

В. А. Витренко, д-р техн. наук, проф., **В. В. Черных**, ст. преп.
Луганский государственный университет имени Владимира Даля, ЛНР
Тел./Факс: +38 (0642) 344857; E-mail: vitrenko.vl@gmail.com

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА НАКАТКИ И РАСКАТКИ ДЕТАЛЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ТЕПЛОВЗОВ ЗА СЧЕТ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ НАКАТНОГО ИНСТРУМЕНТА

В статье рассматривается технология накатки и раскатки деталей колесных пар тепловозов при помощи накатного инструмента, полученного как огибающая накатываемой поверхности. Разработана принципиально новая схема формообразования накатного инструмента, позволяющая получить инструмент как огибающую обрабатываемой детали в пространственном станочном зацеплении. Рабочая поверхность инструмента получена при помощи формообразующего движения вдоль прямолинейной образующей однополостного гиперboloида. Показано влияние разработанной технологии и инструмента на диаграммы формирования колесных пар тепловозов.

Ключевые слова: гиперboloид, накатной ролик, профиль, схема формообразования, диаграмма запрессовки.

V. A. Vitrenko, V. V. Chernykh

IMPROVEMENT OF LOCOMOTIVES PAIR-WHEELS COMPONENTS ROLLING AND UNROLLING QUALITY DUE TO PERFECTION OF ROLLING INSTRUMENT

The article investigates locomotives pair-wheels components rolling and rolling out technique using rolling instrument obtained as an envelope of surface being rolled. Principally new scheme of rolling instrument formation allowing to get the instrument as an envelope of the component being treated in a space machine-tool engagement has been developed. Instrument working surface has been obtained using form-shaping motion along rectilinear generatrix of single-cavity hyperbola. The influence of developed technology and instrument on diagrams of locomotive pair-wheels formation has been shown.

Key words: hyperbola, knurling roll, profile, form-shaping scheme, diagram of pressing in.

1. Введение

При формировании элементов экипажной части подвижного состава, огромное значение имеет роль вида обработки их поверхностей. Так, поверхность оси колесной пары и отверстие в колесном центре тепловоза подвергаются накатке и раскатке их поверхностей [1], [2]. В данном случае обработки, рассматривается сглаживающая накатка сопрягаемых поверхностей. Поверхность оси тепловоза накатывается при помощи накатного ролика, ось которого параллельна оси накатываемой детали (оси тепловоза). Накатной инструмент и схема такой накатки приведены на рис. 1.

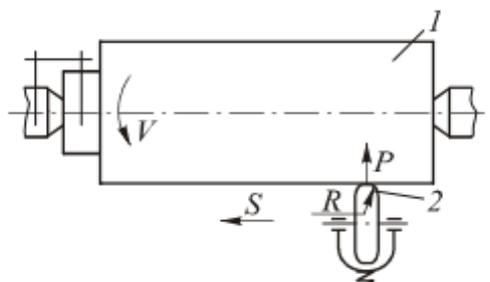


Рисунок 1. Схема накатки шейки оси тепловоза

Отверстие в колесном центре раскатывается при помощи двух раскатных роликов, оси которых параллельны оси отверстия в колесном центре (рис. 2).

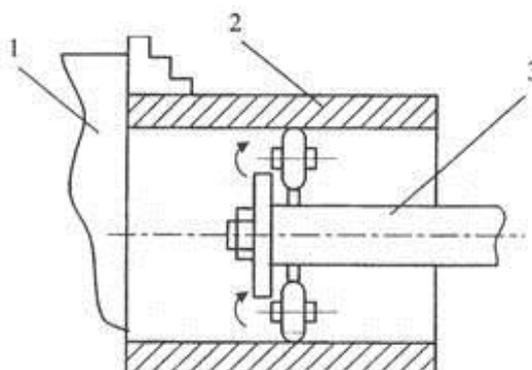


Рисунок 2. Схема раскатки отверстия в колесном центре тепловоза

Такая обработка наружных и внутренних поверхностей элементов колесной пары приводит к образованию винтовой линии, шаг которой увеличивается с увеличением подачи накатного (раскатного) инструмента. Борьба за повышение производительности накатки деталей приводит к увеличению шага этой винтовой линии. Кроме того, с увеличением усилия накатки (раскатки) увеличивается волна пластически деформируемого металла, бегущая перед накатным инструментом [3], [6]. Эти негативные последствия такой механической обработки обусловлены совпадением контактных линий на инструменте и обрабатываемой поверхности со скоростью скольжения контактирующих поверхностей [4], [5], [7].

Обработанные поверхности оси тепловоза и отверстия в колесном центре сопрягают при помощи гидропрессового метода соединения. Винтовая форма поверхностей этих деталей приводит к образованию брака запрессовки величина которого может достигать до 5% от количества прессуемых деталей.

2. Основное содержание и результаты работы

Для стабилизации процесса запрессовки необходимо разработать новый инструмент и технологию накатки оси и раскатки отверстия в колесном центре. Накатка деталей при помощи предлагаемого инструмента должна осуществляться таким образом, чтобы контактные линии на обрабатываемой детали располагались под углом к относительной скорости скольжения инструмента и детали. В этом случае накатной инструмент должен представлять собой огибающую накатываемой детали в пространственном станочном зацеплении. С этой целью в работе был разработан принципиально новый накатной и раскатной инструмент, схема его формообразования, а также технология накатки и раскатки перечисленных выше деталей колесных пар тепловозов.

Необходимо помнить, что поверхности накатного инструмента и накатываемой цилиндрической поверхности должны постоянно находиться в непрерывном взаимном касании. В относительном движении такие поверхности являются взаимоогibaемыми. Поэтому для нахождения условия непрерывности касания сначала нужно определить огибающую семейства поверхностей, описывающих накатной инструмент, в зависимости от их двухпараметрического огibaния.

Выберем систему координат x_1, y_1, z_1 в которой записан радиус – вектор, описывающий точку на обрабатываемой (накатываемой) поверхности:

$$r_1 = r_1(v, \psi) = \begin{pmatrix} x_1(v) - r \\ y_1(v) \\ z_1(\psi) \end{pmatrix} = (x_1(v) - r)\vec{i} + y_1(v)\vec{j} + z_1(\psi)\vec{k} \quad (1)$$

где: $x_1(v)$ и $y_1(v)$ - необходимые число раз дифференцируемые по параметру v функции, $r = const$ - радиус окружности, ψ - текущая координата по оси накатываемой детали z_1 . Далее для простоты переменные параметры v и ψ опустим.

Переход от системы координат связанной с накатываемой деталью x_1, y_1, z_1 к системе координат связанной с накатным инструментом x_2, y_2, z_2 осуществим при помощи матричного исчисления посредством следующего выражения:

$$r_2 = M_{2p} M_{p0} M_{01} r_1, \quad r_2 = M_{21} r_1 \quad (2)$$

где: M_{21} - матрица перехода от системы координат накатываемой детали к системе координат накатного инструмента.

В координатной форме поверхность или точка поверхности накатного ролика будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} x_2 &= (x_1 - r)(\cos \phi_1 \cos \phi_2 + \cos \gamma \sin \phi_1 \sin \phi_2) + y_1(-\sin \phi_1 \cos \phi_2 + \\ &\quad + \cos \gamma \cos \phi_1 \sin \phi_2) + z_1 \sin \gamma \sin \phi_2 + A \cos \phi_2; \\ y_2 &= (x_1 - r)(\cos \phi_1 \sin \phi_2 - \cos \gamma \sin \phi_1 \cos \phi_2) + y_1(-\sin \phi_1 \sin \phi_2 - \\ &\quad - \cos \gamma \cos \phi_1 \cos \phi_2) - z_1 \sin \gamma \cos \phi_2 + A \sin \phi_2; \\ z_2 &= (x_1 - r) \sin \gamma \sin \phi_1 + y_1 \sin \gamma \cos \phi_1 - z_1 \cos \gamma. \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь: ϕ_1 - угол поворота накатываемой детали, ϕ_2 - угол поворота накатного инструмента ($\phi_2 = u_{21} \phi_1$, где u_{21} передаточное число), γ - угол скрещивания осей, A - расстояние между осями накатываемой детали и накатного инструмента.

Таким образом, мы получили уравнения (3) однопараметрического семейства огибающих обрабатываемой цилиндрической поверхности или семейства поверхностей искомого накатного инструмента.

Чтобы получить уравнения поверхности накатного инструмента, из уравнений (3) необходимо исключить параметр ψ . Для этого воспользуемся уравнением непрерывности касания накатываемой детали и накатного инструмента. Это уравнение будет выглядеть следующим образом:

$$\left[\frac{\partial \vec{r}}{\partial v} \times \frac{\partial \vec{r}}{\partial \psi} \right] \frac{\partial \vec{r}}{\partial \phi} = 0. \quad (4)$$

Учитывая, что $\frac{\partial \vec{r}}{\partial v} \times \frac{\partial \vec{r}}{\partial \psi} = \vec{N}$ - общая нормаль к касающимся поверхностям, а $\frac{\partial \vec{r}}{\partial \phi} = \vec{V}^{(12)}$ - скорость относительного движения поверхности накатного инструмента и накатываемой оси теплового, уравнение (4) можно записать в следующем виде:

$$\vec{V}^{(12)} \vec{N} = 0. \quad (5)$$

Уравнение (5) является уравнением непрерывности станочного касания. Следовательно, контакт нашего накатного ролика и накатываемой детали будет непрерывным, т.е. постоянным. Если уравнение (5) приписать к уравнению (3), то получим систему уравнений, описывающих профиль искомого накатного ролика.

В первом эксперименте ось колесной пары накатывалась при помощи накатного ролика, ось которого параллельна оси накатываемой локомотивной оси (рис. 3а). Колесные центра раскатывались при помощи раскатки, в которой оси накатных роликов параллельны оси раскатываемого колесного центра.



Рисунок 3. Накатка оси локомотива при помощи существующего (а) и предложенного (б) инструмента

Во втором эксперименте ось тепловоза накатывалась при помощи разработанного гиперболоидного ролика (рис. 3б). Этот накатной ролик является огибающей накатываемой тепловозной оси и представляет собой однополостной гиперболоид. При его

формообразовании главным движением резания было движение вдоль прямолинейной образующей однополостного гиперboloида. Колесные центра раскатывались при помощи раскатки, в которой оси накатных роликов скрещиваются по отношению к оси раскатываемого колесного центра (рис. 4).

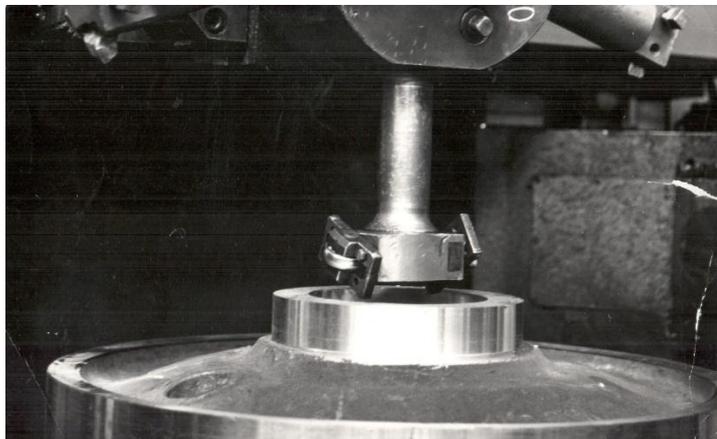


Рисунок 4. Раскатка оси в колесном центре при помощи предложенного инструмента

Наружный профиль таких роликов представляет собой бочкообразную форму и является огибающей раскатываемой детали в пространственном станочном зацеплении.

В качестве материала для предложенных накатных и раскатных роликов выбрана быстрорежущая сталь Р6М5 твердость которой лежала в пределах HRC 61...63. Обрабатываемый материал – осевая сталь. Для создания оптимального накатываемого слоя давление в контакте должно составлять $P = 0,0146 \text{ Мпа/мм}^2$. Это давление зависит от площади контактирующих тел, т.е. от их приведенной кривизны. Анализ приведенных кривизн, полученных в аналитическом виде для разработанного инструмента позволил найти величину усилия накатки в зависимости от геометрии накатного ролика и геометрии накатываемого (раскатываемого) изделия. Такой анализ позволил в значительной степени сократить объем дорогостоящих экспериментальных исследований, что в свою очередь снизило себестоимость формообразования колесных пар локомотивов.

В ходе экспериментальных исследований проводилось формирование колесных пар локомотива на гидравлическом прессе, процесс которого представлен на рис. 5.

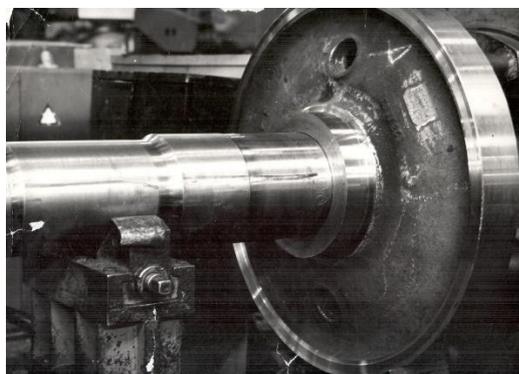


Рисунок 5. Гидропрессовый способ формирования колесной пары тепловоза

Процесс формирования заключался в прессовой посадке правого и левого колесных центров на ось локомотива. Результат такого формирования отражен на диаграммах запрессовки. При этом длина сопряженной части оси составляла $L=309,0\text{мм}$. На первом этапе проведено прессование левой части оси. Диаметр оси составлял $\Phi 235,21\text{мм}$, а диаметр отверстия в колесном центре составлял $\Phi 235,0\text{мм}$. Максимальное усилие запрессовки составило $P=129,28\text{т}$. Затем производилась запрессовка правой части оси. Диаметр оси составлял $\Phi 235,22\text{мм}$, а диаметр отверстия в колесном центре составлял $\Phi 235,0\text{мм}$. Максимальное усилие запрессовки составило $P=133,95\text{т}$. Диаграммы запрессовки представлены на рис. 6а. Во втором эксперименте ось колесной пары накатывалась при помощи специально спрофилированного накатного ролика, ось которого скрещивалась с осью накатываемой тепловозной оси. При этом длина сопряженной части оси составляла $L=309,0\text{мм}$. На первом этапе проведено прессование левой части оси. Диаметр оси составлял $\Phi 235,23\text{мм}$, а диаметр отверстия в колесном центре составлял $\Phi 235,02\text{мм}$. Максимальное усилие запрессовки составило $P=126,24\text{т}$. Затем производилась запрессовка правой части оси. Диаметр оси составлял $\Phi 235,24\text{мм}$, а диаметр отверстия в колесном центре составлял $\Phi 235,02\text{мм}$. Максимальное усилие запрессовки составило $P=124,95\text{т}$. Диаграммы запрессовки представлены на рис. 6б.

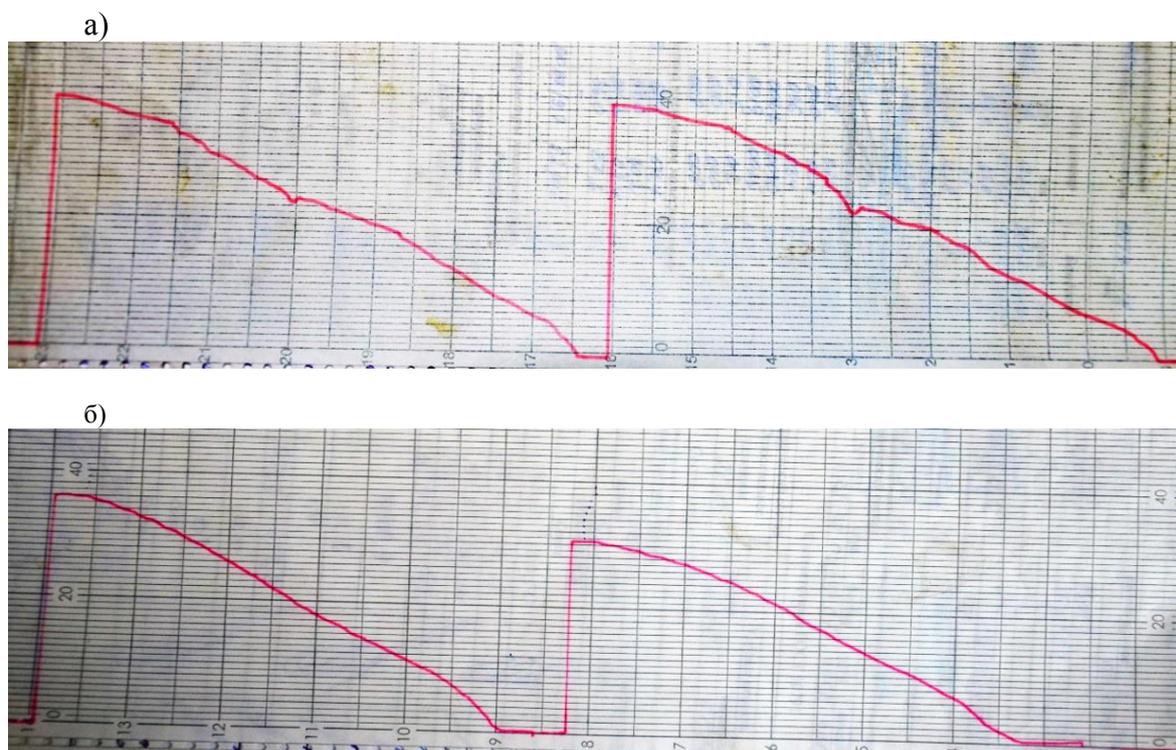


Рисунок 6. Диаграммы запрессовки элементов колесной пары, обработанных по стандартной (а) и предложенной (б) технологиям

Необходимо отметить, что анализ диаграмм запрессовки показал, что при запрессовке элементов колесной пары, обработанных по предложенной технологии при помощи гиперболоидного инструмента, диаграммы имеют стабильный вид. Нет рывков, скачков и других дефектов прессования. Это можно объяснить, тем, что накатка и раскатка элементов колесной пары при помощи разработанного инструмента позволила устранить винтовую линию на обработанных поверхностях. Кроме того, предложенная технология позволила устранить волну пластически деформированного металла, бегу-

щую перед накатным роликом. В целом эффект от внедренной новой технологии позволил в значительной степени приблизить теоретическую и практическую опорную поверхность на прессуемых деталях, что в значительной степени влияет на прочность прессовых соединений, устраняет ошибки и человеческий фактор при подборе деталей для селективной сборки колесных центров и осей тепловоза.

3. Заключение

Необходимо отметить, что выполненные исследования позволили:

1. Разработать схему формообразования принципиально нового накатного инструмента при которой формообразующий инструмент движется вдоль прямолинейной образующей однополостного гиперboloида.

2. В аналитическом виде найти профиль накатного инструмента, имеющий линейный характер касания с накатываемой деталью любого диаметра.

3. Найти основные геометрические и кинематические показатели процесса накатки и раскатки деталей локомотивов при помощи разработанного гиперboloидного инструмента.

4. Разработать конструкции накатного и раскатного инструмента, а также приспособлений, применяемых для накатки и раскатки деталей колесной пары локомотива.

5. Провести анализ диаграмм формирования колесных пар детали которых накатаны и раскатаны при помощи существующих инструментов и технологий, а также инструментов и технологий, предложенных в статье.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Блюменштейн В.Ю. Механика процесса поверхностного пластического деформирования. Модель упрочняемого упругопластического тела / В.Ю. Блюменштейн, М.С. Махалов // *Обработка металлов (Технология. Оборудование. Инструменты).* – 2018. – т. 20, № 4. – с. 6-20.

2. Браславский В.М. Технология обкатки крупных деталей роликами / В.М. Браславский. – М.: Машиностроение, 1976. – 159 с.

3. Бутенко В.И. Финишная обработка поверхностей деталей: способы, устояства, инструменты / В.И. Бутенко. – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2018, 219с.

4. Kozlov A.M. Modeling a Cylindrical Surface Machined by a Non-Circular Face Tool / A.M. Kozlov, A.A. Kozlov, Y.V. Vasilenko // *Procedia Engineering.* – 2016, №150. – Pp. 1081-1088 doi: 10.1016/j.proeng. 2016.07.21.

5. Нагоркин М.Н. Параметрическая надёжность технологических систем чистой и отделочно-упрочняющей обработки поверхностей деталей машин инструментами из сверхтвёрдых синтетических материалов: моногр. / М.Н. Нагоркин; под ред. А.В. Киричека. – М.: Спектр, 2017. – 304 с.

6. Технология и инструменты отделочно-упрочняющей обработки деталей поверхностным пластическим деформированием: справочник в 2-х т., т. 2. / А.Г. Суслов, А.П. Бабичев, А.В. Киричек и др.: под общ. ред. А.Г. Суслова. – М.: Машиностроение, 2014. – 444 с.

7. Чижик С.А. и др. Обеспечение качества изделий в технологических комплексах. Под общ. ред. М.Л. Хейфеца. – Минск: Беларуская навука, 2019. – 248 с.

Поступила в редколлегию 14.04.2021 г.