

О ВЛИЯНИИ ОБРАБОТКИ КРОМОК ЛОПАСТЕЙ РАБОЧИХ КОЛЕС ТРАКТОРНОГО ГИДРОТРАНСФОРМАТОРА НА ЕГО ХАРАКТЕРИСТИКИ

INFLUENCE OF THE MACHINING OF EDGES OF BLADES OF TRACTOR TORQUE CONVERTER IMPELLERS ON ITS CHARACTERISTICS

Е.А. ДЬЯЧКОВ, д.т.н.

Е.А. ФЕДЯНОВ, д.т.н.

Волгоградский государственный технический
университет, Волгоград, Россия, tig@vstu.ru

E.A. D'YACHKOV, DSc in Engineering

E.A. FEDYANOV, DSc in Engineering

Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia,
tig@vstu.ru

Производство рабочих колес для гидродинамических передач тягово-транспортных машин представляет собой сложную технологическую задачу. Изготовление лопастей штамповкой с последующей сборкой и приваркой к торовым поверхностям обеспечивает получение заданных углов входа и выхода потока, но не дает эквидистантности линий тока рабочей жидкости в межлопаственном пространстве, поскольку лопасти, отштампованные из листового материала, имеют одинаковую толщину по длине. Как следствие, происходит увеличение потерь энергии при движении рабочей жидкости в межлопастных каналах и снижается коэффициент полезного действия. При изготовлении рабочих колес литьем обеспечиваются необходимые пространственная форма и переменная по направлению потока толщина лопасти, однако в силу технологических ограничений не удается получить требуемую толщину входной и выходной кромок. Кроме того, вынужденная токарная подрезка лопастей исключает скругление указанных кромок. Добиться требуемой геометрии кромок можно их слесарной обработкой, однако такая операция нежелательна вследствие ее очень высокой трудоемкости. При крупносерийном и массовом производстве слесарные операции должны быть исключены. В связи со сказанным выше важным является вопрос о степени влияния геометрии кромок лопастей рабочих колес на характеристики гидropередачи. В данной статье представлены результаты экспериментальных исследований влияния обработки кромок лопастей рабочих колес тракторного гидротрансформатора, изготовленных литьем в кокиль, на коэффициент полезного действия и преобразующие свойства гидropередачи. Показано влияние обработки кромок лопастей как для каждого колеса в отдельности, так и в совокупности. Обоснован вывод о том, что трудоемкую операцию слесарной обработки кромок лопастей рабочих колес можно при массовом производстве гидротрансформаторов исключить без существенного ухудшения характеристик гидropередачи.

Ключевые слова: гидродинамическая передача, коэффициент полезного действия гидродинамической передачи, характеристики гидродинамической передачи, обработка лопастей гидродинамической передачи.

The production of impellers for hydrodynamic transmission of traction-transport machines is a complex technological task. Manufacturing of blades by punching with subsequent assembling and welding to toroidal surfaces ensures obtaining of specified angles of flow input and output, but does not provide an equidistant flowline of the working fluid in the intervane space, since the blades punched from sheet material have the same thickness along the length. Consequently, there is an increase in energy losses during the movement of the working fluid in the intervane channels and the coefficient of efficiency decreases. In the manufacture of impellers by casting provides the necessary spatial shape and variable in direction of flow thickness of the blade, but due to technological limitations, it is not possible to obtain the required thickness of the input and output edges. In addition, the forced turn cutting of blades eliminates the rounding of these edges. The required geometry of the edges can be achieved by their machining, but such an operation is undesirable due to its very high labor intensity. In large-scale and mass production, locksmithing operations should be excluded. In connection with said above, the question of level of influence of the impeller blade edges geometry on the characteristics of hydrotransmission is important. This article presents the results of experimental studies of the effect of machining of the torque converter impeller blade edges, manufactured by casting into the chill mold, on the efficiency coefficient and the converting properties of the hydrotransmission. The influence of blade edges machining is shown for each wheel separately and in aggregate. The conclusion is substantiated that the laborious operation of the metalworking of impeller blades' edges can be eliminated in the mass production of torque converters without significant degrading of the hydrotransmission characteristics.

Keywords: hydrodynamic transmission, efficiency of hydrodynamic transmission, characteristics of hydrodynamic transmission, machining of hydrodynamic transmission blades.

Введение

При разработке и серийном производстве гидродинамических передач тягово-транспортных машин наибольшие технологические затруднения возникают при изготовлении рабочих колес. Для достижения высоких значений КПД необходимо точно выполнять геометрию лопастной системы. Это касается, в частности, углов входа и выхода в лопасти и направления линий тока в межлопастном пространстве. В настоящее время необходимость выполнения этих требований определяет выбор технологии изготовления рабочих колес гидротрансформаторов [1, 2].

Наиболее распространенными способами являются изготовление лопастей штамповкой с последующей сборкой и приваркой к торovým поверхностям и отливка рабочих колес с образованием межлопастного пространства специальными стержнями сложной пространственной формы, которые закрепляются в кокиле модельной оснастки.

Первый способ гарантирует получение заданных углов входа и выхода лопастей, но не дает эквидистантности линий тока рабочей жидкости в межлопастном пространстве, поскольку лопасти, отштампованные из листового материала, имеют одинаковую толщину по длине. Как следствие, происходит увеличение потерь энергии при движении рабочей жидкости и снижается КПД.

Второй способ позволяет получить лопасти переменной толщины (так называемый крыловой профиль), но имеет ограничения по минимально достигаемой в литье толщине кромок лопастей на входе и выходе, а также по радиусу закругления кромок лопастей на входе. Более того, кромки лопастей приходится подрезать при токарной обработке колес, и закругление кромок лопастей на входе в рабочие колеса от-

сутствует. Добиться необходимых размеров и формы кромок можно слесарной обработкой каждой лопасти. Излишне говорить, что такая технологическая операция весьма трудоемка и требует квалифицированного персонала. При крупносерийном и, тем более, массовом производствах эта технологическая операция должна быть исключена.

Цель исследования

Изучение влияния обработки кромок лопастей рабочих колес тракторного гидротрансформатора на его характеристики

Материалы, методы исследования и обсуждение результатов

Для того чтобы выяснить, насколько геометрия кромок лопастей, получаемая после токарной подрезки кромок лопастей отливки без последующей слесарной обработки, влияет на показатели гидротрансформатора, были проанализированы результаты стендовых испытаний тракторного гидротрансформатора ЛГ-420-35 [3], в ходе которых он последовательно комплектовался рабочими колесами с обработанными и необработанными кромками.

На рис. 1 показана типовая схема слесарной обработки лопастей рабочих колес гидротрансформатора, полученных отливкой. Для уменьшения толщины кромки металл снимали с обеих сторон лопасти (заштрихованные области на рис. 1) с тем, чтобы не изменить направление средней линии профиля. Закругление на входе получали, убирая острую кромку лопастей с вогнутой стороны лопасти. Острая кромка получалась в результате токарной подрезки кромок лопастей после литья.

Слесарная обработка лопастей рабочих колес гидротрансформатора ЛГ-420-35 позволяла получить следующие толщины кромок

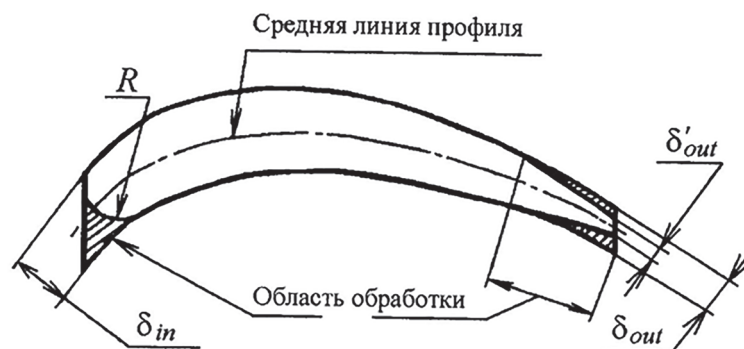


Рис. 1. Типовая схема слесарной обработки кромок рабочих колес гидротрансформатора

(измеренные нормально к средней линии тока) и радиусы закругления: для первого реактора: $\delta_{in} = 2,85$ мм, $\delta_{out} = 0,95$ мм, $R_{in} = 1,4$ мм; для второго реактора: $\delta_{in} = 3,7$ мм, $\delta_{out} = 1,0$ мм, $R_{in} = 1,85$ мм; для насосного колеса: $\delta_{in} = 3,0$ мм, $\delta_{out} = 1,0$ мм, $R_{in} = 1,5$ мм; для турбинного колеса: $\delta_{in} = 4,0$ мм, $\delta_{out} = 2,0$ мм, $R_{in} = 2,0$ мм.

На первом этапе исследований была проведена оценка влияния обработки кромок лопастей для каждого колеса в отдельности, за исключением второго реактора. Для второго реактора исследование не проводили, так как его лопасти после отливки вынужденно обрабатывали вследствие недопустимо больших отклонений формы и размеров кромок лопастей от предусмотренных конструкций.

Для оценки влияния слесарной обработки кромок лопастей каждого из колес в отдельности проводилось сравнение характеристик гидротрансформатора, в котором кромки лопастей всех колес были обработаны, и гидротрансформатора, у которого исследуемое колесо было заменено на экземпляр с необработанными кромками.

Все сравнительные испытания проводились на стенде [4], который обеспечивал точность измерения крутящих моментов с погрешностью $\pm 0,2$ %. Погрешность в определении частот вращения насосного и турбинного колес гидротрансформатора не превышала 0,1 %. В качестве рабочей жидкости использовалось масло веретенное АУ ГОСТ 1642-50 [5], температура рабочей жидкости в процессе испытаний поддерживалась в пределах 90 ± 5 °С, частота вращения вала насосного колеса составляла 1700 мин^{-1} .

В результате проведенных испытаний установлено, что слесарная обработка лопастей первого реактора слабо влияет на характеристики гидротрансформатора ЛГ-420-35. Увеличение КПД вследствие обработки кромок данного колеса наблюдается лишь в интервале передаточных отношений $0,47 < i < 0,6$ и не превышает 0,6 % (0,890 вместо 0,864 при $i = 0,56$).

Слесарная обработка кромок лопастей насосного колеса также слабо сказывается на характеристике гидротрансформатора. Значения коэффициентов первичного момента для сравниваемых гидротрансформаторов практически одинаковы во всем диапазоне передаточных отношений. КПД незначительно повышается только в относительно узком диапазоне пере-

даточных отношений $0,71 < i < 0,85$. Максимальное повышение КПД составляет 0,8 % при передаточном отношении $i = 0,75$. Кривые коэффициентов трансформации почти полностью совпадают для обоих вариантов, кроме участков передаточных отношений $0 < i < 0,07$, а также $0,71 < i < 0,85$. В пределах указанных участков коэффициент трансформации для варианта с необработанным насосным колесом несколько ниже. Снижается и коэффициент трансформации на стоповом режиме ($K = 3,453$ вместо $K = 3,53$). Для варианта с необработанными кромками лопастей кривая коэффициента трансформации в области малых передаточных отношений ($0 < i < 0,07$) приобретает выпуклый вид. Это свидетельствует о стеснении потока рабочей жидкости в межлопаточном пространстве, вызванном, очевидно, большей толщиной кромок лопастей у необработанного насосного колеса.

Наиболее заметное и неоднозначное влияние на характеристики гидротрансформатора оказывает обработка кромок лопастей турбинного колеса. У этого колеса, как было отмечено выше, после обработки кромок $\delta_{in} = 4,0$ мм, $R_{in} = 2,0$ мм, $\delta_{out} = 2,0$ мм. Необработанное колесо имело $\delta_{in} = 4,1$ мм, $\delta_{out} = 3,0$ мм. Закругление кромки на входе отсутствовало.

Как показали испытания, установка турбинного колеса с необработанными кромками лопастей несколько изменяет нагружающие свойства гидротрансформатора в диапазоне передаточных отношений $0,6 < i < 0,9$. В этом диапазоне коэффициент момента входного звена с необработанными кромками лопастей турбины ниже, чем для гидротрансформатора со всеми обработанными колесами: при $i = 0,8$ он ниже на 4 %. При других передаточных отношениях кривые коэффициента момента входного звена для обоих вариантов гидротрансформатора практически совпадают.

В пределах передаточных отношений $0,59 < i < 0,85$ КПД гидротрансформатора с необработанными лопастями турбины оказывается даже выше, чем для гидротрансформатора со всеми обработанными колесами. Максимальный КПД при передаточном отношении $i = 0,69$ равен 0,913 против 0,908, т.е. выше на 0,5 %. Максимальное приращение КПД наблюдается при $i = 0,8$: 0,888 вместо 0,875, т.е. выше на 1,3 %. В зоне низких передаточных отношений: $0 < i < 0,14$, КПД гидротрансформатора с необработанной турбиной несколько ниже.

Протекание кривых коэффициента трансформации соответствует протеканию кривых КПД. При передаточных отношениях $i < 0,2$ кривая значения K для гидротрансформатора с необработанной турбиной ниже, чем для гидротрансформатора со всеми обработанными колесами. Однако зависимость $K = f(i)$ носит нормальный характер, что свидетельствует об отсутствии стеснения потока рабочей жидкости необработанными лопатками турбинного колеса. Коэффициент трансформации на стоповом режиме для гидротрансформатора с необработанными кромками составляет $K = 3,429$ против $K = 3,53$ для гидротрансформатора со всеми обработанными колесами (ниже на 3 %).

Таким образом, слесарная обработка кромок лопастей турбинного колеса не только не улучшает, но и даже несколько ухудшает КПД гидротрансформатора ЛГ-420-35 в основном рабочем диапазоне передаточных отношений. Коэффициент трансформации на стоповом режиме снижается. Коэффициент момента входного звена меняется вследствие слесарной обработки кромок лопаток турбинного колеса незначительно.

На втором этапе исследований была выполнена оценка совместного влияния обработки кромок лопастей трех колес – первого реактора, насосного колеса и турбинного колеса одновременно. Для получения такой оценки было проведено сравнение показателей гидротрансформатора, у которого кромки всех рабочих колес были обработаны, и гидротрансформатора, у которого колеса первого реактора, насосного колеса и турбинного колеса имели необработанные кромки. Для эксперимента были использованы рабочие колеса, ранее испытанные в сочетании с обработанными колесами.

Установка в гидротрансформатор трех необработанных колес снижает энергоемкость гидротрансформатора в пределах передаточных отношений $0,45 < i < 0,95$. Наибольшее снижение коэффициента момента входного звена наблюдается в районе $i = 0,89$ (на 6 %). Наблюдается также общее снижение КПД, особенно в зоне передаточных отношений $0,45 < i < 0,85$. Величина максимального КПД для гидротрансформатора с необработанными лопастями составляет 0,902 против 0,908, или ниже на 0,6 %.

Наибольшее понижение КПД, достигающее до 0,8–1 %, наблюдается в зоне передаточных отношений $0,5 < i < 0,6$ – в месте, где располага-

ется первый максимум КПД на режиме трансформации момента (при обоих остановленных реакторах). Несколько ниже КПД также и в зоне передаточных отношений $i < 0,35$. Анализируя характер протекания кривой КПД для гидротрансформатора с тремя необработанными колесами, можно отметить, что снижение коэффициента полезного действия происходит в тех же зонах передаточных чисел, где КПД снижается при установке какого-либо одного необработанного колеса. Однако это снижение более ярко выражено и сопровождается одновременным снижением также и максимального КПД.

Кривая КПД для гидротрансформатора с тремя необработанными колесами, в основном, располагается несколько ниже, чем для гидротрансформатора со всеми обработанными колесами, кроме зоны передаточных отношений $0,3 < i < 0,45$, где эти кривые совпадают. Коэффициент трансформации на стоповом режиме составляет для гидротрансформатора с необработанными колесами $K = 3,333$, против $K = 3,53$, или ниже на 6,2 %.

Заключение

Таким образом, проведенные исследования позволяют заключить, что установка в гидротрансформатор ЛГ-420-35 трех рабочих колес (первого реактора, насоса и турбины) с лопастями, кромки которых не подвергнуты слесарной обработке, позволяет, тем не менее, получить достаточно высокие значения максимальных коэффициента трансформации и КПД. Можно рекомендовать в условиях массового производства не производить обработки кромок лопастей указанных колес при одновременном некотором утонении выходных кромок в литье. В случае, если обработка кромок лопастей все же будет признана необходимой, следует ее проводить для рабочих колес первого реактора и насосного колеса. Необходимость в слесарной обработке кромок лопаток турбины отсутствует. Степень влияния на параметры гидротрансформатора слесарной обработки второго реактора требует дополнительных исследований.

Литература

1. Розноер М.Г., Джафаров Н.М. Новые гидротрансформаторы для промышленных тракторов различного назначения и современные технологии изготовления рабочих колес // Приводная техника. 2006. № 1. С. 35–39.

2. Лаптев Ю.И. Автотракторные гидротрансформаторы. М.: Машиностроение, 1973. 280 с.
3. Дьячков Е.А. Теория и практика определения параметров гидродинамической силовой передачи гусеничного сельскохозяйственного трактора высокой удельной мощности: дис. ... докт. техн. наук. Волгоград, 2002. 340 с.
4. Дьячков Е.А., Дейниченко Е.М., Федянов Е.А. Повышения эффективности применения гидродинамических передач на тягово-транспортных машинах. Волгоград, 2012. 70 с.
5. Дьячков Е.А., Федянов Е.А. Влияние вязкости рабочей жидкости на КПД гидродинамической передачи // Тракторы и сельхозмашины. 2014. № 8. С. 36–37.
2. Laptev Yu.I. Avtotraktornye gidrotransformatory [Automotive and Tractor Torque Converters]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1973. 280 p.
3. D'yachkov E.A. Teoriya i praktika opredeleniya parametrov gidrodinamicheskoy silovoy peredachi gusenichnogo sel'skokhozyaystvennogo traktora vysokoy udel'noy moshchnosti: dis. ... dokt. tekhn. nauk [Theory and practice of determining of hydrodynamic power transmission parameters for tracked agricultural tractor of high specific power: thesis ... Dr.Eng.]. Volgograd, 2002. 340 p.
4. D'yachkov E.A., Deynichenko E.M., Fedyanov E.A. Povysheniya effektivnosti primeneniya gidrodinamicheskikh peredach na tyagovotransportnykh mashinakh [Increasing of efficiency of application of hydrodynamic gears on traction vehicles]. Volgograd, 2012. 70 p.
5. D'yachkov E.A., Fedyanov E.A. Effect of working fluid viscosity on efficiency of hydrodynamic transmission. Traktory i sel'khoz mashiny. 2014. No 8, pp. 36–37 (in Russ.).

References

1. Rozenoer M.G., Dzhafarov N.M. The new torque converters for industrial tractors of different purposes and modern techniques for impellers' manufacturing. Privodnaya tekhnika. 2006. No 1, pp. 35–39 (in Russ.).