

МРНТИ 45.43.09

М.Х. Ибылдаев | ©



Канд. техн. наук, доцент

ORCID

<https://orcid.org/0000-0003-1857-5550>



Таразский региональный университет им. М.Х. Дулати,



г. Тараз, Республика Казахстан



[ibildaev@mail.ru](mailto:ibildaev@mail.ru)

<https://doi.org/10.55956/SOHG2252>

## ОСНОВНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СТУПЕНЧАТЫХ ВАЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

**Аннотация.** Показатели надежности и технологичности известных способов, применяемых в настоящее время для восстановления ступенчатых валов в ремонтном производстве страны, не могут конкурировать с показателями новых деталей. Наиболее прогрессивным способом восстановления ступенчатых валов является способ горячей объемной штамповки. Техническая характеристика деталей восстановленных давлением, свидетельствует, что их качество не ниже серийных.

**Ключевые слова:** ступенчатый вал, способы восстановления, вибродуговая наплавка, пластическая деформация, ремонтный размер, качество.




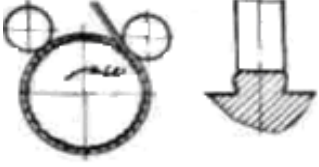

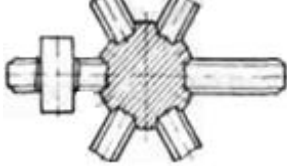
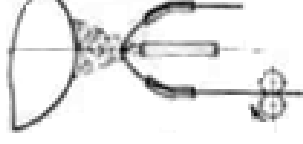
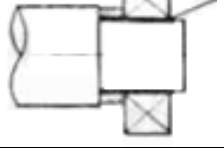

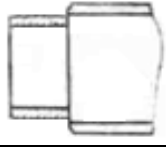
Ибылдаев, М.Х. Основные предпосылки восстановления ступенчатых валов давлением [Текст] / М.Х. Ибылдаев // Механика и технологии / Научный журнал. – 2023. – №3(81). – С.97-104. <https://doi.org/10.55956/SOHG2252>

**Введение.** В настоящее время 75-80% валов, в том числе и ступенчатых, восстанавливают наплавкой [1]. При этом наплавкой восстанавливаются все посадочные поверхности: гладкие, шлицевые, резьбовые [2]. Наибольшее распространение получила вибродуговая наплавка в жидкой среде. Этим способом предусмотрено применение охлаждающей жидкости для уменьшения теплового влияния дуги на деталь, и увеличения скорости охлаждения наплавленного и основного металла и защиты расплавленного металла от взаимодействия с воздухом. Однако в результате закалки наплавленных валиков и взаимного перекрытия каждого валика последующим наплавленным слоем получает неравномерную твердость. Расположенные по винтовой линии участки высокой твердости чередуются с участками пониженной твердости. Кроме того, процесс дуговой наплавки – энергоемкий и трудоемкий, вызывает перегрев деталей, их коробление и отпуск, макро- и микроструктура металла у таких валов не соответствует установленным стандартам. Около 45% и более наплавленного слоя металла превращается в стружку при механической обработке. При вибродуговой наплавке в поверхностном слое возникают значительные растягивающие напряжения, в результате чего резко снижается усталостная прочность (до 50-65%), искажается геометрия детали.

**Условия и методы исследования.** Анализ способов восстановления ступенчатых валов. В таблице приведена классификация существующих способов восстановления ступенчатых валов.

Таблица

Способы восстановления ступенчатых валов

№	Наименование способа восстановления	Схемы	Устраняемые дефекты
1	Наплавка		- шлицы; - посадочные места; - резьбы.
2	Электроконтактная сварка		- шлицы;
3	Совмещенная технология восстановления шлицев		- шлицы;
4	Пластическая деформация роликами		- шлицы;
5	Металлизация		- шлицов до 0,2 мм;
6	Полимерные материалы		- посадочные места
7	Гальваника		- посадочные места
8	Восстановление под ремонтный размер		- посадочные места - резьбы

Редко примеряются другие способы восстановления, такие как электроконтактная сварка, металлизация, гальваника и другие.

Преимущества электроконтактной наплавки [3], по сравнению с дуговой наплавкой – это небольшие потери присадочной проволоки и малая зона термического влияния. Применение контактной сварки для восстановления ступенчатого вала затруднено, так как восстановление шлицев производится продольно оси вала, что намного снижает производительность. При этом восстанавливаются только прямоугольные шлицы. Кроме того, при наплавке не устраняются такие дефекты, как изгиб и скручивание валов.

В Челябинском институте механизации и электрификации сельского хозяйства разработана технология [4], согласно которой наплавка совмещается с обкаткой наплавленного слоя специальным – накатником. Это позволяет получить припуск на обработку резанием в пределах 0,2-0,3 мм. К недостаткам этого способа относится то, что он не предусматривает восстановления других изношенных поверхностей. Требуется высокая точность при работе, что ограничивает его применение в практике.

Московским ордена «Трудового Красного Знамена» институтом инженеров сельскохозяйственного производства им. В.П.Горячкина совместно с Пермским сельскохозяйственным институтом разработан способ восстановления шлицев пластическим деформированием с помощью многороликовых головок [5]. Основным недостатком этого способа является сложность настройки калибровочных роликов на требуемый размер шлицев. Необходимо иметь комплект шлицераскатных головок для каждого восстанавливаемого вала с разным числом шлицев. При этом точность восстановленных шлицев зависит от точности шлицераскатной головки. Кроме того, восстанавливаются только прямоугольные шлицы, имеющие минимальный износ.

Для восстановления посадочных мест под подшипники иногда применяется металлизация [6]. Наплавленный слой имеет пористую структуру и содержит большое количество окислов в виде тонких пленок вокруг отдельных частиц. Прочность сцепления частиц между собой и поверхностью детали в несколько раз меньше прочности основного металла. Этим способом нельзя восстанавливать элементы детали, подвергающиеся ударной нагрузке (шлицы, зубья шестерен) и другие, и испытывающие значительные удельные давления (резьбу, шпоночные канавки). После металлизации снижается усталостная прочность детали. Гальваническими покрытиями восстанавливаются детали, имеющие сравнительно малый износ. При этом возникают растягивающие напряжения в электролитическом осажденном слое. Напряжение тем больше, чем толще покрытие. При определенной толщине растягивающие напряжения достигают таких значения, которые приводят к отслоению покрытия.

Для восстановления посадочных мест под подшипники используют герметик 6Ф и эластомер ГЭН-150 (В) [7]. Основным недостатком восстановления деталей с применением полимерных покрытий является то, что при определенной нагрузке и температуре происходит расслоение покрытий, сопровождаемое интенсивным износом. Применение полимерных материалов и гальванических покрытий для восстановления ступенчатых валов усложняет технологию, так как остальные поверхности (шлицы и резьбовая часть) восстанавливаются другими способами.

В практике для восстановления посадочных и резьбовых поверхностей ступенчатых валов часто применяют способ ремонтных размеров, не

требующий дополнительных материалов, снижающий до минимума трудоемкость. Однако в связи с уменьшением диаметра восстанавливаемой поверхности несколько снижается прочность вала, и увеличиваются удельные давления, что в большинстве случаев приводит к возрастанию износа. Кроме того, затрудняется взаимозаменяемость деталей и усложняется снабжение запасными частями.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Таким образом, показатели надежности и технологичности известных способов, применяемых в настоящее время для восстановления ступенчатых валов в ремонтном производстве страны, не могут конкурировать с показателями новых деталей.

Основные предпосылки восстановления ступенчатых валов давлением.

Способ восстановления давлением заключается в изготовлении поковок из изношенных деталей с последующей их обработкой в соответствии с техническими требованиями на новые детали. Для компенсации износа и создания у поковок припусков на детали перед штамповкой наносят компенсирующий металл. Место нанесения компенсаторов выбирают по эпюрам напряжений в детали с учетом схем формообразований поковок. Восстановление деталей, изготовленных литьем или штамповкой, сводится только к обработке давлением в закрытом штампе, в основном, без применения компенсирующего металла. В этом случае на изношенные поверхности металл перемещается с малонагруженных участков, не имеющих посадочных поверхностей. Поковки, изготовленные из изношенных деталей, имеют незначительные припуски, что позволяет обработку резанием производить по сокращенному технологическому циклу. Производительность способа восстановления деталей горячей объемной штамповкой в десятки раз превышает производительность известных способов. Например, при восстановлении валов сцепления двигателя А-41 предполагаемая норма времени для обработки их давлением составляет не более 2 мин., тогда как при восстановлении наплавкой она составляет 49,9 мин.

В настоящее время разработаны технологии восстановления давлением деталей типа звеньев гусениц [2], зубчатых колес, шатунов, гладких валов и втулок. Коэффициент после ремонтного ресурса литых звеньев гусениц тракторов кл. 30 вН находится в пределах 0,9-1,2 в сравнении с новыми деталями, а у зубчатых колес, шатунов и гладких валов и втулок коэффициент послеремонтного ресурса составляет соответственно 1,26:1,0:1,2.

Типовая схема технологического процесса восстановления деталей горячей объемной штамповкой включает следующие операции: очистка заготовок от загрязнений, входной контроль, технологическая доработка, нагрев под обработку давлением, штамповка поковки, нормализационный отжиг, обработка резанием, термическая или химико-термическая обработка, финишные операции. Большинство из перечисленных операций отработано и широко применяется в машиностроении и ремонтном производстве.

Применительно к литым звеньям гусениц, шатунам, зубчатым колесам, гладким валам и втулкам отработаны и остальные операции технологического процесса: технологическая доработка и штамповка.

Для изготовления поковок из изношенных ступенчатых валов за основу принята схема формообразования поковок из гладких валов и втулок [5]. Штамп для формообразования таких поковок (рис.2) состоит из нижней и верхней обоймы, в цилиндрической горизонтальной расточке которой установлены подвижные секции. В сомкнутом штампе секции образуют две полуматрицы, в которых помещается изношенный вал с приваренным к его

торцу компенсатором. Заготовка, установленная в центрирующие пояски и матриц, осаживается ступенчатыми пуансонами и с индивидуальными гидроприводами. В начальной стадии осаживания пуансоны малыми торцами вытесняют металл из центрирующих поясков, после чего большие торцы пуансонов воздействуют на матрицы. Перемещаясь, матрицы осаживают заготовку на длину с незначительным контактным трением. Это позволяет осаживать заготовки с отношением  $l/d$  от 3 до 11 и более. С целью реализации данной схемы формообразования поковок осаживанием на ступенчатых валах проведен эксперимент в макетном штампе (рис.), состоящем из опорной плиты I, обоймы 2, ступенчатой матрицы 3 с крышкой, в которой помещался образец. Образец осаживался на прессе пуансоном.



Рис. Макетный штамп для проведения эксперимента по осаживанию ступенчатых валов

Установлено, что при формообразовании поковок из изношенных ступенчатых валов осаживанием в закрытом штампе в сопряжении ступеней большего и меньшего диаметров образуется кольцевой зажим, который для большинства валов является недопустимым по условиям прочности. В связи с этим вопрос устранения зажима при осаживании ступенчатых валов требует решения. Кроме того, в известных работах [4] не рассматривался процесс изготовления поковок осаживанием из деталей с шлицевыми и резьбовыми поверхностями.

Изготовление поковок из изношенных валов осуществляется на гидравлических многошпиндельных прессах. Выталкивание из матрицы поковок с помощью цилиндра выталкивателя гидропресса не дает должного эффекта, так как поковка при раскрытии штампа может находиться как в нижних, так и в верхних полуматрицах. Известные рекомендации по удерживанию поковок в нижних секциях матрицы за счет смещения вверх, относительно горизонтальной оси матрицы, плоскости разъема штампа имеют ограниченное применение, так как заплечики, удерживающие поковку, быстро изнашиваются.

Поковки длинномерных валов необходимо удалять из штампа с таким расчетом, чтобы при выталкивании из верхней половины штампа избежать их падения с большой высоты и, как следствие-искажения их геометрии.

**Заклучение.** Проведенный анализ литературных источников и результаты предварительных экспериментальных исследований позволяет сделать следующие выводы:

1. Ступенчатые валы, восстановленные рассмотренными способами, по показателям технологичности и надежности не могут конкурировать с новыми деталями, изготовленными в соответствии с действующими стандартами. Прежде всего, это большая длительность технологического цикла, так как дефекты, количество которых в различных сочетаниях может быть семь, и более устраняются последовательно. Соответственно увеличивается трудоемкость процесса восстановления в несколько раз. У ступенчатых валов, восстановленных наплавкой, гальваническими покрытиями и металлизацией, до 40% снижается усталостная прочность. Последние два способа нельзя применять для восстановления резьбовых и шлицевых поверхностей. Наплавленные различными способами поверхности имеют пятнистую твердость, макро- и микроструктура не отвечает техническим требованиям.

2. Наиболее прогрессивным способом восстановления ступенчатых валов является способ горячей объемной штамповки, что подтверждается исследованиями по восстановлению гладких валов, втулок, зубчатых колес.

3. Предварительными экспериментальными исследованиями установлено, что формообразование поковок осаживанием в закрытых штампах не представляется возможным, так как в сопряжении ступеней большего и меньшего диаметров образуется кольцевой зажим, который для большинства валов недопустим по условиям прочности.

#### Список литературы

1. Ибылдаев, М.Х. Технология восстановления ступенчатых валов нефтегазовой техники горячей объемной штамповкой [Текст]: монография / М.Х. Ибылдаев. – Тараз: «Издательство ТИГУ», 2014 г. – 157 с.
2. Герман, В.К. Совмещенная технология восстановления зубев шестерен и шлицевых валов [Текст] / В.К. Герман, А.С. Широков // Техника и сельскохозяйственные машины. – 2002. – №10. – С.50.
3. Коротун, Н.Н. Исследование процессов восстановления прямобочных шлицев на валах пластическим деформированием роликовым инструментом [Текст]: Дис. канд. тех. Наук: – М., 2004. – 245 с.
4. Некрасов, С.С. Восстановление прямобочных шлицев на валах пластическим деформированием роликовым инструментом [Текст] / С.С. Некрасов, Н.Н. Коротун // Техника в сельскохозяйственных машинах. – 2004. – №5. – С.73-75.
5. Коттрелл, А.Х. Дислокация и пластическое течение в кристаллах [Текст] / А.Х. Коттрелл. – М.: Металлургиздат, 2008. – 267 с.
6. Коттрелл, А.Х. Строение металлов и сплавов [Текст] / А.Х. Коттрелл – М.: Металлургиздат, 2008. – 288 с.
7. Пашин, Ю.Д. К вопросу оценки прочности и износостойкости стальных электрометаллизационных покрытий [Текст] / Ю.Д. Пашин // Вестник машиностроения. – 1999. – № 9.

*Материал поступил в редакцию 18.09.23*

**М.Х. Ибылдаев**

*М.Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті, Тараз қ., Қазақстан*

### **САТЫЛЫ БІЛІКТЕРДІ ҚЫСЫММЕН ҚАЛПЫНА КЕЛТІРУДІҢ НЕГІЗГІ АЛҒЫШАРТТАРЫ**

**Аңдатпа.** Қазіргі уақытта елдің жөндеу өндірісінде сатылы біліктерді қалпына келтіру үшін қолданылатын белгілі әдістердің сенімділігі мен өнімділігі көрсеткіштері Жаңа бөлшектердің көрсеткіштерімен бәсекелесе алмайды. Қадам біліктерін қалпына келтірудің ең прогрессивті әдісі-ыстық көлемді штамптау әдісі. Қысыммен қалпына келтірілген бөлшектердің техникалық сипаттамасы олардың сапасы сериялық бөлшектерден төмен емес екенін көрсетеді.

**Тірек сөздер:** сатылы білік, қалпына келтіру әдістері, діріл доғасының беткі қабаты, пластикалық деформация, жөндеу өлшемі, сапасы.

**М.Н. Ibyldaev**

*M.Kh. Dulaty Taraz Regional University, Taraz, Kazakhstan*

### **PRINCIPLES OF PRESSURE REHABILITATION OF STANDARD SHAFTS**

**Abstract.** The reliability and performance indicators of the known methods currently used in the country's repair industry for the restoration of stepped shafts cannot compete with the indicators of new parts. The most progressive method of restoring step shafts is the method of hot volume stamping. The technical characteristics of pressure-remanufactured parts indicate that their quality is not inferior to serial parts.

**Keywords:** stepped shaft, restoration methods, vibration arc surface, plastic deformation, repair size, quality.

#### **References**

1. Ibyldaev, M.H. Technology of restoration of stepped shafts of oil and gas equipment by hot volumetric stamping [Tekhnologiya vosstanovleniya stupenchatyh valov neftegazovoj tekhniki goryachej ob"emnoj shtampovkoj]. Monograph. – Taraz: "TIGU Publishing House", 2014 – 157 p. [in Russian]
2. Herman, V.K., Shirokov, A.S. Combined technology of gear teeth and spline shafts restoration [Sovmeshchennaya tekhnologiya vosstanovleniya zubev shesteren i shlicevyyh valov]. // Machinery and agricultural machinery [Tekhnika i sel'skohozyajstvennyye mashiny]. 2002. No.10. P.50. [in Russian]
3. Korotun, N.N. Investigation of the processes of restoration of straight-line slots on shafts by plastic deformation with a roller tool [Issledovanie processov vosstanovleniya pryamobochnyh shlicev na valah plasticheskim deformirovaniem rolikovym instrumentom]. Dis. Candidate of Technical Sciences. M.: 2004. – 245 p. [in Russian]
4. Nekrasov, S.S., Korotun, N.N. Restoration of straight-line slots on shafts by plastic deformation with a roller tool [Vosstanovlenie pryamobochnyh shlicev na valah plasticheskim deformirovaniem rolikovym instrumentom] // Machinery in agricultural machines [Tekhnika v sel'skohozyajstvennyh mashinah]. 2004. No.5. P.73-75. [in Russian]
5. Cottrell, A.X. Dislocation and plastic flow in crystals [Dislokaciya i plasticheskoe techenie v kristallah] M., Metallurgizdat, 2008. – 267 p. [in Russian]
6. Cottrell, A.X. The structure of metals and alloys [Stroenne metallov i splavov] M., Metallurgizdat, 2008. – 288 p. [in Russian]

7. Pashin Yu.D. On the issue of assessing the strength and wear resistance of steel electrometallization coatings [K voprosu ocenki prochnosti i iznosostojkosti stal'nyh elektrometallizacionnyh pokrytij] // Bulletin of Mechanical Engineering. 1999. № 9. [in Russian]