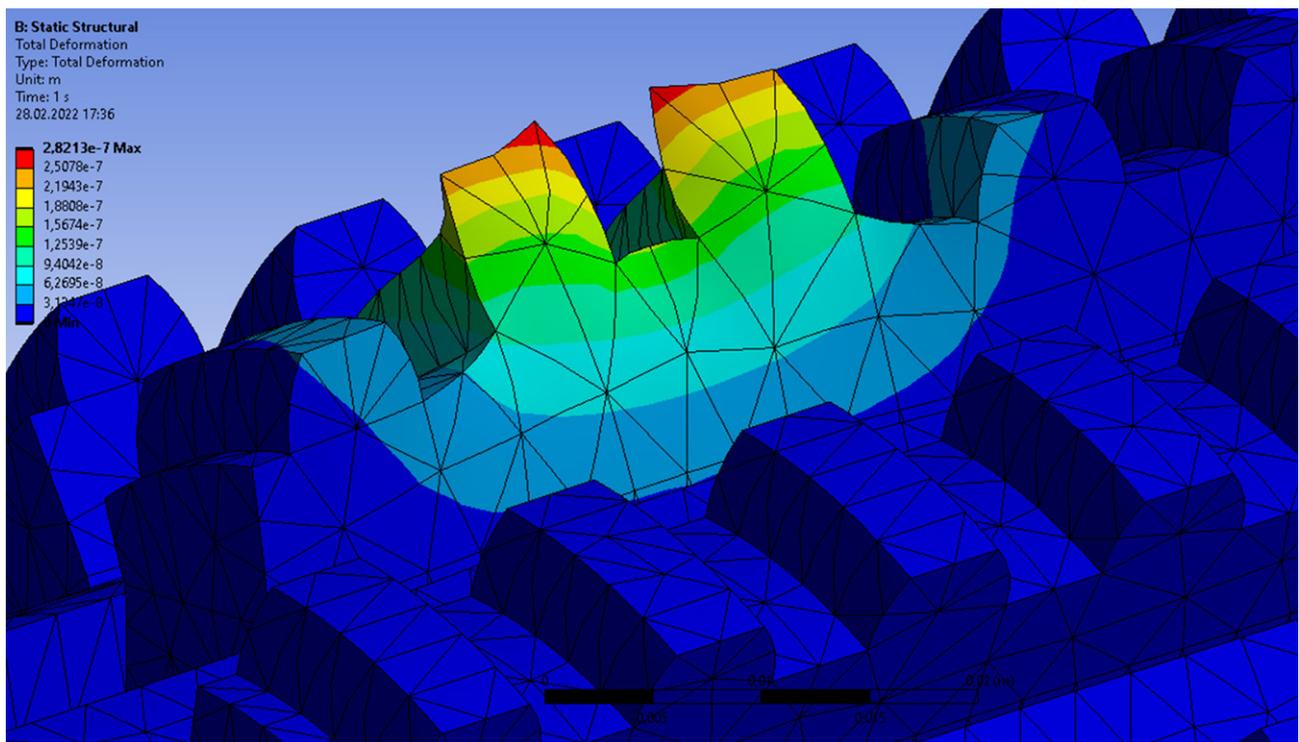


Рисунок 6 – Деформации в инструменте

выявлены недостатки существующего технологического процесса нарезания шлицев: большие затраты времени, необходимость наличия двух типов технологического оборудования: токарного и фрезерного, а также большие затраты на составляющие инструмента, таких как твердосплавные пластины;

2) Предложен новый технологический процесс обработки восстановленных шлицев, а именно: исключение из технологического процесса токарной операции, предназначенной для образования наружного диаметра шлицев;

3) Для механической обработки шлицев после восстановления предложена фреза червяч-

| Геометрические размеры фрезы | |
|-------------------------------|------------------------|
| Наименование параметра | Значение параметра, мм |
| Длина фрезы | 115 |
| Длина режущей части | 105 |
| Диаметр посадочного отверстия | 32 |
| Длина режущих реек | 70 |
| Ширина зубьев | 12,5 |
| Высота зуба | 5 |

ная сборная новой конструкции, с применением сменных зубчатых реек с новой геометрией режущей части. Фреза позволяет получить наружный диаметр, внутренний диаметр и боковые стороны шлицев за одну операцию.

4) Механическая обработка фрезой червячной сборной для нарезания шлицев позволяет существенно снизить затраты времени, финансов и инструмента при ремонте деталей типа тел вращения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Захаров Ю.А., Ремзин Е.В., Мусатов Г.А. Анализ основных дефектов и способов восстановления деталей автомобилей типа «вал» и «ось» // Молодой ученый. № 20 (79). 2014. – С. 138-140.
2. Ишмуратов Х.К. Определение величины износа шлицевых соединений агрегатов силовых передач // Universum: Технические науки: электрон. научн. журн., № 6 (63), 2019. URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/7478>
3. Коломийцев О.А. Восстановление шлицов валов пластическим деформированием // Материалы Международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития науки и образования в XXI веке». М., 2017. – С. 109-112.
4. Макаренко К.В., Забелин А.Л., Савинов Д.Н. Рациональный выбор способа восстановления деталей методом ручной дуговой наплавки износостойкого слоя // Вестник Брянского государственного технического университета. № 2 (75). 2019. – С. 12-15.
5. Nihon Kikai, Gakkai Ronbunshu A Hen/Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Part A, 73(725), 2007. – pp. 80-87.
6. Sándor Bodzás Manufacturing of the surfaces of spline fitting connection // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, volume 111, 2020. – pp. 909-920.
7. Расторгчев Г.А. Технологии обработки шлицевых поверхностей // Вестник машиностроения. № 8. 2012. – С. 57-63.
8. Восстановление деталей машин (Состояние и перспективы). – М.: ФГНУ «Росинформатротех», 2012. – 376 с.
9. Багдасаров Т.А. Технология токарных работ: учебник для студентов учреждений среднего профессионального образования. – М.: Академия, 2015. – 245 с.
10. Конохов А.В. Основы анализа конструкций в ANSYS / Казанский государственный университет. – Казань: ЛГУ, 2016. – 102 с.

Кілтөктерді оюға арналған бұрамдықты құрастырылған фрезаның конструкциясын әзірлеу

¹**ЖАРКЕВИЧ Ольга Михайловна**, т.ғ.к., профессор, zharkevich82@mail.ru,

¹**ЖУКОВА Алла Валентиновна**, аға оқытушы, alunya@mail.ru,

¹***НУРЖАНОВА Оксана Амангельдыевна**, докторант, nurzhanova_o@mail.ru,

¹**МУСАЕВ Медгат Муратович**, PhD, доцент м.а., kstu_mmm@mail.ru,

¹**ЛАПКИН Владислав Игоревич**, магистрант, lapkin86@gmail.com,

¹«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Қазақстан, Қарағанды, Н. Назарбаев даңғылы, 56,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Зерттеудің мақсаты – айналу денелері түріндегі бөлшектерді қалпына келтіру кезінде шлицаларды кесу үшін бұрама жонғыштың жаңа конструкциясын жасау. Пайдаланудан кейін айналу денелері сияқты бөлшектердің шлицті беттерінің бұзылуы анықталды. Қалпына келтіруден кейін шлицаларды қымбат өңдеудің себептері анықталды. Өзгертілген геометриялық параметрлері бар шлицаларды кесуге арналған бұрама жонғыш. Тістердің биіктігі шлицалардың сыртқы және ішкі диаметріне байланысты тәуелділік келтірілген. Кескіштің осьтік қадамына және бойлық ойықтардың санына байланысты кескіштің келесі рейкасына қатысты ауыстырылатын редуктордың қадамы анықталды. Шлицаларды кесуге арналған құрама бұрама жонғыштың кернеулі күйі анықталды.

Кілт сөздер: бұрама жонғыш, тісті рейка, айналу денелері түріндегі бөлшек, шлица, шлицефрезерлеу, кернеу, деформация, шпильді біліктерді қалпына келтіру, модельдеу, өңдеу, жою.

Development of the Design of the Prefabricated Worm Milling Cutter for Cutting Splines

¹**ZHARKEVICH Olga**, Cand. of Tech. Sci., Professor, zharkevich82@mail.ru,

¹**ZHUKOVA Alla**, Senior Lecturer, aluny@mail.ru,

^{1*}**NURZHANOVA Oxana**, doctoral student, nurzhanova_o@mail.ru,

¹**MUSSAYEV Medgat**, PhD, Acting Associate Professor, kstu_mmm@mail.ru,

¹**LAPKIN Vladislav**, master student, llapkin86@gmail.com,

¹NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University», Kazakhstan, Karaganda, N. Nazarbayev Avenue, 56,

*corresponding author.

Abstract. The aim of the study is to develop a new design of a worm cutter for cutting splines when restoring parts such as bodies of revolution. Destruction of splined surfaces of parts such as bodies of revolution after operation is established. The reasons for the expensive processing of splines after restoration are determined. The cutter worm team for cutting splines with modified geometric parameters is given. The dependence of the height of the teeth on the outer and inner diameters of the splines is given. The pitch of the replaceable gear rack relative to the next rack of the cutter is determined depending on the axial pitch of the cutter, mm, and the number of longitudinal grooves. The stress-strain state of the cutter worm team for cutting splines is determined.

Keywords: worm cutter, gear rack, parts such as bodies of revolution, splines, spline milling, stresses, and deformations, restoration, simulation, machining, destruction of splined shafts.

REFERENCES

1. Zaharov Ju. A., Remzin E.V., Musatov G.A. Analiz osnovnyh defektov i sposobov vosstanovleniya detalej avtomobilej tipa «val» i «os» // Molodoj uchenyj. No. 20 (79). 2014. – pp. 138-140.
2. Ishmuratov H.K. Opredelenie velichiny iznosa shlicevyh soedinenij agregatov silovyh peredach // Universum: Tehnicheskie nauki: jelektron. nauchn. zhurn., no. 6(63), 2019. URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/7478>
3. Kolomijcev O.A. Vosstanovlenie shlicov valov plasticheskim deformirovaniem // Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Problemy i perspektivy razvitija nauki i obrazovanija v HHI veke». Moscow, 2017. – pp. 109-112.
4. Nihon Kikai, Gakkai Ronbunshu A Hen/Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers. Part A, 73 (725). 2007. – pp. 80-87.
5. Makarenko K.V., Zabelin A.L., Savinov D.N. Racional'nyj vybor sposoba vosstanovleniya detalej metodom ruchnoj dugovoj naplavki iznosostojkogo sloja // Vestnik Brjanskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta, no. 2 (75), 2019. – pp. 12-15.
6. Sándor Bodzás Manufacturing of the surfaces of spline fitting connection // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, volume 111, 2020. – pp. 909-920.
7. Rastorguev G.A. Tehnologii obrabotki shlicevyh poverhnostej // Vestnik mashinostroenija. No. 8. 2012. – pp. 57-63.
8. Vosstanovlenie detalej mashin (Sostojanie i perspektivy). – Moscow: FGUN «Rosinformagroteh», 2012. – 376 p.
9. Bagdasarov T.A. Tehnologija tokarnyh robot: uchebnik dlja studentov uchrezhdenij srednego professional'nogo obrazovanija. – Moscow: Akademija, 2015. – 245 p.
10. Konjuhov A.V. Osnovy analiza konstrukcij v ANSYS / Kazanskij gosudarstvennyj universitet. – Kazan': LGU, 2016. – 102 p.