DOI: 10.65322/j.srd.02162026.34

# ШАРИКОВОЕ НАКАТЫВАНИЕ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ РЕГУЛЯРНОГО ВИНТОВОГО РЕЛЬЕФА НА НЕСУЩИХ ПОВЕРХНОСТЯХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

***Тураев Тиркаш,*** *доцент кафедры,*
*кафедры "Технология машиностроения",*
*E-mail: tirkash2044@gmail.com,*
***Мадаминов Бахром Миродилович,*** *доцент кафедры,*
*кафедры "Технология машиностроения",*
*E-mail: bahrom.madaminov.1989@mail.ru,*
*Ферганского государственного технического университета*

***Аннотация:*** *В работе рассматривается технология внешнего шарикового накатывания, применяемая для формирования регулярного винтового микрорельефа на поверхностях деталей машин, работающих в истирании. Проведён анализ контактного взаимодействия шарикового инструмента с поверхностью детали в рамках теории упругого контакта. Доказано, что изменение технологических параметров обработки приводит к перераспределению контактных напряжений, определяющему интенсивность пластической деформации поверхностного слоя, снижение шероховатости и формирование остаточных сжимающих напряжений. Применение шарикового накатывания обеспечивает упрочнение поверхностного слоя, что выражается в повышении износостойкости и сопротивления усталостному разрушению деталей.*

***Annotatsiya:*** *Ushbu maqola transport vositasi komponentlarining ishchi yuzalarida muntazam spiral mikrorelef hosil qilish uchun ishlatiladigan tashqi sharli prokat texnologiyasini o'rganadi. Sharli asbob va ish qismi o'rtasidagi kontakt o'zaro ta'sir elastik kontakt nazariyasi tamoyillari yordamida tahlil qilinadi. Qayta ishlash rejimining sirt qatlamining plastik deformatsiyasiga, pürüzlülüğün kamayishiga va siqilish qoldiq kuchlanishlarining hosil bo'lishiga ta'siri ko'rsatiladi. Sharli prokatdan foydalanish komponentlarning aşınma qarshiligi va charchoq kuchini oshirishi aniqlangan.*

***Abstract:*** *This paper examines external ball rolling technology used to form a regular helical microrelief on the working surfaces of transport vehicle components. The contact interaction between a ball tool and the workpiece is analyzed using the principles of elastic contact theory. The influence of the processing mode on the plastic deformation of the surface layer, roughness reduction, and the formation of compressive residual stresses is demonstrated. It is established that the use of ball rolling improves the wear resistance and fatigue strength of the components.*

***Ключевые слова:*** *шариковое накатывание, поверхностное упрочнение, винтовой микрорельеф, контактное давление, остаточные напряжения.*

***Kalit so'zlar:*** *sharli prokat, sirt qattiqlashishi, spiral mikrorelef, kontakt bosimi, qoldiq kuchlanishlar.*

***Keywords****: ball rolling, surface hardening, helical microrelief, contact pressure, residual stresses.*

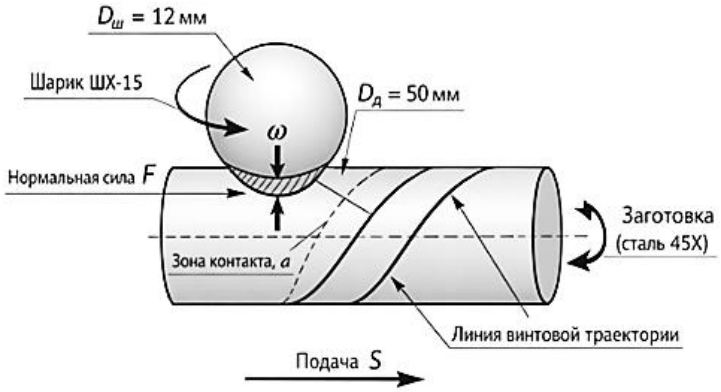
**Введение.** Повышение долговечности и надёжности деталей транспортных машин выступает одной из центральных задач современного машиностроения. Значительная часть отказов деталей происходит из-за усталостного разрушения и износа поверхностных слоёв. Поэтому большое внимание уделяется методам поверхностного упрочнения, позволяющим повысить эксплуатационные характеристики деталей без изменения их конструктивных размеров [1,2].

DOI: 10.65322/j.srd.02162026.34

Одним из эффективных способов обработки является шариковое накатывание, относящееся к методам поверхностного пластического деформирования. В отличие от резания, данный метод не сопровождается снятием материала, а основан на локальной пластической деформации поверхностного слоя под действием контактного давления инструмента. В результате обработки происходит сглаживание микронеровностей, повышение микротвёрдости и формирование остаточных напряжений сжатия, благоприятно влияющих на усталостную прочность деталей [3].

Особый интерес представляет применение шарикового накатывания для формирования регулярного винтового рельефа на цилиндрических поверхностях деталей транспортных машин. Такой рельеф способствует удержанию смазочного материала, снижению коэффициента трения и улучшению условий контактного взаимодействия.

**Материалы и методы.** Схема процесса шарикового накатывания показан на рисунке 1.




Элементы схемы: шарик диаметром Dш = 12 мм; цилиндрическая деталь Dд = 50 (мм); сила прижатия F, (Н); радиус контактной зоны a, мм; направление вращения детали n, (об/мин); направление подачи S, (мм/об); винтовая траектория деформирования.

**Рис. 1. Схема процесса шарикового накатывания цилиндрической поверхности**

Процесс обработки осуществляется шариковым инструментом, контактирующим с поверхностью цилиндрической детали при определённой силе прижатия. В рассматриваемом случае используется шарик диаметром Dш = 12 мм из подшипниковой стали ШХ-15, обладающей высокой твёрдостью и износостойкостью.

Обрабатываемая заготовка представляет собой цилиндрический деталь диаметром Dд = 50 мм из легированной конструкционной стали 45Х.

Во время обработки шарик прижимается к поверхности детали нормальной силой F и свободно вращается в процессе движения. Заготовка вращается вокруг своей оси, а инструмент получает осевую подачу S и вращением силой трением. В результате наложения вращательного движения детали и поступательной подачи инструмента на поверхности формируется винтовая траектория деформирования.

В зоне контакта инструмента и детали возникают высокие локальные напряжения, вызывающие пластическую деформацию поверхностного слоя [3, 4, 5].

**Контактное взаимодействие инструмента и детали**

Напряжённое состояние в зоне контакта определяется параметрами инструмента, материалом деталей и величиной силы прижатия. Контакт между шариком и цилиндрической поверхностью можно рассматривать как локальный упругопластический контакт.

Эквивалентный радиус кривизны определяется выражением

DOI: 10.65322/j.srd.02162026.34

$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{R_ш} + \frac{1}{R_д}$$

где: $R_ш$ – радиус шарика, (мм). $R_д$ – радиус цилиндрической поверхности детали.

Для заданных размеров: $R_ш$ =12 мм; $R_д$ = 50 мм подставляя этих данные формулу, получаем $R' \approx 8{,}3$ мм.

**Результаты.** Под действием силы прижатия формируется контактное пятно радиуса a. В пределах этой зоны возникают максимальные напряжения, которые при превышении предела текучести материала вызывают пластическую дефор-мацию поверхностного слоя (см. рис.2).

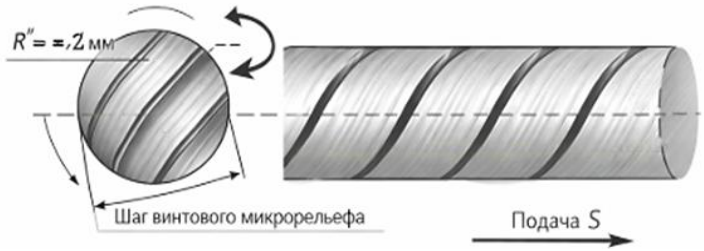



**Рис. 2. Схема формирование винтового микрорельефа поверхности после шарикового накатывания**

**Схема показывает:** поверхность детали после накатывания; регуляр-ные винтовые следы деформации; шаг винтового микрорельефа; направление подачи инструмента; направление вращения детали.

При шариковом накатывании происходит интенсивная пластическая осадка микронеровностей поверхности. Исходная шероховатость после механической обработки резанием, обычно, составляет *Ra* = 2,5–3,2 мкм. После накатывания значение параметра шероховатости уменьшается до

$$Ra = 0{,}4–0{,}8 \text{ мкм.}$$

Таким образом, высота микронеровностей уменьшается примерно на 70–80 %. Данный эффект объясняется пластическим течением материала в зоне контакта и перераспределением металла в поверхностном слое [6,7].

Помимо снижения шероховатости происходит упрочнение материала. В результате холодной пластической деформации наблюдается увеличение микротвёрдости поверхностного слоя примерно на 25–35 %. Глубина упрочнённого слоя достигает 0,3–0,5 мм.

Особенностью рассматриваемого процесса является формирование регулярного винтового микрорельефа. Он возникает в результате кинематического сочетания вращения детали и поступательного движения инструмента.

Шаг винтовой линии определяется подачей инструмента на один оборот детали и может быть выражен зависимостью

$$t = \frac{S}{n}$$

где: S – подача инструмента, (мм/об); n – частота вращения детали, (об/мин).

Регулярный винтовой микрорельеф выполняет несколько важных функций:

улучшает удержание смазочного материала;

снижает контактное трение;

повышает износостойкость поверхности.

DOI: 10.65322/j.srd.02162026.34

Наличие микрорельефа особенно эффективно для деталей, работающих в условиях трения скольжения и переменных нагрузок.

**Обсуждение.** В зоне контакта инструмента и детали возникают высокие локальные напряжения, вызывающие пластическую деформацию поверхностного слоя. Данный эффект объясняется перераспределением металла и его пластическим течением.

Формирование остаточных напряжений сжатия является важным результатом обработки.

**Остаточные напряжения и повышение долговечности**

Важным результатом шарикового накатывания является формирование остаточных напряжений сжатия в поверхностном слое. Для конструкционных сталей их величина может достигать

$$\sigma = (-200)\ldots(-350)\ \text{МПа}.$$

где « - » знак минус показывает пресс- сжатие.

Сжимающие остаточные напряжения препятствуют зарождению и распространению усталостных трещин. Благодаря этому предел выносливости деталей возрастает примерно в 1,3–1,5 раза по сравнению с исходным состоянием.

Кроме того, наклёп и снижение шероховатости уменьшают интенсивность износа и повышают устойчивость поверхности к контактным нагрузкам.

**Выводы**

Шариковое накатывание является эффективным методом поверхност-ного упрочнения деталей транспортных машин.

В результате обработки формируется регулярный винтовой микрорельеф, улучшающий условия трения и смазки.

Происходит значительное снижение шероховатости поверхности и увеличение микротвёрдости поверхностного слоя.

В поверхностном слое формируются сжимающие остаточные напряжения, повышающие усталостную прочность деталей.

Применение рассматриваемой технологии позволяет повысит долговечности деталей в паре.

**Список литературы:**

1. Гуляев А.П. “Металловедение” – М. “Машиностроение”. 2011. – 640 с.
2. Соколов Л.А., Иванов В.И. “Поверхностное пластическое деформирование деталей машин”. – М. “Машиностроение”. 2008. – 320 с.
3. Кудрявцев И.В. “Контактное напряжения и теория Герца”. М.: -М.: Наука, 2025.- 256 с.
4. Johnson K.L. Contact Mechanics. Cambridge University Press, 1985.
5. Попов В.Л. Контактная механика и трение. М.: Физматлит, 2010. Назаров Ю.Н. Теория упругости и пластичности. М.: Машиностроение, 2008.
6. Turaev T., Ulugkhozhaev R. S., & Madaminov B. M. Technological Features Hardening Of The Case Of The Roller Track Of The Transport Machine By Ball Knurling Tool And Cartooning With Microballs Library Progress International, Vol.44 No.3, Jul-Dec 2024: P.7709-7719
7. Turaevich, T. T., Anvarxodjaevich, B. Y., & Mirodilovich, M. B. (2021). Choosing the optimal processing method to improve the productivity of machine tools and machine systems. *International Journal of Multicultural and Multireligious Understanding*, *8*(5), 490-494.