



ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ

Бафоев Дусмурод Холмуродович,
(старший преподаватель, Бухарский инженерно-технологический институт,
Узбекистан. Тел. (+99890) 745-10-40. Email: bafayev07111967@mail.ru);

Шодмонов Миржон Давлат ўғли
(студент группы 500-21 МТА, Бухарский инженерно-технологический
институт, Узбекистан. Тел. (+99899) 575-50-09).

Аннотация

В статье представлены материалы по использованию высокопрочных сталей с большой их чувствительностью к концентрации напряжений, разнообразным видам дефектов поверхности, загрязнённости неметаллическими включениями и высокими значениями упругости деталей, а также повышенному сопротивлению динамическим нагрузкам. Предложен эффективный способ упрочения коленчатых валов при их изготовлении и ремонте. Технический результат изобретения заключается в увеличении эффективности и качества поверхностной обработки галтелей стальных коленчатых валов. Поставленный технический результат достигается за счёт того, что одновременно осуществляют обкатку обеих галтелей одной шейки коленчатого вала с использованием трёх пар деформирующих роликов различного профильного радиуса.

AN EFFECTIVE METHOD FOR INCREASING THE FATIGUE STRENGTH OF CRANKSHAFT

Bafoev Dusmurod Kholmurodovich,
(Senior Lecturer, Bukhara Engineering and Technological Institute, Uzbekistan.
Tel. (+99890) 745-10-40. Email: bafayev07111967@mail.ru);

Shodmanov Mirjon Davlat ugli
(Student of group 500-21 MTA, Bukhara Engineering and Technological Institute,
Uzbekistan. Tel. (+99899) 575-50-09).



Abstract

The article presents materials on the use of high-strength steels with high sensitivity to stress concentration, various types of surface defects, contamination with non-metallic inclusions and high values of elasticity of parts, as well as increased resistance to dynamic loads. An effective method for strengthening crankshafts during their manufacture and repair is proposed. The technical result of the invention consists in increasing the efficiency and quality of surface treatment of steel crankshaft fillets. The set technical result is achieved due to the fact that both fillets of one crankshaft journal are simultaneously rolled using three pairs of deforming rollers of different profile radii.

Введение

Увеличение статической прочности деталей не всегда равнозначно повышению их долговечности, так как с ростом предела прочности увеличивается вероятность усталостного и хрупкого разрушений деталей. Использование высокопрочных сталей ограничивается большой их чувствительностью к концентрации напряжений, к различного рода дефектам поверхности, загрязненности неметаллическими включениями. Поэтому, когда наряду с высокими величинами упругости детали должны обладать большим сопротивлением к динамическим нагрузкам, использование высокопрочных сталей оказывается малоэффективно. Высокие требования современного машиностроения ставят перед металловедением задачи, которые не могут быть решены применением традиционных видов термической и химико-термической обработки. В настоящее время накоплен большой опыт в разработке новых способов повышения надежности деталей и конструктивных узлов. Из многочисленного арсенала современных средств упрочнения не всегда легко выбрать оптимальный вид для конкретного случая. Сравнение эффективности различных способов повышения эксплуатационной стойкости деталей дало возможность наметить области их рационального применения с учетом факторов, лимитирующих надежность деталей в данных условиях.



International Conference on Modern Science and Scientific Studies

Hosted online from Madrid, Spain

Website: econfseries.com

20th December, 2024

Одним из наиболее эффективных видов упрочнения является поверхностное пластическое деформирование (ППД). Благодаря особенностям воздействия ППД позволяет полнее реализовать потенциальные свойства высокопрочных сталей. Очень эффективно ППД в сочетании с другими способами упрочнения. Комбинированные способы упрочнения могут расцениваться как дополнительные резервы повышения эксплуатационной стойкости деталей машин. Сочетание ППД с другими способами упрочнения позволяет использовать преимущества и возможности каждого из них и тем самым удовлетворить разнообразные требования: высокой прочности, вязкости, износостойкости, коррозионной стойкости. При этом можно получить значительно большие показатели статической, чем при применении каждого способа в отдельности. Механизмы процессов, протекающих при различных видах деформационного упрочнения, тщательно изучаются в связи с теоретическим и практическим значением этого вопроса для проблемы прочности в целом, а также с целью управления этими процессами и эффективного использования возможностей каждого из них. Увеличение прочностных свойств даже до наиболее высоких значений, достигаемых современной техникой, не приводит к заметному повышению усталостной прочности и, как правило, вызывает уменьшение коэффициента выносливости – отношения предела выносливости к пределу прочности.

Основная часть. Предлагаемый способ относится к упрочняющей обработке коленчатых валов способами поверхностного пластического деформирования и может быть использовано при изготовлении и ремонте коленчатых валов. Известен способ повышения усталостной прочности коленчатых валов обкатыванием галтелей роликом, профильный радиус которых выполняют равным радиусу кривизны обрабатываемых галтелей. В некоторых случаях профильный радиус роликов выполняют по нижнему предельному отклонению радиуса галтели. Главными недостатками известного способа являются низкая степень упрочнения, недостаточная глубина залегания и абсолютное значение остаточных сжимающих напряжений, что связано со сложностью получения значительных усилий деформирования из-за наличия



International Conference on Modern Science and Scientific Studies

Hosted online from Madrid, Spain

Website: econfseries.com

20th December, 2024

линейного контакта между роликом и галтелью. Таким образом указанный способ имеет низкую эффективность пластического деформирования и не позволяет достичь значительного повышения усталостной прочности коленчатого вала [1].

Известен способ упрочнения галтелей, при котором осуществляют обкатывание поверхности галтелей роликами различной длины и различного профильного радиуса при вращении детали и роликов вокруг собственных осей, причем подача роликов по профилю галтели осуществляется с перекрытием упрочненных зон. Данный способ упрочнения принят за прототип.

Недостатком известного способа обработки деталей поверхностным пластическим деформированием является низкое качество обработанной поверхности, которое выражается в неравномерном распределении физико-механических свойств металла поверхностного слоя и его неоднородном микрорельефе, образующегося при обкатке роликами с подачей по профилю галтели, что может привести к снижению предела усталостной прочности коленчатого вала. Кроме того, применение данного способа для упрочнения автотракторных коленчатых валов имеет определенные технологические трудности, связанные с их конструктивными особенностями, а именно с небольшими радиусами галтельных переходов и относительно небольшими длинами шеек.

Технической задачей предложенного способа является повышение эффективности поверхностной пластической обработки стальных коленчатых валов путём упрочнения галтелей, обеспечивая на различной глубине создание направленных зон с максимальными остаточными сжимающими напряжениями и формирование однородного микрорельефа обрабатываемых поверхностей. Это, в целом, приводит к повышению усталостной прочности и износостойкости коленчатых валов. Кроме того, технической задачей является упрощение технологического процесса упрочнения коленчатых валов с расширением его технологических возможностей при одновременном увеличении производительности обработки.



International Conference on Modern Science and Scientific Studies

Hosted online from Madrid, Spain

Website: econfseries.com

20th December, 2024

Задача достигается в способе повышения усталостной прочности стальных коленчатых валов, при котором осуществляют обкатывание поверхностей галтелей роликами различного профильного радиуса при вращении детали и роликов вокруг собственных осей с одновременным образованием площадок контакта роликов с обеими галтелями одной шейки вала, где согласно изобретению, обкатывание поверхностей галтелей осуществляют тремя парами деформирующих роликов, которые устанавливают под углом $\varphi=43...48^\circ$ к оси обрабатываемой шейки вала, при этом одну пару роликов минимальной кривизны выполняют с профильными радиусами в 0,96 раза меньше радиуса обрабатываемых галтелей, получая в зонах силового контакта средние удельные давления 1600...1700 МПа, а профили двух других пар роликов выполняют с кривизной, получая в зонах силового контакта этих двух пар роликов с галтелями средние удельные давления 2000...2100 МПа и 2400...2500 МПа [2].

Оригинальность и отличия изобретения заключаются в том, что в целях снижения отрицательного силового воздействия на коленчатый вал в целом и повышения производительности обработки осуществляют одновременное обкатывание обеих галтелей одной шейки вала тремя парами профильных роликов, расположенных под углом 120° друг к другу. В целях создания сжимающих напряжений в зонах возникновения наиболее опасных эксплуатационных растягивающих нагрузок деформирующие ролики устанавливают в плоскости кривошипа коленчатого вала под углом $\varphi=43...48^\circ$ к оси обрабатываемой шейки вала. Для получения максимального эффекта упрочнения и повышения усталостной прочности коленчатого вала, достижения оптимальных глубин упрочнения при оптимальной шероховатости поверхностей галтелей деформирующие ролики выполняют с различным профильным радиусом, получая средние удельные давления в контакте между роликами и галтелями 1600...1700, 2000...2100 и 2400...2500 МПа при равномерном распределении усилия обкатки между всеми роликами. Профиль роликов минимальной кривизны выполняют с радиусом в 0,96 раза меньше радиуса обрабатываемой галтели.

На рис.1 изображена схема упрочнения в плоскости кривошипа; на рис.2 – схема расположения зон упругопластического деформирования в зоне контакта роликов с галтелями; на рис.3 – схема усталостных испытаний; на рис.4 – эскиз образца для усталостных испытаний.

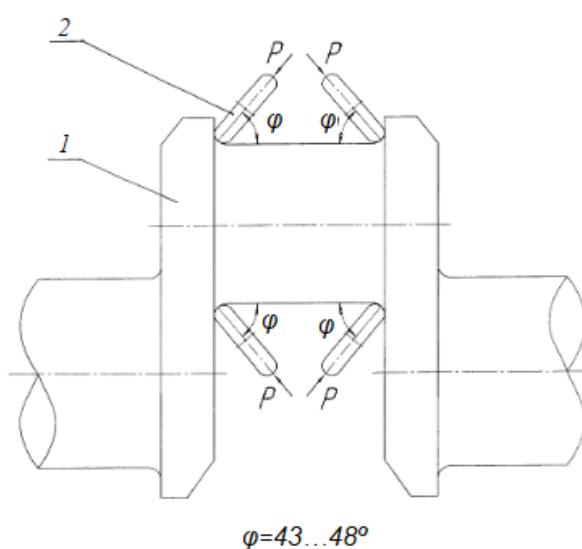


Рисунок 1.

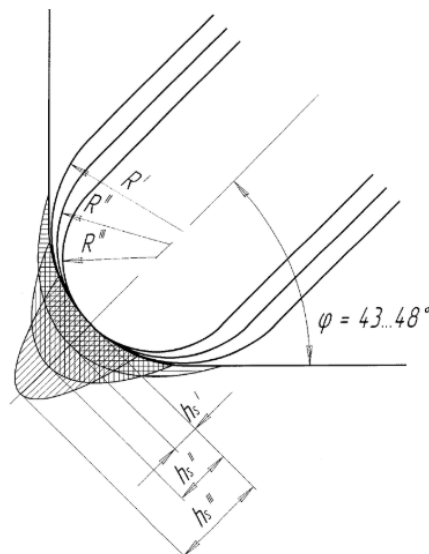


Рисунок 2. h_s – глубина упрочненного слоя; φ – угол наклона роликов к оси шейки коленчатого вала; R – профильный радиус роликов.

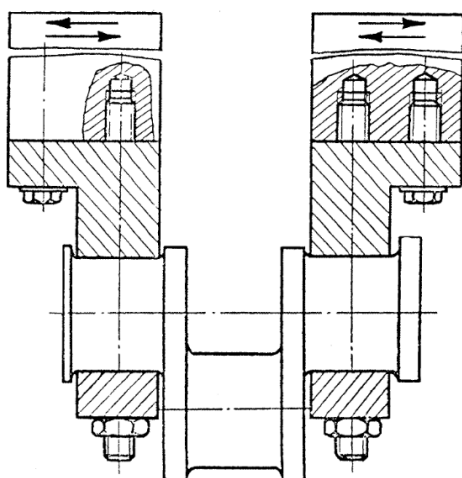


Рисунок 3.

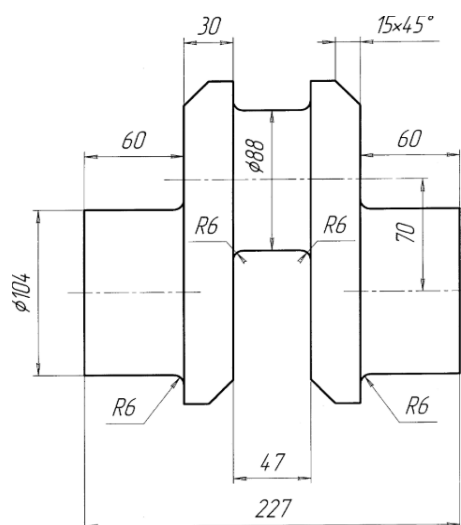


Рисунок 4.



International Conference on Modern Science and Scientific Studies

Hosted online from Madrid, Spain

Website: econfseries.com

20th December, 2024

Способ осуществляют следующим образом. В целях наименьшего силового воздействия на коленчатый вал в целом и избежания его деформаций производят одновременное обкатывание обеих галтелей одной шейки вала 1 (рис.1) тремя парами деформирующих роликов 2, расположенных в плоскости, перпендикулярной плоскости кривошипа, под углом 120° друг к другу. В плоскости кривошипа (рис.2) ролики 2 устанавливают под углом 43...48° к оси обрабатываемой шейки вала 1, в секторе воздействия максимальных эксплуатационных нагрузок на коленчатый вал. В процессе обработки коленчатому валу, закрепленному в центросместителях станка придают вращение вокруг оси той шейки, которую обрабатывают. Три пары деформирующих роликов вводят в контакт с обкатываемыми галтелями шейки вала. На каждый ролик прикладывают одинаковую нагрузку. Каждую пару роликов выполняют с различным профильным радиусом (рис.3), причем ролики минимальной кривизны выполняют с профильным радиусом $R^I = 0,96 \cdot R_r$, где R_r – радиус галтели. Деформирующую силу определяют из условия получения средних удельных давлений в контакте между галтелью и роликом минимальной кривизны 1600...1700 МПа. Ролики минимальной кривизны формируют правильный профиль галтели и позволяют получить оптимальную шероховатость поверхности галтели. Профильные радиусы двух других пар роликов определяют из условия получения в зоне силового контакта средних удельных давлений 2000...2100 и 2400...2500 МПа [3].

Ролики, обкатывающие галтели с такими средними удельными нагрузками, позволяют получить более значительные глубины упрочненной зоны и максимальные значения остаточных сжимающих напряжений в теле галтели. По данным проводившихся ранее исследований напряженного состояния в галтелях коленчатых валов [4] установлено, что при изгибе в плоскости кривошипа область максимальных напряжений на поверхности галтели располагается в средней части по профилю галтели несколько ближе к щеке и соответствует углу

$$\varphi = \varphi_{\sigma_{\max}} = 45 \dots 50^\circ,$$

при этом отсчет угла φ производится от радиуса-вектора, проведенного к линии сопряжения шейки с галтелью. При изменениях в известных пределах



International Conference on Modern Science and Scientific Studies

Hosted online from Madrid, Spain

Website: econfseries.com

20th December, 2024

соотношений различных конструктивных элементов коленчатого вала область максимальных напряжений может смещаться по профилю галтели как ближе к шейке, так и к щеке. Таким образом, угол $\varphi_{\sigma_{\max}}$ может изменяться в пределах от 35° до 60° . При кручении коленчатого вала максимальные касательные напряжения по профилю галтели возникают в области, находящейся ближе к шейке, что соответствует углу

$$\varphi = \varphi_{\tau_{\max}} = 30 \dots 40^\circ.$$

Также необходимо отметить, что нормальные растягивающие напряжения от изгибных нагрузок оказывают более негативное влияние на усталостную прочность коленчатого вала, чем тангенциальные напряжения, возникающие от кручения.

В связи с вышеуказанными замечаниями относительно зон возникновения наиболее опасных напряжений от эксплуатационных нагрузок на коленчатый вал, а также с проведенным анализом конструктивных особенностей стальных коленчатых валов и размерных соотношений их конструктивных элементов, с целью достижения максимального эффекта поверхностного пластического деформирования галтелей путем создания, в поверхностных слоях металла галтели направленных зон залегания остаточных сжимающих напряжений, которые, складываясь с растягивающими напряжениями от внешней нагрузки, уменьшают общую напряженность коленчатого вала, следствием чего является повышение его усталостной прочности, деформирующие ролики, обкатывающие галтели, должны устанавливаться под углом $\varphi=43\dots48^\circ$ к оси обрабатываемой шейки вала.

Одним из основных параметров, характеризующих процесс поверхностного пластического деформирования, является среднее удельное давление p в площадке контакта деформирующего элемента и обрабатываемой детали. Известно, что при поверхностном пластическом деформировании путем обкатывания получение наибольшего упрочнения и оптимальной напряженности поверхностного слоя достигаются при некотором значении среднего удельного давления в контакте, составляющем для конструкционных сталей, из которых изготавливаются коленчатые валы 2300...2500 Мпа. Наибольшая интенсивность уменьшения шероховатости обрабатываемой



International Conference on Modern Science and Scientific Studies

Hosted online from Madrid, Spain

Website: econfseries.com

20th December, 2024

поверхности наблюдается при меньших значениях средних удельных нагрузок, составляющих 1600...1800 МПа. В то же время для получения большей глубины распространения пластической деформации необходимо создавать более значительные средние удельные давления в зоне контакта деформирующего ролика с галтелью, но не превышающие некоторого критического давления. Для конструкционных сталей, применяющихся для изготовления коленчатых валов, критическим является давление 2600...2700 МПа. При дальнейшем увеличении контактного давления прекращается пластическое течение металла и начинается разрушение поверхности [5].

Технологически обкатывание галтелей коленчатых валов, исходя из условий нагружения детали, лучше всего производить трехроликовыми обкатниками охватывающего типа с упругим прижимом деформирующих элементов к обрабатываемой поверхности. Практическая реализация данного способа не вызывает технологических трудностей при применении трехроликовых приспособлений охватывающего типа с равномерным распределением усилия, создаваемого нагружающим устройством, по всем трем деформирующим элементам.

Для получения максимального эффекта упрочнения и прироста усталостной прочности необходимо получить наибольшую глубину распространения пластических деформаций в тело галтели и минимальное значение шероховатости ее поверхности.

Для достижения этих целей производят обкатку галтелей тремя парами деформирующих роликов, имеющих различный профильный радиус.

Деформирующую силу, воздействующую на ролики, определяют из условия получения при обкатке роликом минимальной кривизны относительной глубины распространения пластической деформации $h_s/D=0,015$.

Для определения оптимального профильного радиуса роликов минимальной кривизны проводились специальные экспериментальные исследования. Объектами исследования служили зоны галтельных переходов коренных и шатунных шеек в щеки коленчатых валов. Материал валов – сталь 45, твердость галтелей 28...32 HRC, радиус галтелей 6 мм. Были изготовлены ролики с различным соотношением R_p/R_r (см. табл.1), где R_p – профильный

International Conference on Modern Science and Scientific Studies

Hosted online from Madrid, Spain

Website: econfseries.com

20th December, 2024

радиус ролика, R_r – радиус галтельного перехода. Усилие обкатки определялось с учетом получения относительной глубины распространения пластической деформации $h_s/D=0,015$. После обкатывания галтелей роликами с указанными соотношениями производилось исследование качества поверхностного слоя галтелей и их формы. Выяснено, что при обкатке с $R_p/R_r=0,98...1,00$ невозможно достичь значительной степени упрочнения без приложения больших сил деформирования из-за наличия линейного или близкого к линейному контакта между роликом и галтелью. После пластического деформирования шероховатость поверхности галтели находилась в пределах $R_a=1,25...2,5$ мкм, что не соответствует техническим требованиям на исследуемые детали и приводит к снижению предела выносливости коленчатых валов. Обкатка галтелей роликами с соотношением $R_p/R_r=0,90...0,94$ показала, что на поверхности галтелей образуются наплывы металла в виде валиков и форма галтелей не соответствует требуемой. Процесс формообразования новой галтели проходит нестабильно. Для получения наиболее достоверных результатов оценки влияния соотношения R_p/R_r на предел выносливости коленчатых валов были проведены испытания на усталостной машине резонансного типа по схеме, указанной на рис.3. Образцами для испытаний являлись отсеки коленчатых валов, указанной на рис.4, включающие две коренные и одну шатунную шейки, вырезанные из натурных деталей. Результаты испытаний приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Результаты влияния величины R_p/R_r на предел выносливости

R_p/R_r	0,90	0,92	0,94	0,96	0,98	1,00
R_p , мм	5,40	5,52	5,64	5,76	5,88	6,00
σ_{-1} , МПа	140	160	170	185	175	165

Для определения эффективности предлагаемого способа упрочнения коленчатых валов произведены испытания на усталостную прочность. Испытания производились на усталостной машине резонансного типа по схеме, указанной на рис.3. Для испытаний использовались три партии образцов по шесть штук в каждой партии. Испытанию подвергались

International Conference on Modern Science and Scientific Studies

Hosted online from Madrid, Spain

Website: econfseries.com

20th December, 2024

неупрочненные, упрочненные по прототипу и упрочненные по предлагаемому способу образцы. Образцами для испытаний являлись отсеки коленчатых валов (рис.4), включающие две коренные и одну шатунную шейки, вырезанные из натурных деталей. Материал валов – сталь 45. Результаты усталостных испытаний сведены в таблицу 2.

Таблица 2

Результаты усталостных испытаний коленчатых валов

№ п/п	Вариант	σ_{-1} , МПа	%
1	Без упрочнения	105	100
2	Упрочнение по прототипу	175	167
3	Упрочнение по предлагаемому способу	205	195

Вывод. Таким образом, выявлено, что оптимальным является вариант, когда профильный радиус ролика минимальной кривизны находится в следующей зависимости с профильным радиусом галтели

$$R_p^I = 0,96 \cdot R_r$$

Такое соотношение R_p/R_r позволяет получать стабильно правильную форму галтели при необходимой чистоте поверхности и ведет к максимальному приросту усталостной прочности коленчатого вала.

Результаты усталостных испытаний показывают, что упрочнение по предлагаемому способу значительно повышает усталостную прочность стальных коленчатых валов, а следовательно, их надежность и долговечность.

Литература

1. Бафоев Д.Х. Повышение долговечности деталей машин. UNIVERSAL JOURNAL OF TECHNOLOGY AND INNOVATION. VOLUME 2, ISSUE 18, NOVEMBER, 2024. 22-27.
2. Патент РФ № 2004136786/02, 15.12.2004. Способ повышения усталостной прочности стальных коленчатых валов // Опубликовано 20.04.2002. Бюл. №16. / Петраков В.К., Сафонов В.К. [и др.].
3. Одинцов Л.Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием: Справочник. - М.: Машиностроение, 1987, с.94...95.



International Conference on Modern Science and Scientific Studies

Hosted online from Madrid, Spain

Website: econfséries.com

20th December, 2024

-
4. Папшев Д.Д. Отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием. - М.: Машиностроение, 1978, с.145.
 5. Технология поверхностной пластической обработки. Пшибыльский В. - М.; Металлургия, 1991, с.111.