

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ВАЛ-ШЕСТЕРНИ ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ В ЕЕ КОНСТРУКЦИЮ КЛЕЕВОГО СОЕДИНЕНИЯ

Д.А. Панчехин

dmitry_pan9600@mail.ru

SPIN-код: 5716-9129

М.Э. Захарова

vin.m@bmstu.ru

SPIN-код: 7992-7660

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Рассмотрен процесс отработки на технологичность конструкции ведущей вал-шестерни, включенной в состав коробки передач мотоблока, путем применения клеевого состава. Данная инновация сокращает маршрутный технологический процесс обработки такой детали, при этом превращая ее в сборочную единицу. Выполнена экономическая оценка эффективности принятого решения, а также оценка трудоемкости реализации данного метода. Проведен расчет необходимой прочности клеевого соединения, достаточной для выполнения служебного назначения узла и изделия в целом. Проанализированы рекомендуемые для рассмотренного типа соединения клеевые составы зарубежных и отечественных производителей. Предложена блок-схема, отражающая алгоритм методики выбора клеевого состава. На основании проведенных расчетов и анализа продукции выбран наилучший для рассмотренного случая клеевой состав.

Ключевые слова

Вал-шестерня, клеевое соединение, клеевой состав, прочность на сдвиг, время отверждения, последовательность сборки, прочность соединения, трудоемкость сборочных работ

Поступила в редакцию 15.01.2019

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020

Введение. Клеевые соединения находят все большее распространение в машиностроении. Они имеют неоспоримые преимущества: возможность соединения самых разнообразных материалов и материалов, которые нельзя соединить другими способами; равномерно распределяются напряжения по площади соединения; клеи обладают атмосферостойкостью, способностью противостоять коррозии, способны гасить вибрации и шум. Также клеи позволяют повысить прочность конструкций, обеспечить герметичность клеевого соединения под воздействием давления, сократить количество операций, тем самым снизив затраты на оборудование и время изготовления изделия. Широкая номенклатура клеевых материалов позволяет применять их во многих технологических процессах и обеспечивать требования, предъявляемые к готовым изделиям [1]. Благодаря такому большому количеству преимуществ клеевые соединения активно применяются в машиностроении и в ряде случаев служат заменой заклепочных, шпоночных, резьбовых и соединений с

натягом. В данной работе рассмотрено использование клеевого соединения для повышения технологичности изготовления конструкции детали. В ходе работы рассмотрен вариант приклеивания зубчатых венцов непосредственно на деталь вместо получения этих венцов механической обработкой.

Описание конструкции детали. Ведущая вал-шестерня (рис. 1) входит в устройство мотоблока НМБ-90. Мотоблок используется для выполнения различных видов сельскохозяйственных работ на участках, садах и т. п. Ведущая вал-шестерня входит в состав коробки передач мотоблока и служит для изменения передаточного отношения от двигателя к колесам мотоблока. Она воспринимает крутящий момент от электродвигателя через зубчатое колесо, закрепленное на вале шлицами, и передает момент ведомому валу с помощью зубчатых венцов и зубчатых колес, находящихся на валу. Смена передаточного отношения осуществляется в результате перемещения шестерни на ведомом валу вдоль оси ведомого вала, вывода из зацепления с шестерней ведущего вала и зацепления с другой шестерней.

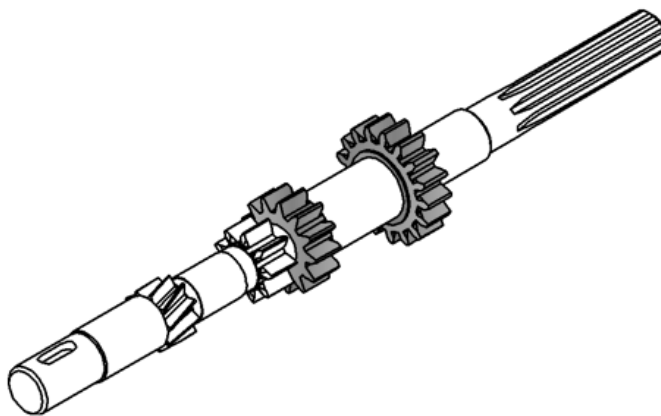


Рис. 1. Общий вид ведущей вал-шестерни

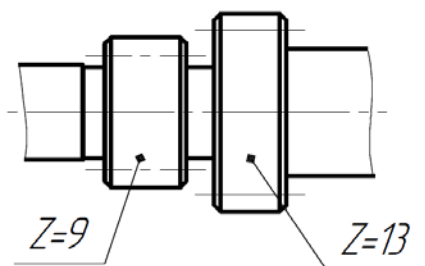


Рис. 2. Труднообрабатываемые венцы зубчатых колес

Обоснование целесообразности замены механической обработки клеевым соединением. При анализе на технологичность [2] было выявлено, что при нарезании зубьев отсутствует свободный подход и выход режущего инструмента. Сложность представляет также обработка венцов с 9 и 13 зубьями (рис. 2), поскольку нет свободного выхода червячной фрезы, а использование долбяка для

нарезания зубьев может привести к разрушению зубьев соседнего венца.

Основанием для использования клеевого соединения являются следующие его возможности [3]: а) упрощение и повышение технологичности конструкции, б) легкость монтажа и демонтажа в случае ремонта, в) снижение КИМ при проектировании заготовки, г) снижение квалификации рабочих, д) уменьшение количества оборудования.

Маршрутный технологический процесс представлен в таблице ниже.

Маршрутный технологический процесс

Последовательность обработки без инновации		Последовательность обработки с инновацией	
Операция	Оборудование	Операция	Оборудование
Штамповочная	Штамп	Штамповочная	Штамп
Термическая	Печь	Термическая	Печь
Контроль	Контрольный стол	Контроль	Контрольный стол
Фрезерно-центровальная	Фрезерно-центровальный станок мод. МР-71	Фрезерно-центровальная	Фрезерно-центровальный станок мод. МР-71
Токарная с ЧПУ	Токарный станок с ЧПУ мод. SPT-32 NC	Токарная с ЧПУ	Токарный станок с ЧПУ мод. SPT-32 NC
Токарная с ЧПУ	Токарный станок с ЧПУ мод. SPT-32 NC	—	—
Круглошлифовальная с ЧПУ	Круглошлифовальный станок с ЧПУ мод. RSM 1500 B CNC	Круглошлифовальная с ЧПУ	Круглошлифовальный станок с ЧПУ мод. RSM 1500 B CNC
Зубофрезерная	Зубофрезерный станок мод. Pfauter P-160h	Зубофрезерная	Зубофрезерный станок мод. Pfauter P-160h
Зубофрезерная	Зубофрезерный станок мод. Pfauter P-160h	Зуболбежная	Зубодолбежный станок с ЧПУ мод. 5B150
Зуболбежная	Зубодолбежный станок с ЧПУ мод. 5B150	Зубофрезерная	Зубофрезерный станок мод. Pfauter P-160h
Зубофрезерная	Зубофрезерный станок мод. Pfauter P-160h	Зубофрезерная	Зубофрезерный станок мод. Pfauter P-160h
Зубофрезерная	Зубофрезерный станок мод. Pfauter P-160h	Слесарная	Слесарный верстак
Слесарная	Слесарный верстак	Сборочная (склеивание)	Сборочный стол
Зубошлифовальная	Зубошлифовальный станок мод. 5B833	Центрошлифовальная	Центрошлифовальный станок мод. Jainnher JHG-1510
Слесарная	Слесарный верстак	Круглошлифовальная	Круглошлифовальный станок с ЧПУ мод. RSM 1500 B CNC
Контроль	Контрольный стол	Контроль	Контрольный стол
Центрошлифовальная	Центрошлифовальный станок мод. Jainnher JHG-1510	—	—
Круглошлифовальная	Круглошлифовальный станок с ЧПУ мод. RSM 1500 B CNC	—	—
Контроль	Контрольный стол	—	—
$T_{шт} = 86,25$ мин		$T_{шт} = 68,93$ мин	

Расчет штучного времени осуществлялся в соответствии с [4, 5].

Принимая во внимание вышеуказанные данные, можно сделать вывод о том, что в целях повышения технологичности изготовления детали стоит рассмотреть вариант использования клеевого соединения взамен механической обработки.

Методика подбора клеевого состава. Для того чтобы выбрать клеевой состав, необходимо составить список критериев исходя из условий производства и работы рассматриваемой вала-шестерни ведущей [6]. Для рассматриваемого соединения необходимо, чтобы клеевой состав: а) обеспечивал требуемую прочность соединения; б) обладал наименьшим временем отверждения; в) обеспечивал необходимую температурную стойкость; г) обладал наименьшей стоимостью.

Для выбора клея составим алгоритм методики выбора в виде блок-схемы, представленной на рис. 3.

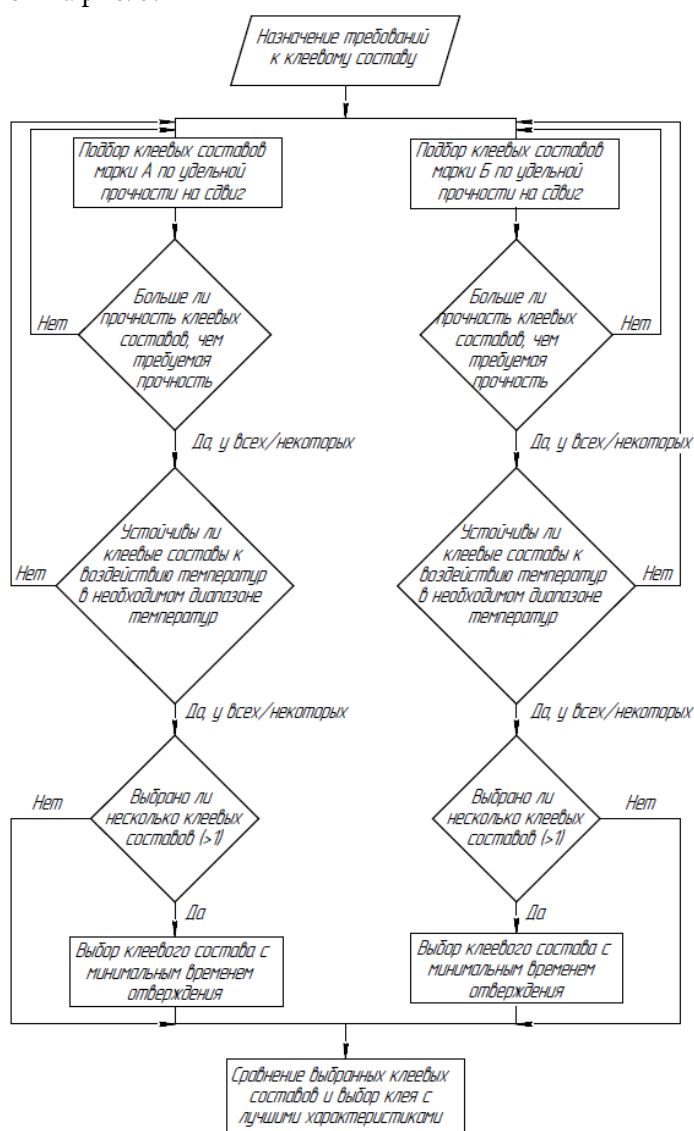


Рис. 3. Алгоритм методики выбора клеевого состава

Расчет требуемой прочности, обеспечиваемой клеевым соединением. Для выбора клеевого состава требуется определить необходимую прочность клеевого соединения, в данном случае на сдвиг [1]. Расчет проведем исходя из максимального передаваемого вращательного момента на шестерне 1 ($z = 13$, $M = 40 \text{ Н} \cdot \text{м}$) и шестерне 2 ($z = 17$, $M = 45 \text{ Н} \cdot \text{м}$).

Расчетная схема данного соединения, показывающая направление нагрузок, приведена на рис. 4.

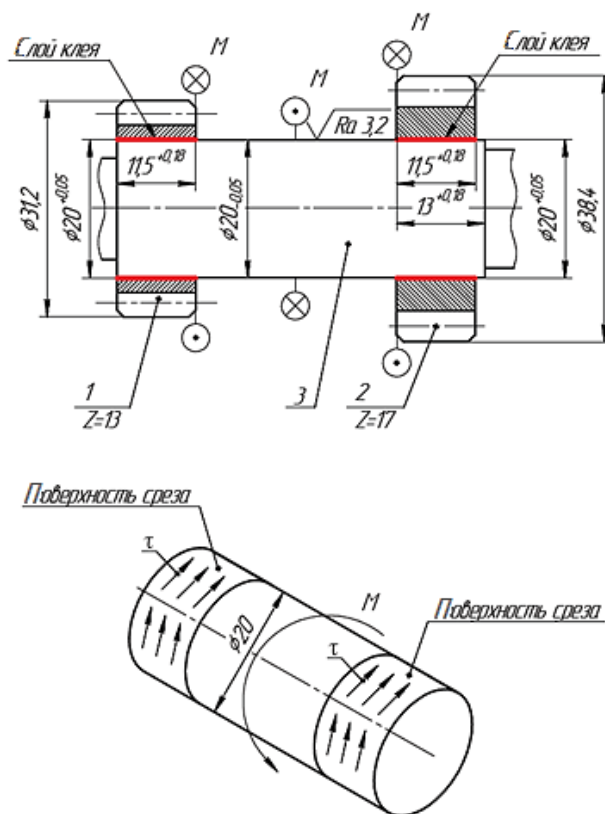


Рис. 4. Расчетная схема соединения

Рассчитаем максимальный крутящий момент (M , $\text{Н} \cdot \text{м}$) [1]:

$$M = \frac{\pi d^2 l_{B2} f_c}{2000},$$

где $d = 20 \text{ мм}$ — диаметр соединения; $l = 11,5 \text{ мм}$ — длина соединения; τ_{B2} — статическая прочность клея на сдвиг, МПа; f_c — произведение поправочных коэффициентов f_1, \dots, f_4 .

Выразив статическую прочность клея на сдвиг, получим:

$$\tau_{B2} = \frac{M \cdot 2000}{\pi d^2 l f_c}.$$

Определим коэффициенты f_1, \dots, f_4 :

- коэффициент типа материала $f_1 = 1$ (для соединения стальных деталей);
- коэффициент типа сборки $f_2 = 1$ (для сборки с зазором);
- коэффициент зазора $f_3 = 0,85$ (для зазора не более 0,15 мм);
- коэффициент геометрии соединения $f_4 = 0,7$ (для $d = 20$ мм, $l = 11,5$ мм).

Подставив вышеперечисленные значения в формулу, получим минимально необходимую прочность клея на сдвиг:

Для шестерни 1 с диаметром 31,2 мм и $z = 13$:

$$\tau_{B2} = \frac{40 \cdot 2000}{\pi \cdot 20^2 \cdot 11,5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,85 \cdot 0,7} = 9,3 \text{ Н/мм}^2.$$

Для шестерни 2 с диаметром 38,4 мм и $z = 17$:

$$\tau_{B2} = \frac{45 \cdot 2000}{\pi \cdot 20^2 \cdot 11,5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,85 \cdot 0,7} = 10,47 \text{ Н/мм}^2.$$

Подбор клеевого состава. Для выбора клеевой продукции рассмотрим клеевые составы импортной фирмы Loctite и отечественного НИИ полимеров.

Воспользуемся сайтом торговой марки Loctite. Для фиксации цилиндрических поверхностей производитель рекомендует применять однокомпонентные акриловые составы с анаэробным типом отверждения, применяемые для соединения стальных деталей типа вал-втулка [7]. Рекомендуемый зазор у данных составов лежит в диапазоне 0,10...0,15 мм, а рабочая температура работы ограничивается значением +75 °С. Для обеспечения наиболее высокой прочности соединения выбираем наименьший рекомендуемый зазор, равный 0,1 мм.

Основной сравниваемой характеристикой данных клеев является удельная прочность на сдвиг после полного отверждения состава. Так, для Loctite 603 она составляет 22,5 Н/мм², Loctite 620 — 17,2 Н/мм², Loctite 648 — 31,0 Н/мм², Loctite. Требуемая удельная прочность равна 10,47 Н/мм². На основе анализа представленных данных можно отметить, что каждый из рекомендованных производителем составов обеспечивает требуемую прочность соединения, причем с запасом.

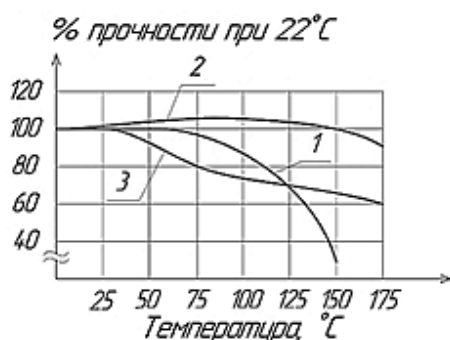


Рис. 5. Зависимость прочности соединения от температуры:

1 — Loctite 603; 2 — Loctite 620; 3 — Loctite 648

Сравним выбранные клеевые составы по температурному критерию, сравним для этого прочностные характеристики под ее влиянием (рис. 5) [8].

На рис. 5 видно, как изменяется прочность составов с повышением температуры. В диапазоне повышенных температур (до +75 °С) прочность клеев составила:

- 1) Loctite 603 — 96 % первоначальной: $21,6 \text{ Н/мм}^2 > 10,47 \text{ Н/мм}^2$, следовательно, выполняется условие отсутствия сдвига;

2) Loctite 620 — 106 % первоначальной: $18,232 \text{ Н/мм}^2 > 10,47 \text{ Н/мм}^2$, следовательно, выполняется условие отсутствия сдвига;

3) Loctite 648 — 80 % первоначальной: $24,8 \text{ Н/мм}^2 > 10,47 \text{ Н/мм}^2$, следовательно, выполняется условие отсутствия сдвига.

Таким образом, клеевые составы удовлетворяют условию по устойчивости к температурному воздействию в диапазоне рабочих температур.

Оценка влияния выбранного состава

на время сборки соединения. Поскольку изделие производится в условиях среднесерийного производства, актуален и вопрос производительности. Поэтому оценим скорость отверждения клеевых составов. На рис. 6 показаны зависимости, отражающие зависимость приобретаемой прочности состава в зависимости от времени отверждения при температуре $+22 \text{ }^\circ\text{C}$ [8].

На рис. 6 видно, что время отверждения до полного набора прочностных характеристик для клеевого состава Loctite 603 достигло 6 ч, Loctite 620 — 24 ч, Loctite 648 — 168 ч.

Таким образом, следует отдать предпочтение клеевому составу Loctite 603, поскольку его время отверждения минимально из рассматриваемых клеевых составов, а время до «ручного отверждения»* данного клея не превышает 1 ч.

Расчет затрат при использовании выбранного клеевого состава. Рассчитаем объем клея, необходимого для сборки одного изделия — вал-шестерни.

Объем состава, необходимого для установки одной шестерни, составит

$$V_1 = Sl = 6,3 \cdot 11,5 = 72,45 \text{ мм}^3 = 0,073 \text{ мл},$$

где $S = \pi/4(D^2 - d^2) = \pi/4(20,2^2 - 20^2) = 6,3 \text{ мм}^2$ — площадь поперечного сечения нанесенного клея; $l = 11,5 \text{ мм}$ — длина клеевого соединения.

Соответственно, объем клея для приклеивания двух шестерен составит 0,146 мл.

Объем клея, необходимый для склеивания всей партии деталей, составит

$$V_3 = V_2 N = 0,146 \cdot 1500 = 219 \text{ мл},$$

где $N = 1500$ шт — годовая программа выпуска данных деталей.



Рис. 5. Зависимость прочности соединения от времени отверждения клеевого состава:

1 — Loctite 603; 2 — Loctite 620; 3 — Loctite 648

* То есть до того момента, когда клеевое соединение не получится разъединить вручную, с помощью человеческой силы.

Поскольку данный клеевой состав выпускается в емкостях по 10, 50 и 250 мл, нам будет достаточно 1 емкости на 250 мл. Стоимость такого объема 11 498 руб.

Подбор клеевого состава отечественного производителя. Сравним необходимые для работы соединения характеристики у отечественных составов производителя «НИИ полимеров». Исходя анализа из каталога продукции [9], для склеивания вала с шестернями можно использовать следующие продукты: 1) АНАТЕРМ-111 — анаэробный акриловый клей высокой прочности (удельная прочность не менее 20 Н/мм²); 2) АНАТЕРМ-105 — высокопрочный акриловый клей (удельная прочность 20...30 Н/мм²). Сравнив прочности клеевых составов с требуемым значением 10,47 Н/мм², сделаем вывод, что оба клеевых состава удовлетворяет требованиям по прочности.

Сравним показатели рабочих температур данных составов: АНАТЕРМ-105 и АНАТЕРМ-111 имеют одинаковый диапазон рабочих температур -60...+150 °С

Сравнив эти диапазоны с требуемым (до +75 °С), можно сказать, что диапазоны рассматриваемых клеевых составов АНАТЕРМ одинаковы и гораздо шире требуемого, что дает большой запас по термостойкости.

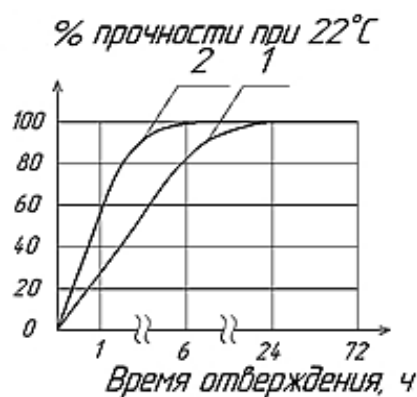


Рис. 7. Зависимость прочности от времени отверждения клеевого состава:

1 — АНАТЕРМ-105; 2 — АНАТЕРМ-111

Рассмотрим зависимость прочности соединения при температуре в зоне сборки +22 °С от времени отверждения клеевого состава (рис. 7). [10].

Исходя из графиков видно, что время до полного набора прочностных характеристик у клеев составило: 24 ч для клея АНАТЕРМ-105 и 8 ч для клея АНАТЕРМ-111. Среди предложенных производителем клеев следует отдать предпочтение клеевому составу АНАТЕРМ-105.

Рассчитаем стоимость данного состава для партии выпускаемых изделий.

Объем клея, необходимого для сборки всей партии деталей, составляет $V_3 = 219$ мл. Данный клеевой состав вы-

пускается в емкостях по 200 мл, поэтому потребуется две емкости по 200 мл. Стоимость такого объема составит 16 160 руб. [9].

Окончательный выбор клеевого состава. Сведем требуемые для окончательного выбора клеевого состава характеристики в табл. 2.

Таблица 2

Сравнительная характеристика выбранных составов

Требуемая характеристика	Loctite 603	АНАТЕРМ - 111
Прочность клеевого состава, Н/мм ²	21,6	20
Время полного отверждения, ч	6	8
Время до «ручного отверждения», мин	25	45
Стоимость требуемого объема состава, руб.	11 498	16 160

По результатам анализа для замены механической обработки на клеевое соединение целесообразнее применить клеевой состав Loctite 603.

Выводы. Исходя из результатов, полученных в работе, можно сделать следующие выводы.

1. Замена механической обработки клеевым соединением повышает технологичность изготовления ведущей вал-шестерни.

2. Выбранный клеевой состав обеспечивает нужную прочность соединения при работе в заданных условиях.

3. Использование клеевых составов относится к «зеленым технологиям», что увеличивает возможность их выбора при дальнейшем развитии машиностроения.

Литература

- [1] Винокурова М.Э., Коновалов Д.П. Замена посадки с натягом клеевым соединением в технологическом процессе сборки редуктора. *Главный механик*, 2018, № 12, с. 40–46.
- [2] Кондаков А.И. Курсовое проектирование по технологии машиностроения. М., Кнорус, 2012.
- [3] Игнатов А.В., Винокурова М.Э. Исследование технологического способа повышения качества сборки регулируемых цилиндрических клеевых соединений. *Наука и образование: научное издание*, 2017, № 6. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30585838&>
- [4] Мельников Г.Н., Вороненко В.П.. Проектирование механосборочных цехов. М., Машиностроение, 1990.
- [5] Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных многоцелевых станках с числовым программным управлением. Ч. 1. Нормативы времени. М., Экономика, 1990.
- [6] Винокурова М.Э. Сборка регулируемых цилиндрических клеевых соединений. Дисс. ... канд. техн. наук. М., МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017.
- [7] Игнатов А.В., Винокурова М.Э. Способ соединения деталей склеиванием. Патент РФ 2652487. Заявл. 18.05.2017, опубл. 26.04.2018.
- [8] Barbeau W.H., Cocco J., Cowdrey S, et al. Loctite. Worldwide design handbook. Munich, Loctite European Group, 1998.
- [9] Сайт ФГУП «НИИ полимеров». URL: <http://www.nicp.ru> (дата обращения: 15.09.2019).

Панчехин Дмитрий Александрович — студент кафедры «Технологии машиностроения», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Захарова Маргарита Эдуардовна — кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии машиностроения», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Панчехин Д.А., Захарова М.Э. Усовершенствование технологического процесса обработки вал-шестерни путем внедрения в ее конструкцию клеевого соединения. *Политехнический молодежный журнал*, 2020, № 02(43). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2020-02-576>

**IMPROVEMENT OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS
OF PINION SHAFT PRODUCTION BY IMPLEMENTATION
OF THE ADHESIVE COMPOUND IN ITS DESIGN**

D.A. Panchekhin

dmitry_pan9600@mail.ru

SPIN-code: 5716-9129

M.E. Zakharova

vin.m@bmstu.ru

SPIN-code: 7992-7660

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The process is considered of testing the adaptability of the design of the drive pinion shaft included in the gearbox of the rototiller by applying an adhesive composition. This innovation shortens the routing process for processing such a part, while turning it into an assembly unit. An economic assessment of the effectiveness of the decision was made, as well as an assessment of the complexity of the implementation of this method. The calculation is presented of the necessary strength of the adhesive joint, sufficient for the performance of the service unit and the product as a whole. The adhesive compositions of foreign and domestic manufacturers recommended for the type of compound considered are analyzed. A block diagram is proposed that reflects the algorithm of the technique for choosing the adhesive composition. Based on the calculations and analysis of the products, the best adhesive composition for the case considered was selected.

Keywords

Pinion shaft, adhesive joint, adhesive composition, shear strength, curing time, assembly sequence, joint strength, laboriousness of assembly work

Received 15.01.2019

© Bauman Moscow State Technical
University, 2020

References

- [1] Vinokurova M.E., Konovalov D.P. Replacing the interference fit with the adhesive joint in the process of gearbox assembly. *Glavnyy mekhanik* [Chief mechanic engineer], 2018, no. 12, pp. 40–46 (in Russ.).
- [2] Kondakov A.I. *Kursovoe proektirovanie po tekhnologii mashinostroeniya* [Course engineering on machine building technology]. Moscow, Knorus Publ., 2012 (in Russ.).
- [3] Ignatov A.V., Vinokurova M.E. *Sposob soedineniya detaley skleivaniem* [Bonding of parts]. Patent RF 2652487. Appl. 18.05.2017, publ. 26.04.2018 (in Russ.).
- [4] Mel'nikov G.N., Voronenko V.P. *Proektirovanie mekhanosborochnykh tsekhov* [Designing of machine-assembly departments]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1990 (in Russ.).
- [5] *Obshchemashinostroitel'nye normativy vremeni i rezhimov rezaniya dlya normirovaniya rabot, vypolnyaemykh na universal'nykh mnogotselevykh stankakh s chislovyim programmym upravleniem. Ch. 1. Normativy vremeni* [General norms in machine engineering of time and cutting regimes for standardization of work, carried out at universal machining centers with numerical program control. P. 1. Standard times]. Moscow, Ekonomika Publ., 1990 (in Russ.).

- [6] Vinokurova M.E. Sborka reguliruemyykh tsilindricheskikh kleevykh soedineniy. Diss. ... kand. tekhn. nauk [Assembling of regulated cylindrical bonded joint. Kand. tech. sci. diss.]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2017 (in Russ.).
- [7] Ignatov A.V., Vinokurova M.E. Sposob soedineniya detaley skleivaniem [Bonding of parts]. Patent RF 2652487. Appl. 18.05.2017, publ. 26.04.2018 (in Russ.).
- [8] Ignatov A.V., Vinokurova M.E. Research of the processing method to improve joining quality of adjustable cylindrical adhesive joints. *Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie* [Science and Education: Scientific Publication], 2017, no. 6. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30585838&> (in Russ.).
- [9] Website of FGUP "NII polimerov" (in Russ.). URL: <http://www.nicp.ru> (accessed: 15.09.2019).

Panchekhin D.A. — Student, Department of Engineering Technologies, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Zakharova M.E. — Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Engineering Technologies, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Please cite this article in English as:

Panchekhin D.A., Zakharova M.E. Improvement of the technological process of pinion shaft production by implementation of the adhesive compound in its design. *Politekhnichestkiy molodezhnyy zhurnal* [Politechnical student journal], 2020, no. 02(43). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2020-02-576.html> (in Russ.).