

УДК 621.7.075

В. А. Лебедев, канд. техн. наук, проф., **Ю. А. Тороп**, ведущий инженер,
О. Е. Барышникова, старший преподаватель

Донской государственный технический университет, Россия

Тел./ Факс: +7 9515395159; E-mail: va.lebidev@yandex.ru

ДОРНОВАНИЕ ШЛИЦЕВЫХ ОТВЕРСТИЙ И ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА

Описана сущность отделочно-упрочняющей обработки шлицевых отверстий фасонными дорнами. Проведён анализ технологических параметров процесса дорнования. Показано что основным технологическим параметром, обуславливающим эффективность обработки, является тяговое усилие. Предложена технологическая схема дорнования шлицевых отверстий зубчатых колёс, обеспечивающая его снижению путём наложения на обрабатываемую деталь ультразвукового поля.

Ключевые слова: дорнование, фасонный дорн, шлицевое отверстие, тяговое усилие, ультразвуковое поле.

V. A. Lebedev, Yu. A. Torop, O. E. Baryshnikova

IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE PROCESS OF BURNISHING SPLINE HOLES UNDER THE INFLUENCE OF AN ULTRASONIC FIELD

The essence of the finishing and hardening treatment of splined holes with shaped mandrels is described. The analysis of the technological parameters of the burning process. It is shown that the main technological parameter that determines the processing efficiency is traction. A technological scheme for the burning of splined holes of gear wheels is proposed, which ensures its reduction by applying an ultrasonic field to the workpiece.

Keywords: mandrel, shapon mandrel, slotted hole, traction force, ultrasonic field.

1. Введение

Дорнование является одним из эффективных методов отделочно-упрочняющей обработки шлицевых отверстий деталей машин пластическим деформированием, который осуществляется фасонными дорнами путём проталкивания или протягивания их сквозь шлицевое отверстие или на прессе, или на протяжном станке [1]. Этот метод обеспечивает увеличение производительности обработки, повышение точности отверстий, высвобождение дорогостоящего режущего инструмента, исключение брака и повышение эксплуатационных свойств деталей.

На сегодняшний день в результате проведённых исследований в области обработки дорнованием решен целый комплекс вопросов, обуславливающих его практическое применение [2, 3]. Разработана конструкция шлицевого дорна (рисунок 1), обеспечивающая эффективную реализацию процесса дорнования при помощи рабочих органов в виде твердосплавных пластин 2, имеющих: заборные и обратные конуса по наружному диаметру и боковым поверхностям шлица и калибрующие ленточки.

Определены геометрические параметры рабочих поверхностей фасонных дорнов, которые играют весьма важную роль в процессе дорнования, так как они оказывают существенное влияние на условия деформирования поверхностного слоя металла, изменение тяговых усилий, качество обработанной поверхности, износостойкость дорнов. Установлены основные технологические параметры процесса дорнования, обуславливающие механизм поверхностного пластического деформирования и формирова-

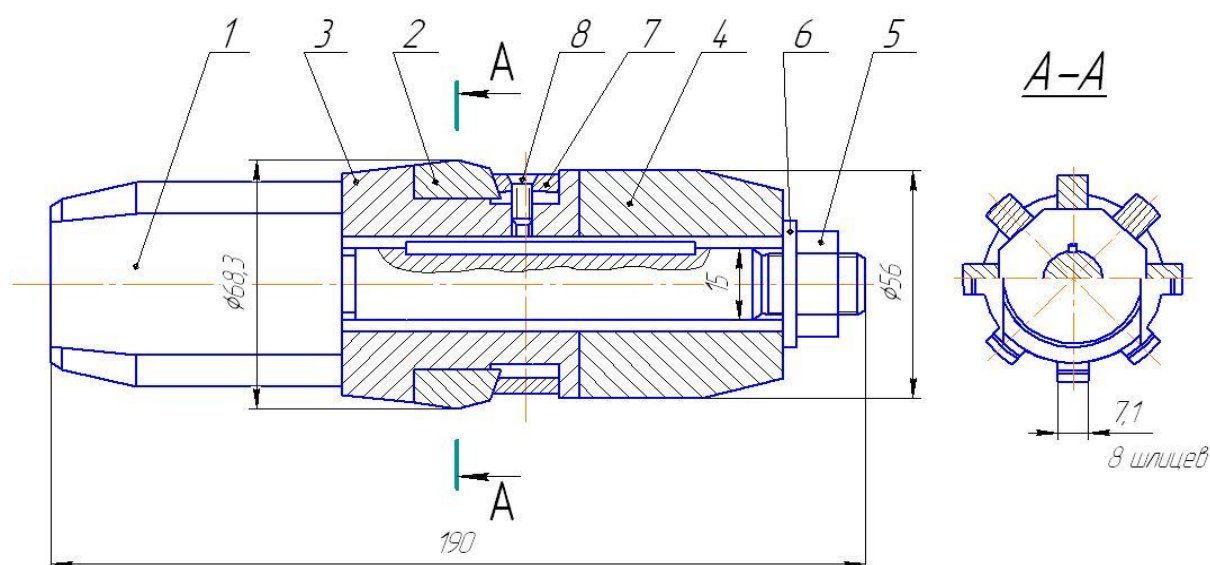


Рисунок 1. Фасонный дорн для калибровки шлицевых отверстий: 1-оправка, 2-твердосплавные пластины, 3-корпус, 4-втулка, 5-гайка, 6-шайба, 7-сухарик, 8-винт

ние геометрических и физико- механических характеристик качества поверхностного слоя.

В задачу настоящих исследований входило проведение анализа закономерностей влияния технологические параметров на процесс дорнования и выработка предложений по повышению его технологической эффективности.

2. Технологические параметры процесса дорнования

При обработке шлицевых отверстий дорнованием основными технологическими параметрами процесса являются геометрия инструмента, тяговые усилия, натяг и скорость дорнования. Обобщая результаты теоретических и экспериментальных исследований можно констатировать следующее [2, 3].

Одним из важнейших элементов, определяющих форму рабочей поверхности дорна, являются углы заборного конуса. Заборной частью осуществляется основная деформация обрабатываемого металла и от неё в значительной степени зависит усилие дорнования P_T и качество поверхности (рисунок 2). При правильном выборе углов заборных конусов шлицевых дорнов тяговое усилие будет минимальным, высота шероховатости поверхности обрабатываемого отверстия также будет получаться наименьшей, ввиду преимущественного радиального течения металла. Установлено, что оптимальная геометрия дорнующего инструмента $\alpha=4^\circ-5^\circ$ обеспечивает наивысшее качество обработанной поверхности шлицевого отверстия и наименьшую величину тягового усилия дорнования.

В процессе калибрования фасонными дорнами в поверхностном слое шлицевого отверстия обрабатываемой детали протекают упругие и пластические деформация по профилю, которые приводят к изменению его напряжённого состояния и как следствие оказывают значительное влияние на точность размеров шлицевых отверстий. Величина остаточной деформации поверхности шлицевого отверстия при калибровании зависит

от: величин натягов по наружному диаметру – i_D и боковой поверхности шлицев – i_B ; физико-механических свойств обрабатываемого материала, толщины стенки втулки, схемы деформирования поверхностей отверстия. Как показано на рисунке 3 зависимость величин остаточных деформаций металла по поверхности наружного диаметра шлицевого отверстия $(\delta_{D1})_{ост}$ от натяга дорнования i_D имеет, примерно, прямолинейный характер и малый угол наклона к оси абсцисс. Это свидетельствует о том, что остаточная деформация по наружному диаметру шлицевого отверстия при дорновании на-

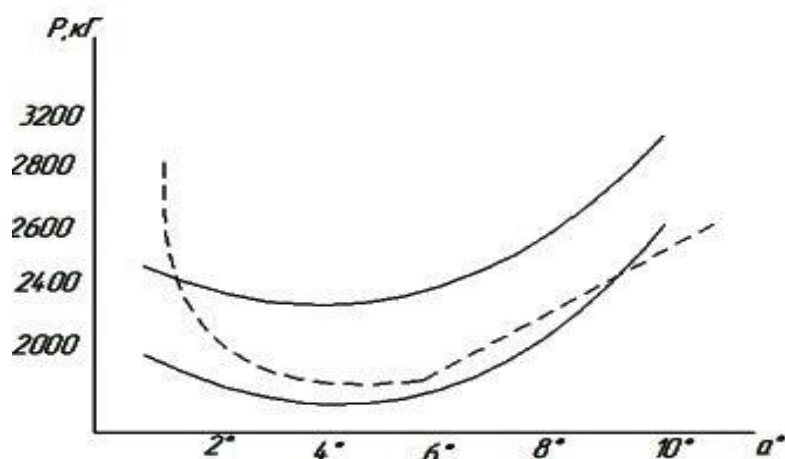


Рисунок 2. Изменение тяговых усилий P в зависимости от величины заборного угла α ; обрабатываемые материалы – стали марок: 20Х - цементированная и закалённая до твердости HRC 58-62 (верхняя дуга); 40Х закалённая до твердости HRC 48-52 (пунктирный график); 40Х закалённая до твердости HRC 48-52 (нижний график).

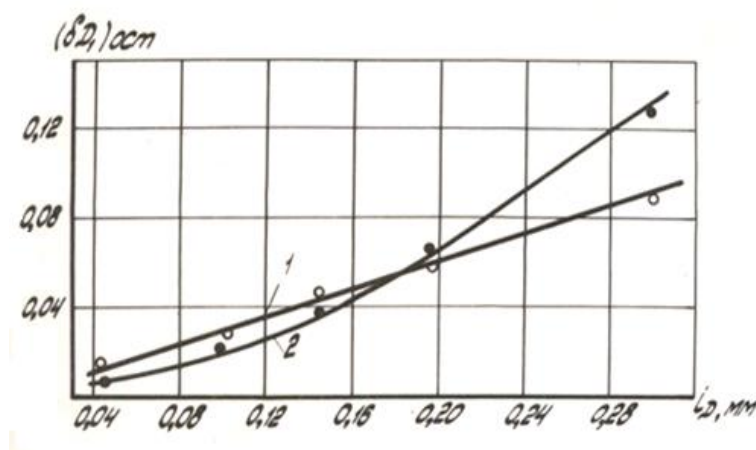


Рисунок 3. Изменение остаточных деформаций $(\delta_{D1})_{ост}$ металла по поверхности наружного диаметра шлица от величины натяга i_D : 1 – сталь 40Х, объёмно-закалённая до твердости HRC 48-52; 2 – сталь 20Х, цементированная на глубину 0,8-1,1 мм и закалённая до твердости HRC 58-62.

ного меньше натяга дорнования. Следовательно величины обратных упругих деформаций в этом случае из общей суммы абсолютной деформации (натяг дорнования i_D) имеет наибольшее значение. Свое начало на оси абсцисс прямая берет от некоторой положительной величины натяга, так как при меньших натягах обрабатываемая втулка находится в режиме чистых упругих деформаций и остаточных деформаций не имеет.

Таким образом, на основе величины остаточных деформаций по профилю шлицев, можно правильно подобрать рациональные натяги дорнования и обеспечить получение шлицевых отверстий и деталей в пределах требуемой точности.

Определение тягового усилия при дорновании шлицевых отверстий имеет большое практическое значение, так как, зная заранее величину усилия, можно правильно выбрать конструктивные размеры протяжного станка или

пресса, рассчитать инструменты, приспособления и обрабатываемую деталь на прочность и устойчивость. С учетом тягового усилия можно правильно назначить оптимальную геометрию инструментов - дорнов, обеспечивающую при всех прочих равных условиях, наименьшее значение тягового усилия.

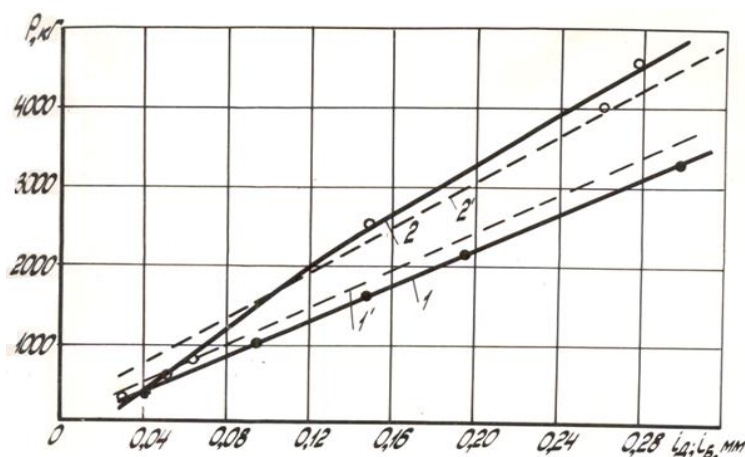


Рисунок 4. Зависимость тяговых усилий P от величины натяга дорнования образцов из:

- 1- стали 40X, объёмно-закалённой до твёрдости HRC 48-52;
- 2- стали 20X, цементированной на глубину 0,8-1,1 мм, и закалённой до твёрдости HRC 40-45

величины натяга $i_D=0,13$ мм, свидетельствует о том, что при этом происходит деформирование только поверхностных слоёв металла. После превышения этого натяга рост тяговых усилий становится менее интенсивным, и кривая плавно изгибается, так как при натягах, больших $i_D=0,13$, происходит пластическое деформирование металла, лежащего ниже цементированного слоя и имеющего меньшую твёрдость, и поэтому металл оказывает меньшее сопротивление деформированию. Начиная с натяга $i_D=20$ мм тяговые усилия продолжают возрастать примерно по прямолинейному закону, указывая на то, что при этих натягах пластическим деформированиям подвергаются не только слои металла, лежащие под цементированным слоем, но и сам цементированный слой.

3. Влияние ультразвуковых колебаний на процесс дорнования

Основным технологическим параметром процесса дорнования, обуславливающего технико-экономическую эффективность отделочно-упрочняющей обработки шлицевых отверстий, как было показано является тяговое усилие. Зная заранее величину усилия, можно правильно выбрать конструктивные размеры протяжного станка или пресса, рассчитать инструменты, приспособления и обрабатываемую деталь на прочность и устойчивость. С учетом тягового усилия можно правильно назначить оптимальную геометрию инструментов – дорнов, обеспечивающую при всех прочих равных условиях, наименьшее значение тягового усилия.

Наряду с вышерассмотренными факторами, оказывающими влияние на тяговое усилие процесса дорнования, определяющими в обосновании её величины являются механические свойства материала обрабатываемого материала и физико-механические

На рисунке 4 представлен график зависимостей тяговых усилий P от натяга i_D из которого видно, что тяговые усилия при обработке, объёмно-закалённой стали 40X и стали 45 с увеличением натяга дорнования i_D значительно возрастают примерно по прямолинейному закону.

При дорновании же образцов из цементированной и закалённой стали 20X тяговые усилия с увеличением натяга дорнования по наружному диаметру шлица i_D значительно возрастает, примерно по прямолинейному закону только до

характеристики качества поверхностного слоя шлицевого отверстия, сформированного на операциях предшествующих дорнованию, а также геометрические размеры шлицевого отверстия. Экспериментально установлено [2], что при дорновании деталей, изготовленных из материалов с большим пределом текучести, требуются большие тяговые усилия, и, наоборот, чем меньше предел текучести, тем меньше тяговые усилия. Применение больших тяговых усилий требуется для дорнования термобработанных шлицевых отверстий, имеющих поверхностную твердость после закалки 50...55HRC. При выборе тяговых усилий необходимо также учитывать номинальный размер шлицевого отверстия. Шлицевым отверстиям с большим номинальным размерам соответствует большие тяговые усилия, так как объем и работа деформирования при этом получаются больше.

Из этого следует, что технико-экономическая эффективность процесса дорнования шлицевых отверстий зависит от рационального выбора тягового усилия. Для решения этой задачи необходимо обеспечить управление напряжённым состоянием поверхностного слоя в зоне контактного взаимодействия инструмента с обрабатываемой поверхностью.

В качестве одного из путей управления напряжённым состоянием поверхностного слоя предлагается наложение ультразвуковых воздействия на процесс дорнования. В работах [4] показано, что ультразвуковые колебания снижают внутреннее трение в материале в результате чего создаются более эффективные условия воздействия инструмента на него.

На рис. 5 представлена принципиальная схема процесса дорнования шлицевых отверстий с наложением на него ультразвукового поля.

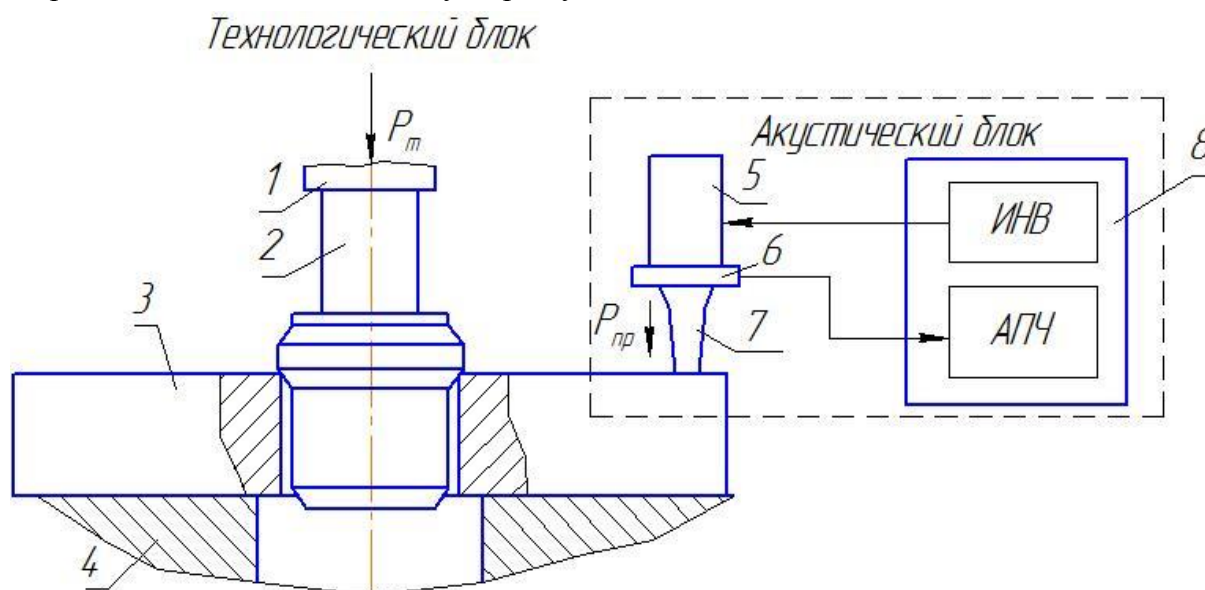


Рисунок 5. Схема процесса дорнования шлицевого отверстия зубчатого колеса с применением ультразвукового поля: 1-силовой шток, 2- фасонный дорн, 3-зубчатое колесо, 4-, установочный стол, 5- магнитострикционный преобразователь, 6-датчик акустической обратной связи, 7- волновод, 8 – генератор (АПЧ-система автоподстройки частоты, ИНВ- инвертор)

Предлагаемая схема состоит из двух блоков: технологического, реализующего процесс дорнования шлицевого отверстия фасонным дорном и акустического, создаю-

щего в материале детали (или инструменте) сложное акустическое поле. Основными элементами акустического блока являются: ультразвуковой генератор, предназначен для того чтобы электрический ток промышленной частоты 50 Гц преобразовать в электрические колебания частотой 22 кГц магнитно-стрикционный преобразователь, преобразующий электрическую частоту в диапазоне 22 кГц в механические перемещения; волновод, который формирует в детали сложное акустическое поле путём трансформации продольных колебаний в продольно-крутильные.

Наложение на деталь акустического поля обеспечивает повышение эффективности работы всей технологической системы за счёт знакопеременных изменений геометрических размеров детали в радиальном и тангенциальном направлениях, обусловленных протеканием в материале детали с высокой скоростью волновых процессов приводящих к снижению её напряжённого состояния.

4. Заключение

Достичь эффективной калибровки шлицевого отверстия детали фасонным дорном при уменьшении тягового усилия позволяет использование при ППД энергии ультразвуковых колебаний, оказывающих существенное влияние на характер контактного взаимодействия инструмента и поверхности детали. При использовании ультразвукового воздействия на инструмент обеспечивается существенное уменьшение трения и увеличение пластичности в очаге деформации, что обуславливает сглаживание шероховатости поверхностей шлицевого отверстия, способствует глубокой пластической и упругопластической проработке поверхностного слоя, созданию благоприятных сжимающих напряжений.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Проскуряков, Ю. Г. Объемное дорнование отверстий / Ю. Г. Проскуряков, В. Н. Романов, А. Н. Исаев. – М.: Машиностроение, 1984. – 223 с.
2. Берберов, С.А. Применение фасонных дорнов для калибрования шлицевых отверстий в термообработанных деталях / С. А. Берберов, В. А. Лебедев // Научные технологии в машиностроении. Научно-технический и производственный журнал №9(75). – Брянск, 2017. – С. 38-41.
3. Берберов, С. А. Инструмент для калибрования шлицевых отверстий в термообработанных деталях / С. А. Берберов, А. Г. Болокан // Перспективные направления развития технологии машиностроения и металлообработки: сб. науч. тр. междунар. научн.-техн. конф. ДГТУ. – Ростов н/Д, 2014. – С. 22-29.
4. Абрамов, О. В. Воздействие мощного ультразвука на межфазную поверхность металлов / О.В. Абрамов, А. И. Манохин. – М.: Наука, 1986. – 265 с.
5. Физические основы ультразвуковой технологии / Л. Д. Розенберг и др.; под ред. Л. Д. Розенберга. – М.: Наука, 1970. – 688 с.

Поступила в редколлегию 06.02.2020 г.