

УДК 621.753.4, 621.7.077, 621.83

DOI: 10.12737/article\_59b11cb86cfa41.94680975

Н.Д. Феофилов, Е.С. Янов, А.С. Ямников

## ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ОБРАЗЦОВ ВО ВРЕМЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Рассмотрены вопросы, связанные с конструктивными особенностями различных разработанных и изготовленных приспособлений для крепления экспериментальных образцов на зубофрезерных станках во время силовых и стойкостных исследований. Рассмотрены способы установки и

крепления как экспериментальных образцов, так и приспособлений.

**Ключевые слова:** эксперимент, сборная червячная фреза, зубчатая рейка, приспособление, конструкция, образец.

N.D. Feofilov, E.S. Yanov, A.S. Yamnikov

## DEVICES FOR SAMPLE FASTENING DURING EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS

The paper reports the consideration of problems connected with design peculiarities of devices for sample fastening on gear-milling machines during the investigation fulfillment of a gear milling process of cylindrical wheels with combined hob milling cutters. The essence of the problem is reduced to that the fulfillment of investigations directed to the definition of a hob durability term and also of the modes and a force of cutting upon real large cog-wheels is not always possible as on domestic engineering enterprises they are manufactured mostly with small-lot or limited production and their price is high. Therefore, it is offered

to substitute expensive and long experiments for experiments with special samples. In the paper there are described designs and circuits of the installation of the devices developed for such samples. In conclusion there are shown test results and is made a conclusion of that the use of the devices offered allowed defining and correcting tool parameters, cutting modes, defining a tool durability period at the stage of technological pre-production of manufacturing large cog-wheels made of hardened steel.

**Key words:** experiment, combined hob milling cutter, toothed rack, device, design, sample.

### Введение

В различных отраслях машиностроения используется большое количество деталей, имеющих повторяющийся с постоянным шагом зубчатый профиль, а именно: зубчатые и храповые колеса, шлицевые валы, звездочки цепных передач и другие. Поэтому на кафедре технологии машиностроения ТулГУ на протяжении многих лет ведутся исследования, направленные на совершенствование технологии зубообработки, в рамках научной школы, основанной И.А. Когановым [1-7].

Проведение силовых исследований и исследований, направленных на определение периода стойкости или ресурса инструмента, например червячных фрез, а также режимов и силы резания, на натуральных крупногабаритных зубчатых колесах не всегда представляется возможным, так как на отечественных машиностроительных предприятиях они в большинстве своем изготавливаются мелкосерийно или единично и их стоимость высока [8].

### Методика эксперимента

Исследования, основанные на программах, использующих МКЭ, не всегда с требуемой точностью отражают реальные процессы и их развитие, если не имеют под собой исходных данных, полученных при проведении натуральных экспериментов. Поэтому для решения вопросов, связанных с экспериментами на крупногабаритных

колесах, в качестве экспериментальных образцов предложено использовать фрагменты сталей, из которых изготавливаются колеса, или сталей, близких по твердости и физико-химическим свойствам.

Ширина экспериментальных образцов может варьироваться в зависимости от типа исследования. Например, для измере-

ния сил резания можно использовать как образцы шириной, равной величине осевого шага инструмента (с учетом радиусов округления фрезы), так и образцы, ширина которых равна длине активной линии зацепления, однако общие принципы их крепления остаются неизменными.

Для одного из вариантов крепления образцов разработано и изготовлено при-

способление из стали 40Х (ГОСТ 1050-74), закаленной до 42 - 46 HRC, которое состоит из трех основных элементов: двух брусков с пазами и П-образной стойки с отверстием для крепления оправки токосъемного узла, предназначенного для передачи сигнала от динамометра к регистрирующей и анализирующей аппаратуре (рис. 1) [9].

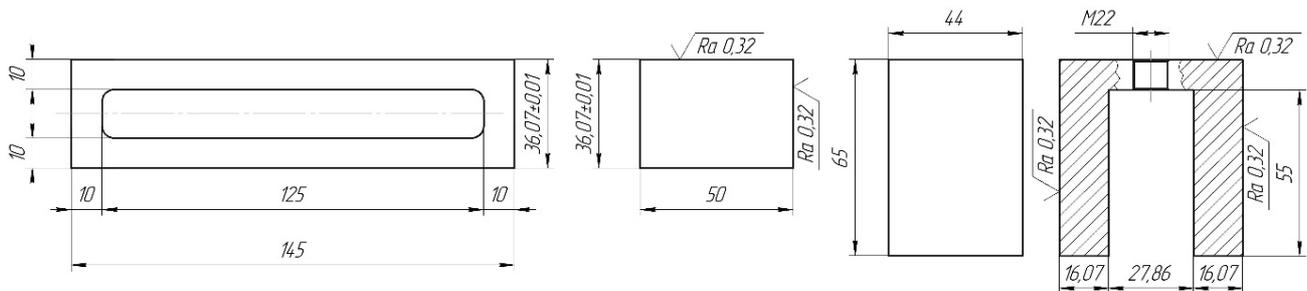


Рис. 1. Конструкция составных частей приспособления

Бруски выполнены шириной, позволяющей разместить между ними экспериментальный образец 4 с минимальным зазором (для регулирования вылета образца), и установлены на фрезерный столик 6 универсального динамометра УДМ 1200 7,

зафиксированного на столе зубофрезерного станка 5К32А 5. В пазы брусков вставлена П-образная стойка, выполняющая роль вертикального упора, с ввинченной в нее оправкой токосъемника 2 (рис. 2).

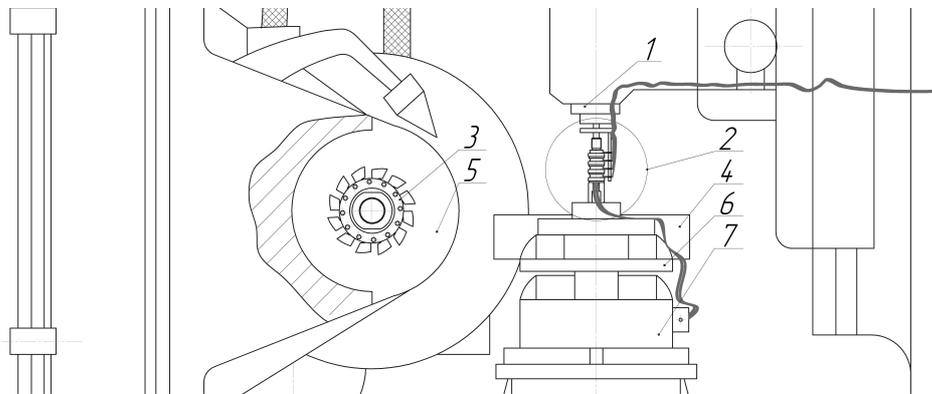


Рис. 2. Эскиз приспособления для закрепления образцов, имитирующих одну впадину зубчатого колеса

Экспериментальный образец базируется на фрезерном столике динамометра УДМ 1200 и по боковым поверхностям брусков, а затем прижимается контрподдержкой через П-образную стойку и винтами по бокам. Базовой поверхностью является торец фрезерного столика. От него измеряется величина вылета заготовки, которая с учетом половины ширины фрезерного столика соответствует радиусу имитируемого зубчатого колеса.

Динамометр УДМ 1200 установлен на столе станка с погрешностью радиаль-

ного биения, не превышающей 0,02 мм.

Перед началом опыта пластина выдвигается на расстояние от торца фрезерного столика динамометра, имитирующее зубчатое колесо требуемого диаметра.

Во время опыта однозаходный червяк червячной фрезы 3 при вращении последовательно контактирует со всеми зубьями колеса. Поэтому каждая впадина обрабатывается всеми зубьями однозаходной фрезы, расположенными на длине активной части ее линии зацепления. При вращении фрезы каждая режущая кромка

описывает кольцевую траекторию, при этом траектории отдельных зубьев смещены вдоль оси фрезы соответственно винтовому расположению зубьев. Режущие зубья при обработке располагаются во впадине колеса по касательным к его теоретическому профилю. Точки касания соответствуют точкам линии профилирования.

Количество режущих кромок с каждой стороны на один виток равно количеству зубьев фрезы по окружности. Число резов увеличивается с повышением числа зубьев колеса, уменьшением угла профиля фрезы и уменьшается с увеличением числа заходов фрезы.

Количество резов, образующих профиль колеса, может быть недостаточным, тогда образуется огранка. Полученные отклонения невелики и не оказывают существенного влияния на зацепление [10].

После завершения каждого опыта отрезалась часть образца с прорезанной впадиной, а затем он выдвигался в исходное положение, чтобы обеспечить требуемый диаметр имитируемого колеса.

На базе рассмотренного приспособления также есть возможность проводить исследования на целых зубчатых колесах, для чего предусмотрена оправка со специальным основанием (рис. 3). Основание, в котором сделано отверстие с резьбой, устанавливается на фрезерный столик 6 динамометра УДМ 1200 7 и фиксируется винтами без возможности смещения. По резьбе устанавливается оправка 5, на которой имеется выступ для установки заготовки зубчатого колеса 4, прижимаемой при помощи гайки. Также в оправке имеется паз-канавка для прокладки проводов токосъемного узла, чтобы избежать попадания проводов в зону резания.

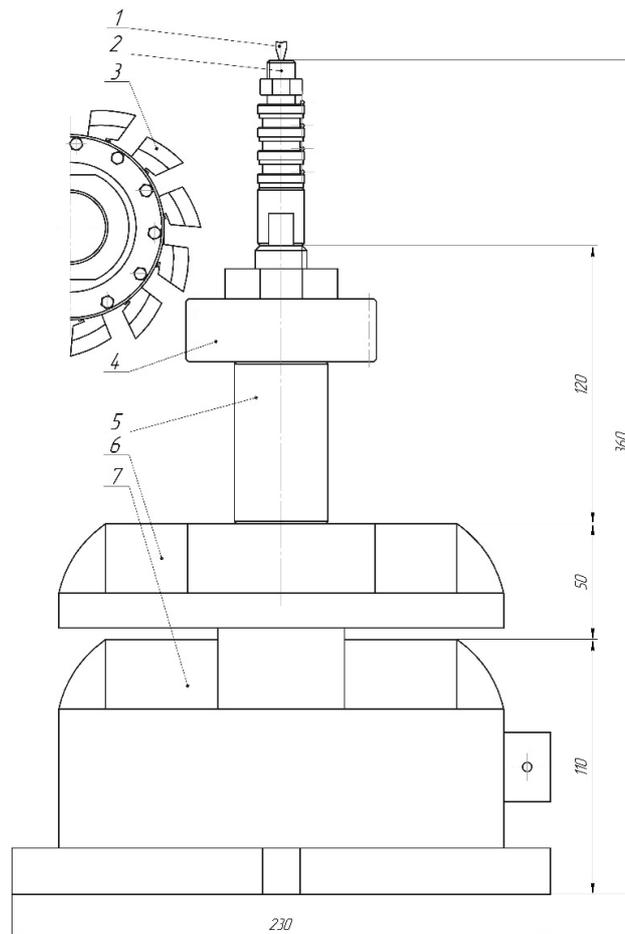


Рис. 3. Эскиз приспособления для закрепления образцов, имитирующих целое зубчатое колесо

Для случая, когда изготовить пластину из исследуемого материала не представляется возможным, предложен следующий вариант приспособления для закрепления экспериментальных образцов (рис. 4).

Приспособление изготовлено из стали 40Х (ГОСТ 1050-74), закаленной до 43-45 HRC, и представляет собой пластину-основание с прихватом. Конструктивные особенности позволяют закреплять экспериментальные образцы шириной в пределах активной линии зацепления без возможности смещения.

Приспособление устанавливается на фрезерный столик универсального динамометра УДМ – 1200, на него устанавливаются два бруска с пазами и П-образная стойка (рис. 1). Исследуемый образец зажимается между двумя передними стойками при помощи винтов и дополнительно сверху крышкой - пластиной, также имеющей возможность фиксации образца при помощи винтов. Такая конструкция позволяет увеличить силу прижима образца, но недостатком является ограниченная высотой стоек высота исследуемых образцов.



Рис. 4. Приспособление для закрепления образцов

Апробация и испытания приспособлений были проведены при силовых и стойкостных исследованиях процесса зубофрезерования цилиндрических колес с модулем  $m = 2,75 \text{ мм}$  и числом зубьев  $z_1 = 112$  при продольной подаче  $S_0 = 1 - 4 \text{ мм/об}$  и скорости резания

$V = 30 - 50 \text{ м/мин}$  при встречном фрезеровании сборной червячной фрезой диаметром  $d_{a0} = 110,4 \text{ мм}$  с передним углом  $\gamma_a = 5^\circ$  и рейками из стали Р6М5 как единичной впадины, так и целого колеса (рис. 5).



Рис. 5. Общий вид приспособления для закрепления образцов во время проведения эксперимента

## Заключение

Результаты, полученные в ходе исследований с использованием предложенных приспособлений, позволили на этапе технологической подготовки производства крупногабаритных зубчатых колес из закаленных сталей в действующих технологических процессах определить и скорректировать параметры инструмента, режимы резания, определить период стойкости инструмента.

Образцами при исследовании составляющих сил резания являлись пластины из сталей 40X (ГОСТ 1050-74) и СтЗсп

(ГОСТ 380-2005) с размерами 255x55x8,1 мм и твердостью 220 - 350 НВ.

Следует отметить, что как приспособления, так и исследовательский комплекс в целом обладают модульностью и мобильностью, позволяющей при необходимости перемещать их между зубофрезерными станками, чтобы обеспечить максимальную достоверность результатов для каждого случая в условиях действующего технологического процесса нарезания зубчатых колес.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ямников, А.С. И.А. Коганов и тульская научная школа технологов / А.С. Ямников // Известия ТулГУ. Технические науки. - Тула: Изд-во ТулГУ, 2016. - Вып. 8. - Ч. 1. - С. 20-26.
2. Malikov, A.A. Simplified calculation of the initial rack profile in tooth-shaping mills / A.A. Malikov, A.S. Yamnikov, Yu.N. Fedorov, O.L. Zolotukhina // Russian Engineering Research. - 2008. - Vol. 28. - № 10. - P. 1015-1017.
3. Malikov, A.A. Cutting and plastic deformation in the shaving and rolling of cylindrical gears with round teeth / A.A. Malikov, A.V. Sidorkin, A.S. Yamnikov // Russian Engineering Research. - 2013. - № 33 (6). - P. 363-366.
4. Yamnikov, A.S. Grinding circular cylindrical-gear teeth of with planetary motion of the wheel axis / A.S. Yamnikov, G.M. Sheinin, M.N. Bobkov // Russian Engineering Research. - 2008. - № 28 (5). - P. 485-488.
5. Ямников, А.С. Интенсификация комплексной зубообработки цилиндрических колес / А.С. Ямников, Ю.Н. Федоров, В.Д. Артамонов, К.В. Филиппов // СТИН. - 2002. - № 4. - С. 10-12.
6. Ямников, А.С. Повышение эффективности зубообработки цилиндрических колес / А.С. Ямников, Ю.Н. Федоров, В.Д. Артамонов // СТИН. - 2000. - № 10. - С. 38-40.
7. Ямников, А.С. Прогрессивная технология изготовления цилиндрических зубчатых колес / А.С. Ямников, Ю.Н. Федоров, В.Д. Артамонов // Технология машиностроения. - 2000. - № 3. - С. 11-13.
8. Феофилов, Н.Д. Установка для проведения силовых исследований операции зубофрезерования / Н.Д. Феофилов, Е.С. Янов // Известия ТулГУ. Технические науки. - Тула: Изд-во ТулГУ, 2014. - Вып. 11. - Ч. 1. - С. 184-189.
9. Использование 3D-принтеров для прототипирования деталей изоляторов токосъемных узлов / А.А. Маликов, Н.Д. Феофилов, А.В. Сидоркин, Е.С. Янов // Известия ТулГУ. Технические науки. - Тула: Изд-во ТулГУ, 2015. - Вып. 8. - Ч. 1. - С. 17-23.
10. Янов, Е.С. Влияние взаимодействия зубьев червячной фрезы на суммарную силу резания / Е.С. Янов // Известия ТулГУ. Технические науки. - Тула: Изд-во ТулГУ, 2016. - Вып. 8. - Ч. 1. - С. 260-264.
1. Yamnikov, A.S. I.A. Koganov and Scientific School of Technologists of Tula / A.S. Yanikov // *Proceedings of TulaSU. Engineering Sciences*. - Tula: Publishing House of TulaSU, 2016. - Edition 8. - Part 1. - pp. 20-26.
2. Malikov, A.A. Simplified calculation of the initial rack profile in tooth-shaping mills / A.A. Malikov, A.S. Yamnikov, Yu.N. Fedorov, O.L. Zolotukhina // Russian Engineering Research. - 2008. - Vol. 28. - № 10. - P. 1015-1017.
3. Malikov, A.A. Cutting and plastic deformation in the shaving and rolling of cylindrical gears with round teeth / A.A. Malikov, A.V. Sidorkin, A.S. Yamnikov // Russian Engineering Research. - 2013. - № 33 (6). - P. 363-366.
4. Yamnikov, A.S. Grinding circular cylindrical-gear teeth of with planetary motion of the wheel axis / A.S. Yamnikov, G.M. Sheinin, M.N. Bobkov // Russian Engineering Research. - 2008. - № 28 (5). - P. 485-488.
5. Yamnikov, A.S. *Intensification of Complex Gear Machining of Cylindrical Wheels* / A.S. Yamnikov, Yu.N. Fedorov, V.D. Artamonov, K.V. Filippov // STIN. - 2002. - № 4. - pp. 10-12.
6. Yamnikov, A.S. *Efficiency Increase of Gear Machining in Cylindrical Wheels* / A.S. Yamnikov, Yu.N. Fedorov, V.D. Artamonov // STIN. - 2000. - № 10. - pp. 38-40.

7. Yamnikov, A.S. Efficient technology of cylindrical cog-wheel production / A.S. Yamnikov, Yu.N. Fedorov, V.D. Artamonov // *Engineering Techniques*. - 2000. - № 3. - pp. 11-13.
8. Feofilov, N.D. Plant for carrying out power investigations of gear milling / N.D. Feofilov, E.S. Yanov // *Proceedings of TulaSU. Engineering Sciences*. - Tula: Publishing House of TulaSU, 2014. - Edition 11. - Part 1. - pp. 184-189.
9. 3D printer use for prototyping of insulator parts in current-collecting units / A.A. Malikov, N.D. Feofilov, A.V. Sidorkin, E.S. Yanov // *Proceedings of TulaSU. Engineering Sciences*. - Tula: Publishing House of TulaSU, 2015. - Edition 8. - Part 1. - pp. 17-23.
10. Yanov, E.S. Impact of hob teeth interaction upon total cutting force / E.S. Yanov // *Proceedings of TulaSU. Engineering sciences*. - Tula: Publishing House of TulaSU, 2016. - Edition 8. - Part 1. - pp. 260-264.

*Статья поступила в редколлегию 26.06.17.*

*Рецензент: д.т.н., профессор Тульского государственного университета  
Борискин О.И.*

#### Сведения об авторах:

**Феофилов Николай Дмитриевич**, д.т.н., профессор Тульского государственного университета, e-mail: [feofilovnd@yandex.ru](mailto:feofilovnd@yandex.ru).

**Янов Евгений Сергеевич**, инженер службы инновационного развития АО «НПО «СПЛАВ», Тел. +7-910-942-05-92, e-mail: [dexaik@mail.ru](mailto:dexaik@mail.ru).

**Feofilov Nikolay Dmitrievich**, D. Eng., Prof., State University of Tula, e-mail: [feofilovnd@yandex.ru](mailto:feofilovnd@yandex.ru).

**Yanov Yevgeny Sergeevich**, Engineer of Innovation Development Service J-S Co “SPA “ALLOY”, e-mail: [dexaik@mail.ru](mailto:dexaik@mail.ru).

**Ямников Александр Сергеевич**, д.т.н., профессор Тульского государственного университета, Тел. +7-910-941-30-11, e-mail: [YamnikovAS@mail.ru](mailto:YamnikovAS@mail.ru).

**Yamnikov Alexander Sergeevich**, D. Eng., Prof., State University of Tula, e-mail: [YamnikovAS@mail.ru](mailto:YamnikovAS@mail.ru)