

УДК 621.919

С. Е. Шейкин¹, Ю. А. Цеханов², доктора технических наук
Д. А. Сергач¹; Д. В. Карих²

¹Институт сверхтвёрдых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев

²Воронежский архитектурно-строительный университет, Россия

УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ СФЕРИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ НАКАТЫВАНИЕМ ПЛОСКИМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ

Рассмотрена проблема долговечности деталей машин типа полной сферы, широко используемых в машиностроении и медицине. Приведены результаты распределения микротвёрдости в поверхностном слое сферических заготовок и особенности изменения структуры поверхностного слоя после накатывания. Исследована глубина слоя деформационного упрочнения с использованием схемы накатывания плоскими поверхностями, а так же исследована зависимость глубины слоя деформационного упрочнения от технологического усилия при накатывании шаров из ВТ1-0, ВТ1-2, ВТ6, стали 20 и чугуна СЧ00.

Ключевые слова: накатывание, поверхностный слой, упрочнение.

Известно, что детали машин, как правило, начинают разрушаться с поверхности. Улучшив служебные свойства поверхностного слоя деталей, можно существенно повысить их долговечность. Применение методов ХППД эффективно для повышения функциональных характеристик поверхностного слоя деталей машин. При сравнительно низких производственных затратах методы ХППД позволяют получить низкие значения высоты микронеровностей, большие значения относительной опорной длины профиля, деформационного упрочнения поверхностного слоя, повысить износостойкость деталей и сопротивление усталостным нагрузкам [1].

Выбор объекта исследования обусловлен тем, что детали сферической формы широко распространены в технике, например, элементы запорной аппаратуры, компоненты искусственных суставов и др. Повысить функциональные характеристики этих изделий можно либо воздействием ХППД, либо комбинированным воздействием ХППД и ХТО.

На сегодняшний день известны несколько способов обработки сферических поверхностей ХППД [2; 3]. Однако, как правило, они предназначены для обработки

неполных сфер и имеют ограниченные технологические возможности в плане создания слоя деформационного упрочнения значительной глубины.

Для создания значительных деформаций и, следовательно, существенного измельчения структуры в слое деформационного упрочнения разработана технологическая схема накатывания полной сферы плоскими поверхностями [4]. Сферическое изделие (рис. 1) размещают в цилиндрической камере

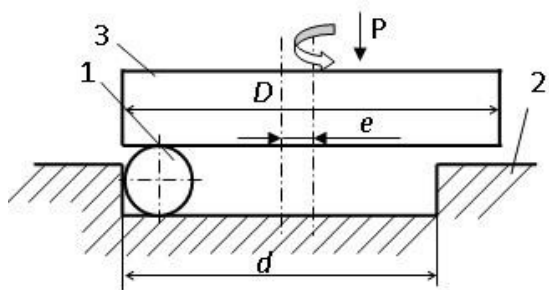


Рис. 1. Схема накатывания сферической заготовки плоскими поверхностями

2 и обрабатывают вращающимся инструментом 3.

Такая технология не требует мощного прессового оборудования и сложной технологической оснастки. Обработка может выполняться на универсальном оборудовании. Кроме того, достоинством такого метода является возможность приложения к заготовке значительных нагрузок и, следовательно, создания слоя деформационного упрочнения значительной толщины, а высокая жесткость инструмента и оснастки обеспечивает высокую точность обработки.

В процессе обработки по указанной схеме для обеспечения производительности и качества обработанной поверхности и поверхностного слоя необходимо, чтобы след контакта инструмента с обрабатываемым изделием последовательно охватывал всю его поверхность, что достигается смещением оси вращения инструмента относительно оси камеры на некоторый эксцентриситет.

Как показали экспериментальные исследования, при наличии эксцентриситета e траектория следа взаимодействия инструмента с обрабатываемой заготовкой носит стохастический характер. Исходя из этого количество циклов деформирования поверхности заготовки можно определить как соотношение $m = lt/F_{сф.}$, где m – количество циклов деформирования; l , t – соответственно длина и ширина следа за период обработки; $F_{сф.}$ – площадь поверхности заготовки. В этом случае формула для определения среднестатистического количества циклов деформирования каждой материальной точки на поверхности заготовки имеет вид

$$m = 0,0083 \frac{D}{d^2} n \tau , \quad (1)$$

где n – частота вращения инструмента (об./мин); D – диаметр круговой траектории качения шара в камере; d – диаметр накатываемой сферы; τ – продолжительность обкатки, (с).

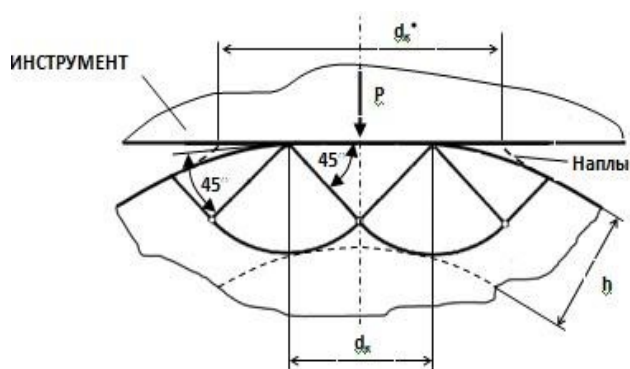


Рис. 2. Схема контакта инструмента со сферическим изделием

Рассмотрим шар из пластичного материала, сдавленный плоскостью инструмента (рис. 2).

В силу малости искривления области контакта для определения усилия прижима инструмента, обеспечивающего получение слоя деформационного упрочнения заданной глубины, можно использовать схему вдавливания жесткого штампа в пластическое полупространство. Тогда

$$P = q_k F_k; \quad (2)$$

$$F_k = \pi d_k^2 / 4; \quad (3)$$

$$h = d_k / \sqrt{2}; \quad (4)$$

где P – технологическое усилие сдавливания; q_k – контактное давление; F_k – площадь пятна контакта без учета наплыва; d_k – диаметр пятна контакта без учета наплыва; h – глубина слоя деформационного упрочнения.

Как известно из задачи Прандтля, $q_k \approx 3\sigma_T$, где σ_T – предел текучести материала обрабатываемого изделия, если материал не упрочненный. Но, как показывают результаты экспериментов, в сильно упрочненном поверхностном слое предельное контактное давление может достигать значений

$$q_k^* \approx 2q_k \approx 6\sigma_T \quad (5)$$

Подставляя (3), (5) в (2), получаем

$$P = 4,71 \sigma_T d_k^2 \quad (6)$$

Формула (6) связывает технологическое усилие с механическими свойствами материала шара и диаметром пятна контакта.

В действительности наблюдается наплыв (рис. 2), который увеличивает площадь контакта инструмента с обрабатываемым изделием:

$$d_k^* = k d_k \quad (7)$$

Экспериментально установлено, что при размерах обрабатываемых изделий из титана $\varnothing 25\text{--}50$ мм d_k^* превышает d_k в 1,05–1,15 раза. Примем $k = 1,1$.

Тогда, подставляя (7) и (4) в (6) получаем

$$P = 11,4 \sigma_T h^2 \quad (8)$$

или

$$h = \sqrt{\frac{P}{11,4\sigma_T}} \quad (9)$$

По формуле (9) можно определить глубину слоя деформационного упрочнения. Графики зависимости глубины слоя деформационного упрочнения от технологического усилия при накатывании сплавов ВТ1-0 и ВТ6, рассчитанной по формуле (9), показанные на рис. 3.

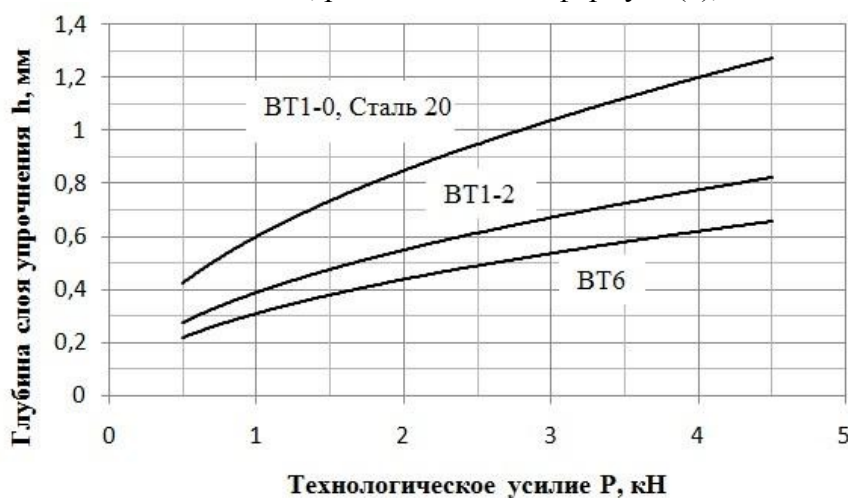


Рис. 3. Графики зависимости глубины слоя деформационного упрочнения от технологического усилия

Для изготовления экспериментальных образцов выбрали широко применяемые в машиностроении материалы – сталь 20, серый чугун СЧ 00, а также титановые сплавы ВТ1-0, ВТ1-2 и ВТ6, которые применяют для изготовления деталей шарнирного сочленения искусственных суставов.

Сферические заготовки изготавливали диаметром 28 мм, путем точения из прутков и подвергали отжигу. Шероховатость поверхности заготовок после точения составляла Ra 1,4–3,2, отклонение от сферичности – 0,1–0,2 мм. Твердость изделий после отжига составляла: ВТ6 – 2,9 ГПа; ВТ1-2 – 1,6 ГПа; ВТ 1-0 – 1,5 ГПа; стали 20 – 1,5 ГПа; чугуна СЧ00 – 2,0 ГПа.

Накатывание производили на вертикально-сверлильном станке 2А150 в камере диаметром 100 мм. Частота вращения инструмента составляла 351 об/мин.

Графики распределения микротвердости в поверхностном слое деталей после накатывания показаны на рис. 4, 5. Как видим, максимальная микротвердость локализована в тонком (менее 50 мкм) поверхностном слое; на микрофотографиях структуры поверхностного слоя сферических заготовок после накатывания плоскими поверхностями видны характерные изменения структуры в поверхностном слое обрабатываемых деталей. По мере приближения к поверхности наблюдается измельчение зерен, проявляется текстура. Характер структуры свидетельствуют о значительной степени деформации в поверхностном слое шара.

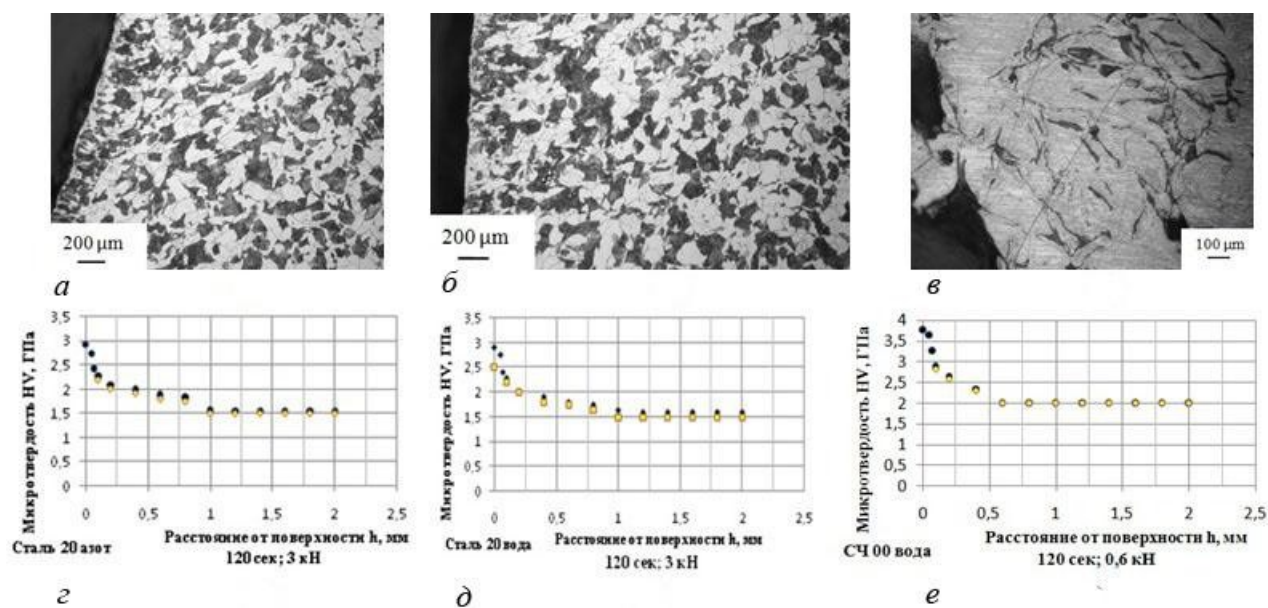


Рис. 4. Структура поверхностного слоя сферических заготовок и распределение микротвердости в поверхностном слое после накатывания: а–г – сталь 20 азот; б–д – сталь 20 вода; в–е – чугуны СЧ00

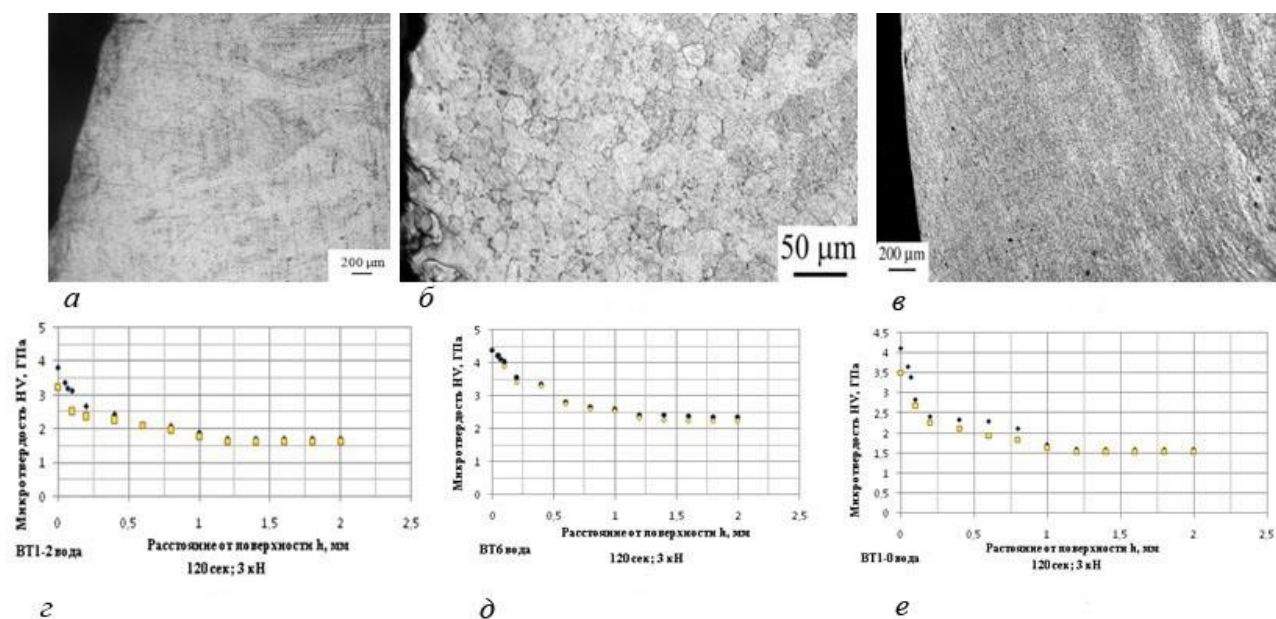


Рис. 5. Структура поверхностного слоя сферических заготовок и распределение микротвердости в поверхностном слое после накатывания: а–г – VT1-2; б–д – VT6; в–е – VT1-0

Значения глубины упроченного слоя от технологического усилия и полученные экспериментально значения микротвердости различаются незначительно.

Распределение микротвердости подтверждает, что зона деформационного упрочнения в накатанных шарах распространяется на глубину до 1 мм в зависимости от обрабатываемого материала.

Таким образом, полученные экспериментально значения глубины слоя деформационного упрочнения незначительно превышают значения, рассчитанные по формуле (9). Необходимо учитывать, что погрешность формы заготовки приводит к

динамическим нагрузкам, вследствие чего увеличивается толщина упрочненного слоя. Однако по зависимости (9) можно с достаточной для практики точностью рассчитывать толщину упрочненного слоя.

Выводы

1. Технологическая схема накатывания сферических заготовок из VT1-0, VT1-2, VT6, стали 20, чугуна СЧ00 плоскими поверхностями обеспечивает упрочнение поверхностного слоя в два и более раз при толщине поверхностного слоя 1 мм и более.

2. Полученные экспериментальные данные по глубине слоя деформационного упрочнения значительно превышают рассчитанные по формуле (9), что позволяет с достаточной для практики точностью рассчитывать толщину упрочненного слоя.

3. Технология накатывания сферических заготовок плоскими поверхностями перспективна для получения мелкодисперсной и наноструктуры в поверхностном слое.

Розглянуто проблему довговічності деталей машин типу повної сфера, які широко використовують в машинобудуванні та медицині. Наведено результати розподілу мікротвердості в поверхневому шарі сферичних заготовок і особливості зміни структури поверхневого шару після накатування. Досліджено глибину шару деформаційного зміцнення з використанням схеми накатування плоскими поверхнями, а також залежність глибини шару деформаційного зміцнення від технологічного зусилля при накатуванні куль з VT1-0, VT1-2, VT6, сталі 20 і чавуну СЧ00.

Ключові слова: накатування, поверхневий шар, зміцнення.

The problem of increasing the durability of machine parts, such as the full sphere which are widely used in engineering and medicine. The results of micro hardness distribution in the surface layer of spherical work pieces and features of the restructuring of the surface layer after roll forming. Investigation depth layer deformation strengthening mations were performed using the scheme roll forming flat surfaces. Also, the dependence of strain hardening layer depth of technological efforts in the roll forming balls of VT1-0, VT1-2 VT6, steel 20 and cast iron SCH00.

Key words: roll forming, surface layer, strengthening.

Литература

1. Смелянский В. М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием. – М: Машиностроение, 2002. – 300 с.
2. Прогрессивные технологические процессы в машиностроении: Обзор. Информ./ВНИИТЭМР. – 1991. – № 5. – С. 31–33.
3. Пат. РФ № 2324583, МПК 6 В24В 39/04 Способ обработки сферических изделий ППД. – Оpubл. 20.05.2008.
4. Пат. 92693 Україна, МПК(2009) В24В 39/00. Спосіб обробки сферичних виробів поверхневим пластичним деформуванням / Ю. А. Цеханов, С. Є. Шейкін. – Оpubл. 25.11.2010, Бюл. № 22.

Поступила 11.06.13