

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ОБКАТЫВАНИЯ НА ПАРАМЕТРЫ УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ОСЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР

С.Г. Бохан, В.В. Титов

*Белорусский национальный технический университет, Минск*

**Введение.** Целью настоящего исследования явилось определение возможности упрочнения осей колесных пар трамвайных тележек с применением механических накатных устройств с упругим силовым элементом. Технологическая сложность процесса упрочнения методами ППД такого типа деталей определяется необходимостью применения больших усилий обкатывания, а использование для их создания гидравлических приспособлений в значительной мере удорожает процесс упрочнения. Отсюда следует потребность в более подробном рассмотрении процессов в зоне контакта ролика с деталью, что, в свою очередь позволит оптимизировать режимы обкатывания для обеспечения максимально возможной глубины упрочняемого слоя с применением механических обкатных приспособлений.

**Методика исследования процесса деформирования поверхностного слоя при обкатывании роликом.** В работах П.Г. Алексева, В.М. Браславского, М.А. Балтер, И.В. Кудрявцева, Д.Д. Папшева, А.Г. Суслова и других ученых показано, что использование методов поверхностного пластического деформирования (ППД) дает возможность значительно повысить эксплуатационные характеристики обрабатываемых деталей [1, 2, 3, 4]. В процессе обкатывания роликами деформация поверхностного слоя локализуется в зоне, непосредственно примыкающей к рабочему профилю ролика, находящегося в контакте с поверхностью детали, при этом зона контакта будет иметь определенные геометрические характеристики, зависящие от режимов обработки.

Для изучения закономерностей изменения зоны пластической деформации был использован метод фотографирования в проходящем свете, позволяющий зафиксировать зону контакта в процессе обработки и по полученным фотографиям определить ее параметры.

В качестве геометрических характеристик зоны деформации использовались углы охвата ролика металлом детали [5]. Угол  $\varphi_1$  отсчитывался от радиуса профиля ролика, проведенного через верхнюю точку волны металла, возникающей перед роликом в направлении подачи, до оси симметрии профиля ролика. Угол  $\varphi_2$  отсчитывался от радиуса профиля ролика,

проведенного через верхнюю точку волны металла, возникающей за роликом в направлении, противоположном подаче, также до оси симметрии профиля ролика.

Таким образом, при рассмотрении продольного сечения зоны контакта ролика и детали величина пластической деформации поверхностного слоя детали в процессе обкатки может быть охарактеризована суммарным углом охвата ролика металлом детали:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2.$$

Тогда высота волны металла, возникающей перед роликом в направлении подачи, определяется углом  $\varphi_1$ , а высота волны металла, возникающей за роликом в направлении, обратном подаче, — углом  $\varphi_2$ .

Для определения величины этих углов в процессе обкатки осуществлялась фотосъемка зоны пластической деформации в проходящем свете, что позволило четко выявить зону пластического течения металла. Для определения степени увеличения фотографировалась масштабная линейка. По полученным фотографиям замерялись хорды  $AA_1$  и  $CC_1$ , проведенные из вершин волн металла перед роликом и за ним соответственно, к оси симметрии профиля ролика.

Тогда, зная увеличение  $m$  и радиус профиля ролика  $R_{np}$ , углы охвата ролика металлом детали определяются из следующих соотношений:

$$\sin \varphi_1 = \frac{AA_1}{R_{np} m}; \quad \sin \varphi_2 = \frac{CC_1}{R_{np} m}.$$

По найденным значениям углов в радианах определялись их зависимости от основных режимов обкатывания.

**Результаты и обсуждение.** Для исследования изменения углов охвата ролика металлом детали в зависимости от основных режимов обкатывания, а именно, продольной подачи и поперечного усилия обкатывания, был использован метод планирования эксперимента. В качестве математической модели принят полином второго порядка вида:

$$Y_x = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + B_{12} X_1 X_2 + B_{11} X_1^2 + B_{22} X_2^2.$$

Значения варьируемых параметров приведены в табл. 1.

По вышеизложенной методике определялись значения угла волны металла перед роликом  $\varphi_1$ , угла волны металла за роликом  $\varphi_2$  и величина суммарного угла охвата ролика материалом детали  $\varphi$ . Замеры углов производились по фотографиям при трехкратном повторении опытов. Обкатывались цилиндрические заготовки из стали 20 в состоянии поставки (НВ 136) роликом с радиусом рабочего профиля 2 мм, интервал используемых режимов приведен в табл. 1.

Уровни факторов и интервалы варьирования при обкатывании

Уровни факторов и интервалы варьирования	Натуральные величины		Кодовые значения	
	Усилие $P$ , Н	Подача $S$ , мм/об	$X_1$	$X_2$
Основной уровень	2300	0,35	0	0
Интервал варьирования	1100	0,35	1	1
Верхний уровень	3400	0,7	+1	+1
Нижний уровень	1200	0,05	-1	-1

С учетом полученных дисперсий и значимости коэффициентов искомые уравнения регрессии имеют вид:

$$Y_1 = 0,1884 + 0,0947X_1 - 0,1123X_2 + 0,08425X_2^2 - 0,0703 X_1 X_2,$$

$$Y_2 = 0,1531 + 0,0295X_1 + 0,0252X_2.$$

Из полученных уравнений видно, что подача оказывает на величину волн металла существенное влияние, а на волну металла перед роликом степень влияния даже больше, чем степень влияния усилия обкатывания в исследованном диапазоне режимов. С увеличением подачи высота волны металла перед роликом уменьшается, а за роликом увеличивается. Уравнение регрессии для суммарного угла охвата ролика металлом детали будет иметь вид:

$$Y = Y_1 + Y_2,$$

$$Y = 0,3415 + 0,1242X_1 - 0,0071X_2 + 0,0043X_2^2 - 0,0703X_1X_2.$$

Результаты исследований показали, что наибольшая волна металла может быть получена перед роликом, и с увеличением подачи происходит стабилизация этой волны, после чего она не изменяется. При обкатывании с усилием 600...1200 Н такая стабилизация наступает при подачах около 0,175...0,35 мм/об. Значительная по высоте волна пластической деформации образуется перед роликом во время обкатывания с усилиями 2500...3000 Н и выше. С ростом усилия обкатки волна металла перед роликом увеличивается и при малых подачах (около 0,05 мм/об) и усилиях обкатывания более 3000 Н достигает весьма значительных размеров, что может привести к полному разрушению обрабатываемой поверхности.

Анализируя весь исследуемый интервал подач, можно отметить, что при малых подачах течение материала происходит в основном из-под ролика в направлении подачи, то есть перед роликом, при этом доля угла

волны металла перед роликом в общем, суммарном угле охвата ролика металлом детали с ростом подачи уменьшается, а доля угла волны металла за роликом увеличивается. При обкатывании с усилием 3400 Н и выше и при малых подачах (0,05...0,09 мм/об) перед роликом образуется значительная волна пластического течения металла. С увеличением усилия обкатывания такое распределение металла в зоне деформации проявляется еще более четко. Деформация поверхностного слоя детали при таких режимах носит совершенно иной характер, чем при вдавливании ролика в неподвижную деталь с тем же усилием. Применение роликов с большим радиусом профиля при подачах 0,05...0,1 мм/об позволяют получить аналогичное распределение металла в зоне деформации и достичь при больших усилиях обкатывания требуемой глубины упрочнения. Исследования микротвердости поверхностного слоя показали, что после обкатывания осей колесных пар с усилием 20 кН и подачей 0,1 мм/об роликом с радиусом профиля 20 мм глубина упрочненного слоя достигает 0,6 мм.

**Выводы.** Исследованиями геометрических параметров зоны пластической деформации установлено, что величина самой зоны, распределение в ней металла, изменение величины углов охвата ролика металлом определяются соотношением режимов обработки. При малых подачах происходит образование значительной по высоте волны металла, и наличие такой волны дает возможность обеспечить требуемую деформацию поверхностного слоя детали, а, значит, и формирование наклепанного поверхностного слоя, достаточного для упрочнения осей колесных пар с использованием обкатного устройства с упругим элементом.

### Литература

1. Пашшев, Д.Д. Отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием / Д.Д. Пашшев. – М.: Машиностроение, 1978. – 152 с.
2. Benamar, A. Galetage d'un acier inoxydable / A. Benamar, J. Lu, J.-F. Flavenot, G. Chalant // CETIM-information. – № 124. – Senlis. – France. – 1991. – p. 49 – 54.
3. Баршай, И.Л. Обеспечение качества поверхности и эксплуатационных характеристик деталей после обработки в условиях дискретного контакта с инструментом / И.Л. Баршай. – Минск: УП «Технопринт», 2003. – 244 с.
4. Фельдштейн, Е.Э. Использование методов робастного проектирования Г. Тагучи для анализа и оптимизации процессов поверхностного пластического деформирования / Е.Э. Фельдштейн, П.С. Серенков // Материалы, технологии, инструменты. – Гомель. – 2005. – т. 10. – № 1. – с. 19 – 23.
5. Бохан, С.Г. Исследование процесса формирования рельефа поверхности при обкатывании роликом / С.Г. Бохан, Н.В. Шкинъ // Машиностроение. – Минск, 2008. – Вып. 24.

## КОМПЛЕКСНОЕ ЛАЗЕРО-ПЛАЗМЕННОЕ УПРОЧНЕНИЕ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ДИСКА КУЛЬТИВАТОРА

В.Н. Черникович, В.С. Голубев, И.А. Романчук, В.И. Гуринович  
*ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси», Минск*

Известно, что рабочие органы почвообрабатывающих машин (РОГМ) эксплуатируются в сложных условиях, испытывая при этом абразивный износ, механические и ударные нагрузки, вызывающие затупление режущей кромки и поломку детали. Это приводит к повышенному расходу горючего, простоя сельскохозяйственной техники. Поэтому материал, применяемый для изготовления лемехов, дисковых сошников, дисков культиваторов и др. должен обладать как высокой прочностью и пластичностью, так и высоким сопротивлением трению и ударному воздействию.

Традиционно применяемые в РБ в качестве материала основы РОГМ относительно недорогие марки сталей 30; 40Х; 65 Г и др. не удовлетворяют сегодня требованиям изделий нового поколения из-за низкого уровня их свойств. Такие изделия не могут полноценно конкурировать с изделиями ведущих западноевропейских фирм. Поэтому для достижения высоких эксплуатационных свойств необходимо как использование новых марок сталей, так и переход на использование современных технологических достижений на всех этапах изготовления деталей: получение заготовки и ее упрочнение с целью достижения дифференцированного распределения свойств по сечению. Это предполагает индивидуальный подбор режимов обработки, конструирование и создание специальной оснастки для каждого типа деталей с учетом их геометрических, конструкционных и теплофизических особенностей. При этом желателен применение ресурсо- и энергосберегающих технологий, к которым, несомненно, относятся технологии поверхностного упрочнения с использованием лазерного и плазменного воздействия [1].

В данном случае для поверхностного термического упрочнения рабочей поверхности диска культиватора ( $\varnothing 475$  мм) предложено комплексное использование вышеуказанных способов термообработки, при этом участок режущей кромки шириной до 8 мм подвергался лазерному модифицированию, оставшаяся поверхность шириной до 20 мм – воздействию плазменного факела. Оптимальные параметры процессов: мощность лазерного излучения и плазменной дуги, скорость сканирования лазерного луча, скорость движения плазмотрона относительно обрабатываемой по-