

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РОЛИКОВ ПРИ ОТДЕЛОЧНО-УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКЕ НАРУЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ТИПА ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ

Ковалевский С. В., Гуцин А. В.

На основе предложенных новых технических решений получили дальнейшее развитие известные методы поверхностно-пластической деформации. В частности, предложен способ поверхностного пластического деформирования рабочих поверхностей деталей машин с использованием ролика с клиновым профилем. Данный способ предполагает установку накатного ролика под углом к оси детали, что ведет к появлению в очаге деформаций напряжений среза, которые способствуют повышению остаточных сжимающих напряжений на поверхности детали и увеличению глубины упрочненного слоя. Расчет напряженно-деформированного состояния осуществляется на основе метода полей линий скольжения при внедрении клинового инструмента в жесткопластическое полупространство. Указанная методика максимально близко адаптирована к условиям реализации рассматриваемого процесса.

На основі запропонованих нових технічних рішень отримали подальший розвиток відомі методи поверхнево-пластичної деформації. Зокрема, запропоновано спосіб поверхневого пластичного деформування робочих поверхонь деталей машин з використанням ролика з клиновим профілем. Даний спосіб передбачає установку накатного ролика під кутом до осі деталі, що веде до появи в осередку деформацій напружень зрізу, які сприяють підвищенню залишкових стискаючих напружень на поверхні деталі і збільшенню глибини зміцненого шару. Розрахунок напружено-деформованого стану здійснюється на основі методу полів ліній ковзання при впровадженні клинового інструмента у жорсткопластичний півпростір. Зазначена методика максимально близько адаптована до умов реалізації даного процесу.

Known methods of surface plastic deformation have obtained its further development which is based on the new engineering solutions that have been offered. In particular a method of surface plastic deformation of machine components working surfaces using a wedge roller has been introduced. The method presupposes the knurl roller mounting at the angle to the part's axis, and results in appearance of shearing stresses in the deformation zone. It is conducive to locked-up stresses of compression rising on the part's surface and augmentation of case depth. The calculation of the deflected mode is based on the slip-line field method when impressing a wedge indenter into a stiff-plastic half-space. The above mentioned method is adapted to implementation conditions of process in question as close as possible.

Ковалевский С. В.

Гуцин А. В.

д-р техн. наук, проф. каф. ТМ ДГМА
канд. техн. наук, ст. преп. каф. ТМ ДГМА
tiup@dgma.donetsk.ua

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

УДК 621.787.4

Ковалевский С. В., Гущин А. В.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РОЛИКОВ ПРИ ОТДЕЛОЧНО-УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКЕ НАРУЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ТИПА ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ

Залогом высокой надежности, долговечности и работоспособности деталей машин является обеспечение требований прочности, жесткости, износа, стойкости к различным воздействиям (вибрации, температуре и т. п.) еще на этапе их изготовления. Соблюдение требований прочности деталей при статическом, циклическом и ударном нагружении снижает возможность их разрушения, а также возникновения недопустимых остаточных напряжений и деформаций.

Выполнение требований по повышению долговечности деталей машин в условиях рыночной экономики можно обеспечить не только разработкой новых конструктивных решений и применением современных сверхпрочных материалов, что требует значительных капиталовложений, но и путем изменений поверхностного слоя деталей. Особый интерес это представляет для малого бизнеса, где объемы выпуска продукции редко превышают мелкие серии, и значительные финансовые издержки зачастую являются трудноокупаемыми.

Известны способы поверхностно-пластической деформации, среди которых выглаживание, вибровыглаживание, накатка сферическим, цилиндрическим и круговым роликом, которые обеспечивают достаточно жесткие требования по шероховатости, твердости поверхности и увеличивают износостойкость деталей машин. Создание поверхностного наклепа для повышения усталостной прочности и долговечности используется для большой номенклатуры изделий машиностроения (коленчатые валы, шестерни, цапфы валов, шейки осей, валков, шатуны, пружины и др.), а также изделий из цветных металлов и сплавов на их основе. В последнее время способы поверхностно-пластического деформирования (ППД), используемые для достижения указанных требований, обретают все большую актуальность и являются приоритетными [1–3].

Однако имеется номенклатура деталей, к которым предъявляются более жесткие требования к усталостной прочности и долговечности, нежели к рассмотренным выше изделиям, которые традиционные схемы ППД обеспечить не могут, в частности, это касается деталей, имеющих конструктивные или технологические концентраторы напряжений, выточки, галтели и др. [4].

Целью работы является поиск новых технических решений, позволяющих осуществить отделочно-упрочняющую обработку рабочих поверхностей деталей машин способами ППД без значительного увеличения себестоимости изготовления, либо, вообще, снизить ее. При этом главной тенденцией достижения поставленной цели является не создание новых технологий, а совершенствование действующих, способных в полной мере обеспечить требования к качеству готовой продукции.

Широко известный способ поверхностного упрочнения сферическим роликом [1, 2], при котором в поверхностном слое детали создаются остаточные сжимающие напряжения, способствующие повышению усталостной прочности и износостойкости. Наиболее часто данный способ используется при производстве деталей авиационной техники, для которых характерно циклическое нагружение.

Накатка роликом будет еще более эффективной, если ось рабочего инструмента повернуть на некоторый угол по отношению к оси обрабатываемой детали (рис. 1). Это вызовет появление в наклепанном слое дополнительных напряжений среза, которые способствуют повышению остаточных сжимающих напряжений на поверхности детали. Величину этих напряжений можно регулировать путем изменения угла скрещивания осей α , причем это возможно осуществлять в оперативном режиме.

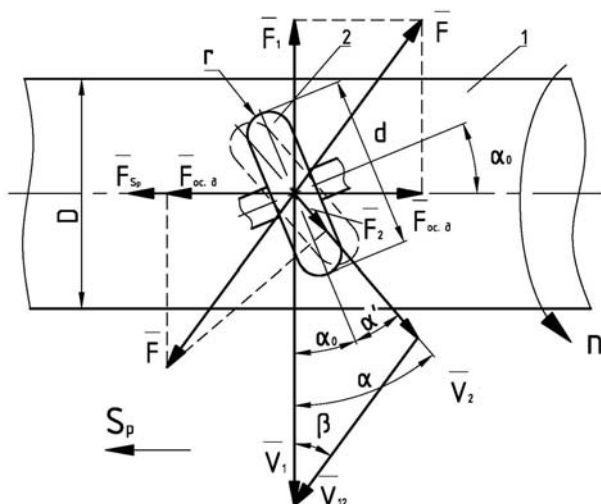


Рис. 1. Схема действия скоростей и сил в процессе накатки поверхности роликом при скрещивании осей

Возможно два варианта реализации данного способа обработки: подача осуществляется за счет поворота оси ролика, и подача задается принудительно. Рассматривать кинематику данного процесса можно на основе работы по изучению трения дисковых образцов со скрещивающимися осями [5].

Первый вариант предусматривает поворот оси инструмента на угол α_0 , в результате чего обкатка заготовки осуществляется без скольжения. В этом случае подача ролика S_p равна шагу накатки. При этом угол скрещивания α_0 , при котором не наблюдается проскальзывания (вектор \bar{V}_2 лежит в плоскости ролика) можно определить из соотношения:

$$\operatorname{tg} \alpha_0 = \frac{S_p}{\pi D}, \quad (1)$$

где S_p – подача ролика, мм/об; D – диаметр накатываемой поверхности, мм.

При дальнейшем увеличении угла α_0 на какую-то величину α' (см. рис. 1) появляется относительное проскальзывание в точке контакта детали 1 и ролика 2. Мощность трения на каждом элементе пары согласно [5] составит:

$$N_1 = FV_1 \cos \beta, \quad (2)$$

$$N_2 = FV_2 \cos(\alpha + \beta). \quad (3)$$

Отсюда можно найти мощность, затрачиваемую на трение в точке контакта:

$$N_T = N_1 - N_2 = F[V_1 \cos \beta - V_2 \cos(\alpha + \beta)] = FV_{12}. \quad (4)$$

В случае, когда подача задается принудительно:

$$N_1 = FV_1 \cos(\beta - \alpha_0), \quad (5)$$

$$N_2 = FV_2 \cos(\alpha + \beta - \alpha_0), \quad (6)$$

$$N_T = N_1 - N_2 = F[V_1 \cos(\beta - \alpha_0) - V_2 \cos(\alpha + \beta - \alpha_0)] = FV_{12}. \quad (7)$$

Таким образом, представленные зависимости (4), (7) показывают, что потери на трение можно уменьшить за счет скрещивания осей детали и ролика. Особенно это актуально при использовании цилиндрического ролика, где имеет место линейный контакт. Указанное расширяет возможность использования способов накатки с цилиндрическим роликом, например, применение схемы накатки парой роликов, углы, скрещивания осей которых имеют противоположные знаки (рис. 2).

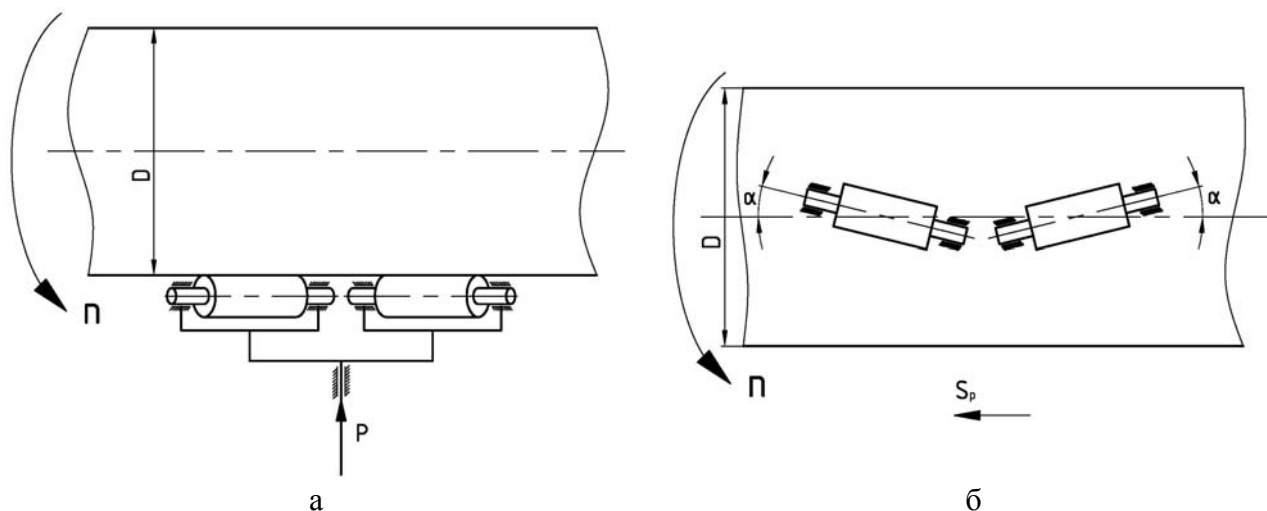


Рис. 2. Схема накатки цилиндрическими роликами со скрещиванием осей

Также на кафедре технологии машиностроения, ДГМА в качестве финишной обработки поверхностей деталей машин предложен несколько иной способ поверхностно-пластического деформирования основанный на использовании накатного ролика со специальным профилем рабочей поверхности [6].

Среди прочих способов поверхностно-пластической деформации, таких как накатка, цилиндрическим роликом, выглаживание, дробеструйная обработка и т. д., предлагаемый способ имеет несколько особенностей. В качестве деформирующего инструмента выступает ролик, имеющий специальный клиновидный профиль, который прижимают к обрабатываемой поверхности с определенным усилием P (рис. 3). Угол конуса γ накатного ролика составляет порядка $170\text{--}175^\circ$, а его ось находится под углом $\gamma = 10\text{--}15^\circ$ по отношению к оси детали. Ролик перемещается вдоль обрабатываемой поверхности с подачей S_p и приводится во вращения за счет сил трения.

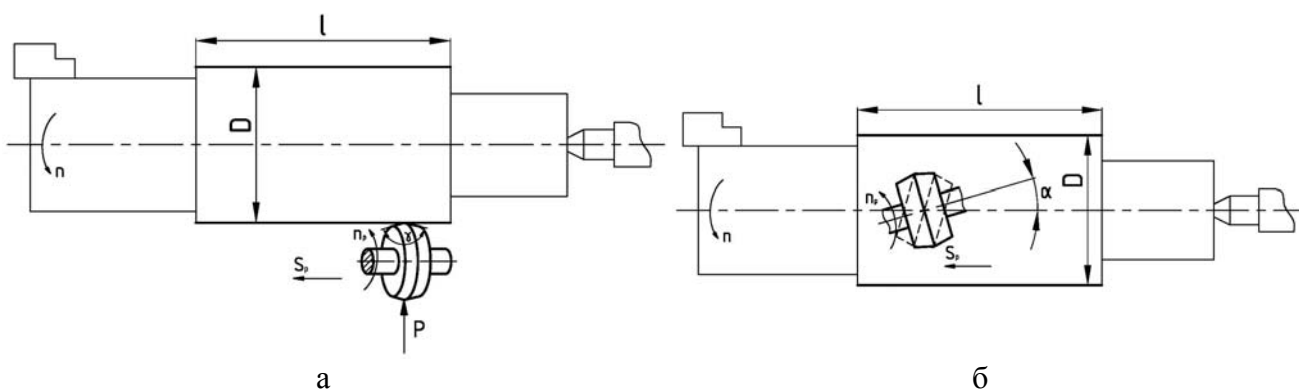


Рис. 3. Схема накатывания клиновым роликом

Реализация такой схемы упрочнения приводит к появлению в приповерхностных слоях кроме сжимающих напряжений еще и напряжений среза, что способствует повышению остаточных сжимающих напряжений на поверхности детали и увеличению глубины упрочненного слоя. Это придает детали более высокую усталостную прочность, твердость и износостойкость за счет снижения влияния внутренних растягивающих напряжений, действующих в приграничных зонах упрочненного слоя. К тому же данная схема при прочих равных условиях позволяет достичь указанных характеристик при меньших усилиях деформации по сравнению, например, с обкаткой цилиндрическим роликом. В этом случае напряженное состояние поверхностного слоя зависит от соотношения подачи инструмента

и угла его наклона к оси детали. Поэтому варьируя этим соотношением можно получить требуемое качество поверхностного слоя в достаточно широком диапазоне. Таким образом, предложенный метод способен обеспечить необходимые механические свойства и качество поверхностного слоя детали и не предусматривает последующего проведения термической обработки, а реализация данного способа возможна на действующих металлорежущих станках токарной группы.

С точки зрения материальных затрат и энергозатрат на обработку накатки цилиндрических поверхностей клиновым роликом позволит существенно снизить себестоимость изготовления деталей машин не нарушая при этом требований к их качеству. Особенно выгодным будет применения указанного способа обработки для повышения качества наваренных поверхностей [7].

Для расчета напряженно-деформированного состояния и определения остаточных напряжений в приповерхностных слоях используется методика расчета, основанная на методе полей линий скольжения при рассмотрении процесса внедрения клинового инструмента в жесткопластическое полупространство [8], применяемая для описания процессов поперечной и поперечно-клиновой прокатки [9, 10], которые аналогичны по своей сути рассматриваемому процессу ППД. Поэтому адаптируя расчетную модель указанных процессов прокатки к процессу поверхностного упрочнения клиновым роликом, можно построить математическую модель, которая в полной мере описывала бы деформационные процессы, происходящие в приповерхностном слое при упрочнении.

Геометрия рабочего инструмента такова, что при упрочнении в процессе пластической деформации возникает зона жесткопластического равновесия (рис. 4) или зона прилипания 148 [8], которая остается недеформируемой и по окончании обработки должна уйти в заусенец. Заусенец впоследствии удаляется механическим путем.

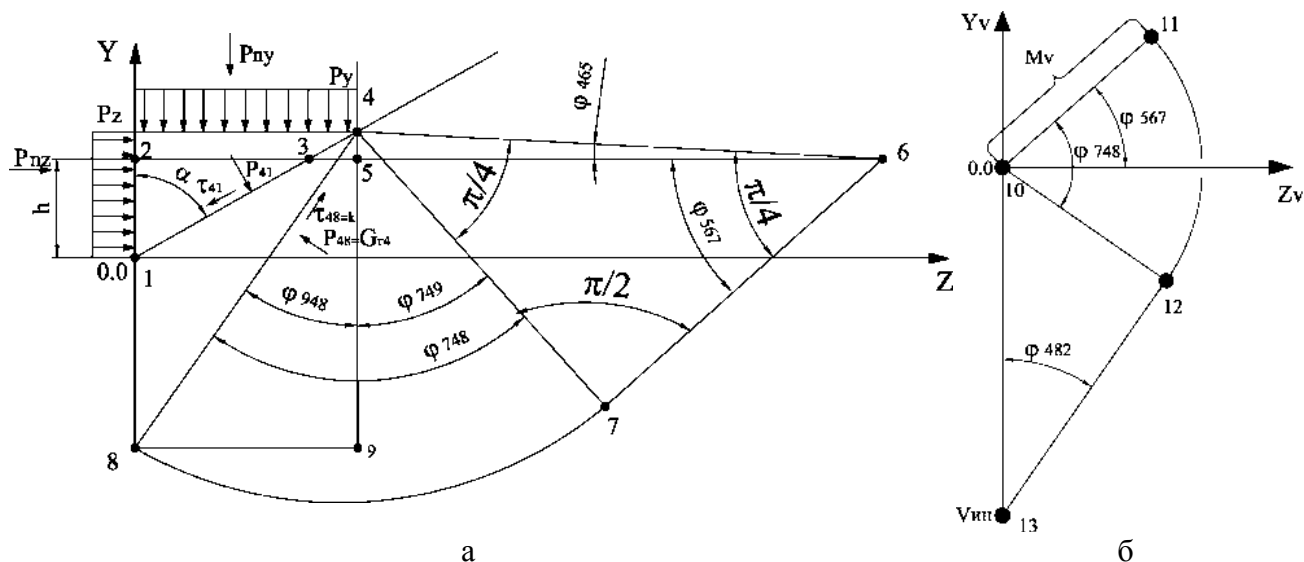


Рис. 4. Расчетные схемы полей характеристик в физической плоскости (а) и в плоскости годографа скоростей (б) процесса внедрения клинового инструмента в жесткопластическое полупространство

В отличие от процесса внедрения клина, где глубина внедрения h меняется с течением времени, при поверхностном упрочнении эта величина остается постоянной и геометрические параметры очага деформаций носят постоянный характер. Это позволяет сделать вывод о том, что рассматриваемый процесс является квазистационарным. В этом случае существенно упрощается алгоритм расчета и математическая модель процесса, а также имеется возможность осуществления обработки с достаточно стабильными результатами.

Применение данного подхода при определении напряженно-деформированного состояния обрабатываемой поверхности позволит максимально унифицировать методы расчета и учесть реальный характер распределения всех граничных условий в очаге деформаций.

ВЫВОДЫ

Таким образом, рассмотренные способы поверхностного упрочнения методом ППД получили свое дальнейшее развитие с возможностью использования в реальных производственных условиях. На основе классической схемы накатки поверхностей роликом со сферической поверхностью был предложен способ поверхностного пластического упрочнения с использованием клинового ролика, ось которого повернута на определенный угол по отношению к оси детали. За счет этого в очаге деформаций наблюдается появление напряжений среза. Благодаря этому, влияние внутренних растягивающих напряжений, действующих в приграничных зонах упрочненного слоя, заметно снижается, что способствует повышению качества упрочненных поверхностей и обеспечивает необходимые свойства деталей машин. В свою очередь, применение различного сочетания подачи инструмента и угла скрещивания, а также его знака, расширяет технологические возможности процесса обработки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ежелев А. В. Анализ способов обработки поверхностно-пластическим деформированием / А. В. Ежелев, И. Н. Бобровский, А. А. Лукьянов // *Фундаментальные исследования*. – 2012. – № 6 (часть 3). – С. 642–646.
2. Кабатов А. А. Анализ финишных методов обработки поверхностным пластическим деформированием [Электронный ресурс] / А. А. Кабатов // *Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии*. – 2013. – № 58. – С. 49–54. – Режим доступа : <http://www.khai.edu/csp/nauchportal/Arhiv/OIKIT/2013/OIKIT58/p49-54.pdf>.
3. Одинцов Л. Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием : справочник / Л. Г. Одинцов. – М. : Машиностроение, 1987. – 328 с.
4. Тулупов В. І. Підвищення якості робочих поверхонь деталей машин на основі удосконалення точіння з електроімпульсним нагрівом : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08 Тулупов Володимир Іванович. – Донецьк, 2012. – 128 с.
5. Смушкович Б. Л. Испытание на трение дисковых образцов со скрещивающимися осями вращения / Б. Л. Смушкович // *Трение и смазка в машинах и механизмах*. – 2009. – № 6. – С. 18–20.
6. Ковалевский С. В. Поверхностно-пластическая деформация наружных цилиндрических участков валов роликом со специальным профилем / С. В. Ковалевский, А. В. Гуцин // *Материалы V научно-технической конференции молодых специалистов «Энергомашспецсталь 2013»*. – Краматорск, 2013. – С. 129.
7. Смелянский В. М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием / В. М. Смелянский. – М. : Машиностроение, 2002. – 300 с.
8. Численное математическое моделирование напряженно-деформированного состояния при внедрении клинового инструмента в жесткопластическое полупространство / Ю. К. Доброносков, С. В. Капорович, А. В. Гуцин, Е. Г. Литвинова // *Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : тем. зб. наук. праць*. – Краматорськ : ДДМА, 2006. – С. 149–153.
9. Численное математическое моделирование напряженно-деформированного состояния металла и расчет энергосиловых параметров при поперечной прокатке шаровых втулок / Ю. К. Доброносков, А. В. Гуцин, Е. Г. Литвинова, О. Ю. Неня // *Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : тем. зб. наук. пр.* – Краматорськ : ДДМА, 2008. – С. 303–307.
10. Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния металла при производстве осесимметричных деталей с утоненным торцом / А. В. Сатонин, А. В. Гуцин, С. М. Романов, Г. А. Хайкин // *Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні : зб. наук. пр.* – Луганськ : Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2009. – С. 107–113.