

## ЛИТЕРАТУРА

1. Серебрицкий, П.П. Обработка деталей механическим щетками. – Л.: Лениздат, 1967. - 152 с.
2. Салуквадзе, В.С., Другова, И.А. Изменение свойств в поверхностном слое сплавов при иглофрезерной обработке // Расчет, сооружение и эксплуатация магистральных газопроводов. – М.: ВНИИСТ, 1980 – С. 93-102.
3. Гавриленко, А.И. Технологические основы и пути повышения эффективности иглофрезерной обработки: Автореф. дис...док. техн наук.- М., 1996. - 33 с.

УДК 621.7

Баршай И.Л., Яцко Т.С.

### ОСОБЕННОСТИ КОНТАКТА ДЕФОРМИРУЮЩЕГО ЭЛЕМЕНТА С ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ПРИ ПОВЕРХНОМ ПЛАСТИЧЕСКОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ ЗАГОТОВОК ИЗ ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

В триботехнических узлах машин, работающих в тяжелых условиях трения скольжения с ограниченной подачей смазочного материала, широко используются детали из пористых антифрикционных материалов (ПА) на основе железа. Процессы, применяемые для обеспечения износостойкости деталей из этих материалов, обладают рядом недостатков и в большинстве случаев не позволяют в сочетании с технологиями порошковой металлургии обеспечить безотходное производство, что снижает эффективность применения указанных материалов и технологий. Поверхностное пластическое деформирование (ППД), широко применяемое для повышения износостойкости деталей из монолитных материалов (ММ), до настоящего времени ограничено использовалась для деталей из пористых антифрикционных материалов (ПА). Одна из причин этого - недостаток информации о механизме и результатах формирования качества поверхности при ППД деталей из ПА, влиянии этого процесса обработки на их износостойкость.

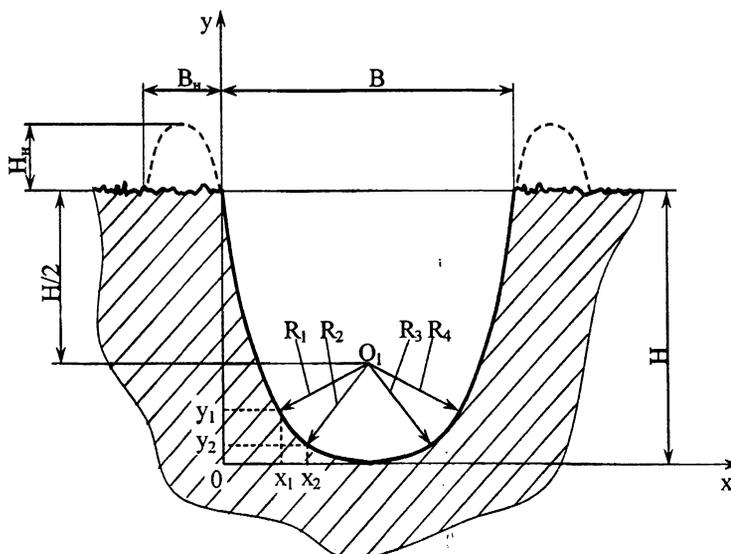


Рисунок 1 - Схема микропрофиля единичного следа деформирующего элемента

Одной из задач оптимизации ППД заготовок из ПА является определение профильного радиуса  $R_{пр}$  деформирующего элемента устройства. Решение этой задачи осуществляли на основе экспериментальных исследований процесса формирования параметров микропрофиля единичного следа деформирующего элемента (ролика) на обрабатываемой поверхности. Исследование выполняли на заготовках из материалов ПА-ЖГр2 и ПА-ЖГр1Д3, широко применяемых в машиностроении.

В общем случае микропрофиль единичного следа инструмента характеризуется следующими параметрами: глубиной  $H$  и шириной  $B$  следа; высотой  $H_n$  и шириной  $B_n$  наплывов, образуемых по краям следа (рис. 1) [1, 2]. Обкатывание заготовок осуществляли деформирующим элементом с различными профильными радиусами  $R_{пр} = 4, 8$  и  $12$  мм. Усилие деформирования  $P$  варьировали в пределах от  $0,4$  до  $2,0$  кН при обкатывании роликами, имеющих различные  $R_{пр}$ . Поиск геометрических параметров микропрофиля единичного следа проводили на основе результатов обработки профилограмм, снятых перед очагом, в очаге деформации и за ним (рис. 2).

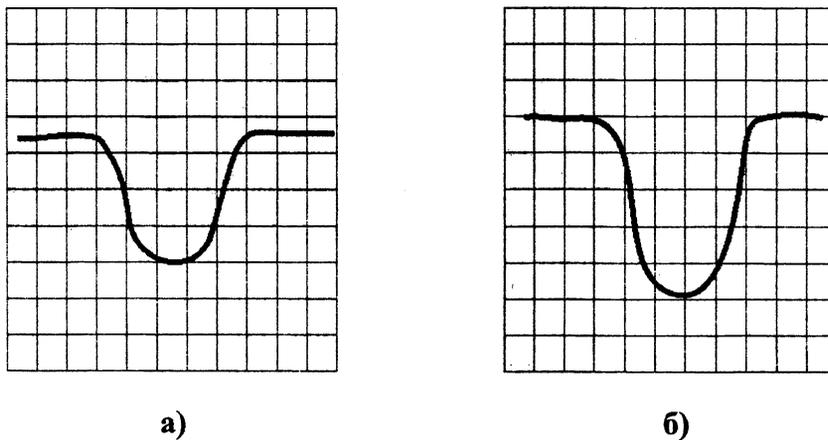


Рисунок 2 - Профилограммы микропрофиля единичного следа деформирующего элемента: а – ПА-ЖГр2; б – ПА-ЖГр1Д3 ( $R_{пр} = 8$  мм;  $P = 1,6$  кН; вертикальное увеличение –  $\times 2000$ ; горизонтальное увеличение –  $\times 500$ )

Анализ полученных профилограмм микропрофиля единичного следа на поверхности заготовок из ПА позволил выявить отличие его геометрии от геометрии аналогичного следа на поверхности ММ, а именно отсутствие краевых наплывов. Указанное отличие геометрии микропрофиля единичного следа деформирующего элемента на поверхности заготовок из ПА объясняется следующим. Процесс формирования топографии и упрочнения поверхности ППД заготовок из ПА осуществляется также за счет суммарной деформации. Однако, в этом случае слагаемыми являются: деформация исходных микронеровностей на поверхности порошковых частиц (формирование поверхности), упруго-пластическая деформация самих порошковых частиц (упрочнение поверхностного слоя) и деформация, ведущая к частичному заполнению поверхностных пор материалом порошковых частиц (уплотнение поверхностного слоя). Последнее из указанных слагаемых обуславливает отсутствие краевых наплывов, т.к. всестороннее сжатие в очаге деформации частично компенсируется уменьшением размеров поверхностных пор.

Для определения среднего радиуса впадины микропрофиля единичного следа произвольным образом выбирали четыре точки на его поверхности с координатами  $(X_i, Y_i)$ . Центр кривизны на поверхности впадины имел координаты  $(a, b)$  (см. рис. 1). Поиск радиуса кривизны впадины осуществляли таким образом, чтобы сумма квадратов разности расстояний от каждой из точек с координатами  $(X_i, Y_i)$  до центра окружности с координатами  $(a, b)$  и радиусом  $R$  была минимальной, т.е. необходимо было определить минимальные значение функции:

$$f(a_i, b_i, R) = \sum_{i=1}^n \Delta R_i^2. \quad (1)$$

Расстояние  $R_i$  от точки с координатами  $(X_i, Y_i)$  до точки  $O_1$  с координатами  $(a, b)$  равно

$$R_i = \sqrt{(a - X_i)^2 + (b - Y_i)^2}, \quad (2)$$

Тогда

$$\Delta R_i^2 = (R - R_i)^2 = R^2 + a^2 + b^2 + X^2 - 2R\sqrt{(a - X_i)^2 + (b - Y_i)^2} - 2aX_i - 2bY_i. \quad (3)$$

Известно [3], что функция имеет экстремум в точке, для которой частные производные равны нулю:

$$\frac{\partial f}{\partial a} = \sum_{i=1}^n (2a - 2X_i - R \frac{2a - 2X_i}{\sqrt{(a - X_i)^2 + (b - Y_i)^2}}) = 0;$$

$$\frac{\partial f}{\partial b} = \sum_{i=1}^n (2b - 2Y_i - R \frac{2b - 2Y_i}{\sqrt{(a - X_i)^2 + (b - Y_i)^2}}) = 0; \quad (4)$$

$$\frac{\partial f}{\partial R} = \sum_{i=1}^n (2R - 2\sqrt{(a - X_i)^2 + (b - Y_i)^2}) = 0.$$

Систему уравнений (4) можно записать в виде:

$$a_n - \sum_{i=1}^n X_i - R \sum_{i=1}^n \frac{a - X_i}{\sqrt{(a - X_i)^2 + (b - Y_i)^2}} = 0;$$

$$b_n - \sum_{i=1}^n Y_i - R \sum_{i=1}^n \frac{b - Y_i}{\sqrt{(a - X_i)^2 + (b - Y_i)^2}} = 0; \quad (5)$$

$$R - \sum_{i=1}^n \sqrt{(a - X_i)^2 + (b - Y_i)^2} = 0.$$

Для решения системы нелинейных уравнений (5) был использован метод итераций [3].

Изменение усилия в указанных пределах при формировании единичного следа роликом с  $R_{np} = 4$  мм приводит к увеличению геометрических параметров микропрофиля единичного следа на поверхности заготовок из обоих исследуемых материалов (рис. 3-5). Так при обкатывании заготовок из материала ПА-ЖГр2 глубина  $H$  возрастала с 0,07 до 0,19 мм, ширина  $B$  - с 1,5 до 2,4 мм.

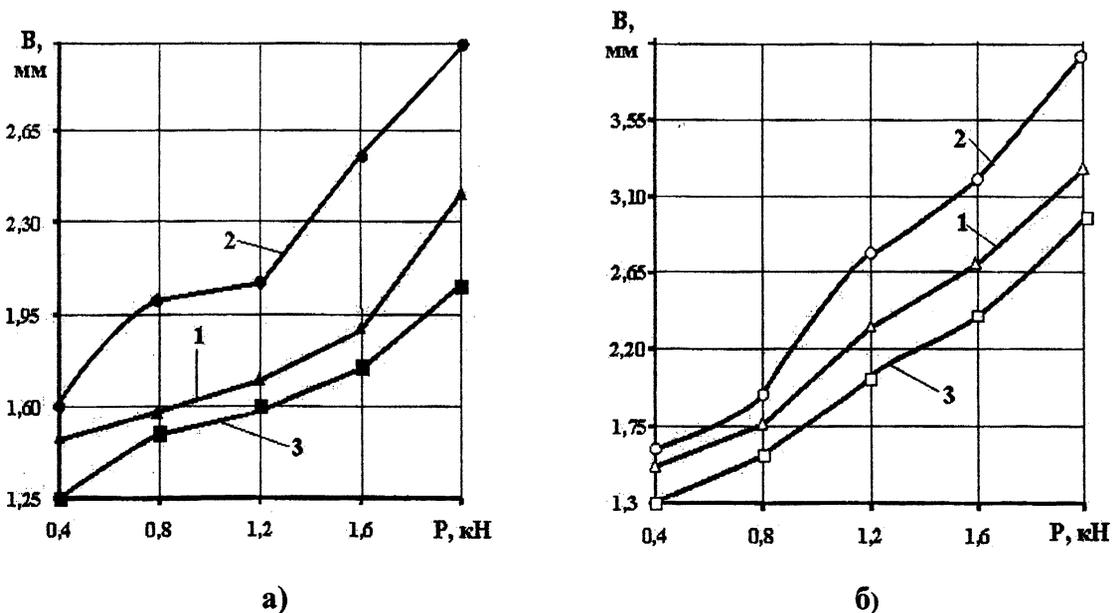
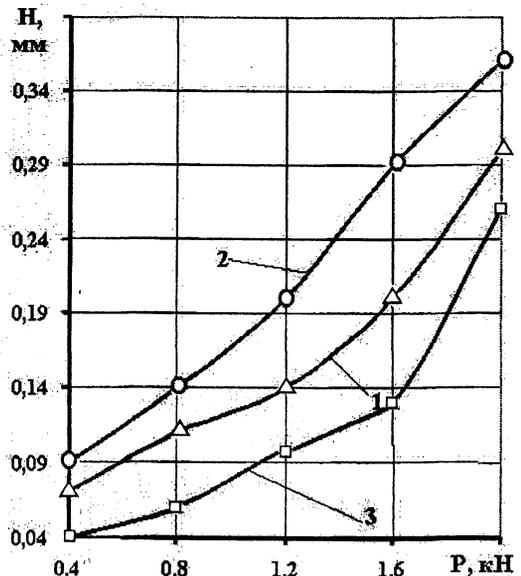
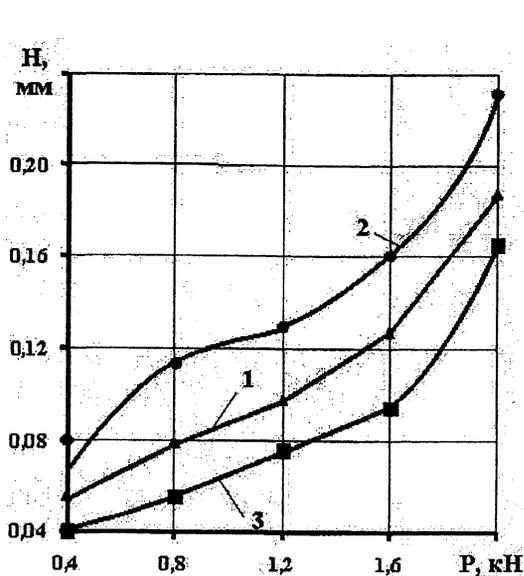
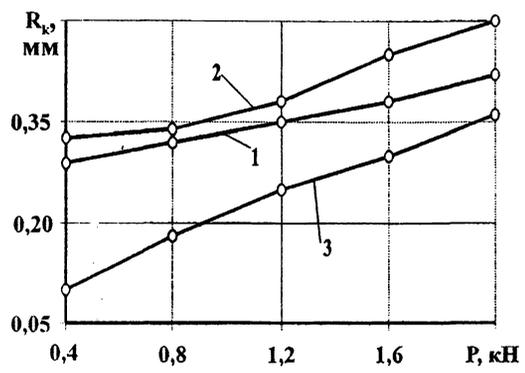
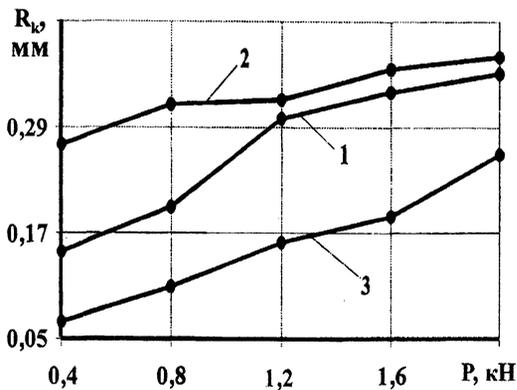


Рисунок 3 - Зависимость изменения ширины  $B$  единичного следа от профильного радиуса деформирующего элемента  $R_{np}$  и усилия деформирования  $P$   
 ( $v = 26$  м/мин а - материал ПА-ЖГр2; б - материал ПА-ЖГр1Д3):  
 1 -  $R_{np} = 4$  мм; 2 -  $R_{np} = 8$  мм; 3 -  $R_{np} = 12$  мм



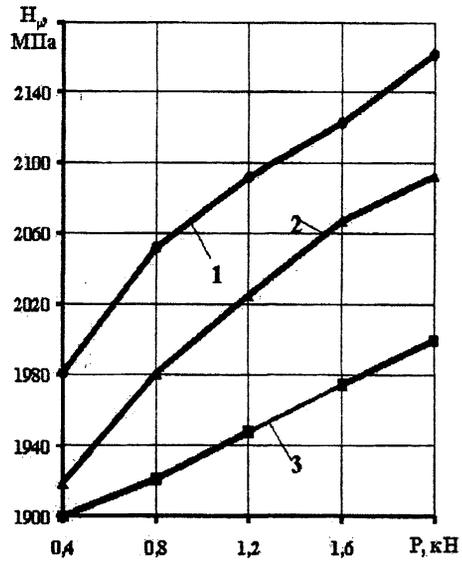
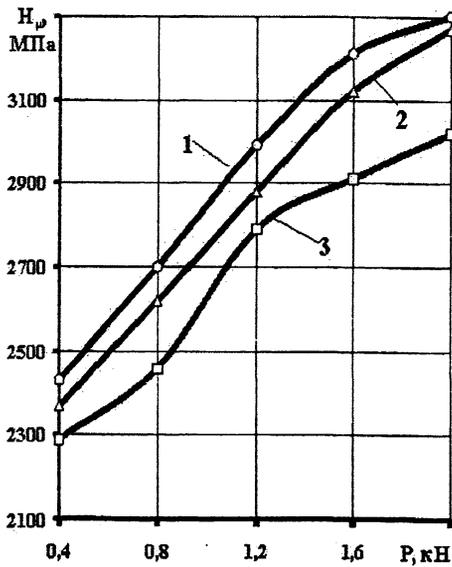
а) б)  
 Рисунок 4 - Зависимость изменения глубины  $H$  единичного следа от профильного радиуса деформирующего элемента  $R_{пр}$  и усилия деформирования  $P$  ( $v = 26$  м/мин; а - материал ПА-ЖГр2; б - материал ПА-ЖГр1Д3):  
 1 -  $R_{пр} = 4$  мм; 2 -  $R_{пр} = 8$  мм; 3 -  $R_{пр} = 12$  мм



а) б)  
 Рисунок 5 - Зависимость изменения радиуса кривизны  $R_k$  единичного следа от профильного радиуса деформирующего элемента  $R_{пр}$  и усилия деформирования  $P$  ( $v = 26$  м/мин; а - материал ПА-ЖГр2; б - материал ПА-ЖГр1Д3):  
 1 -  $R_{пр} = 4$  мм; 2 -  $R_{пр} = 8$  мм; 3 -  $R_{пр} = 12$  мм

Увеличение профильного радиуса ролика ( $R_{пр} = 8$  мм) ведет к росту геометрических параметров микропрофиля единичного следа. При обкатывании заготовок из материала марки ПА-ЖГр2 величина  $B$  возрастала на 22...53%,  $H$  - на 5...19%, по сравнению с обработкой роликом с  $R_{пр} = 4$  мм. Это связано с тем, что, несмотря на уменьшение давления в зоне контакта, с ростом  $R_{пр}$  увеличивается количество пор в указанной зоне. В результате преобладающее влияние приобретает упругопластическая деформация, приводящая к частичному заполнению пор материалом порошковых частиц в этой зоне. Это в свою очередь способствует внедрению деформирующего элемента в обрабатываемую поверхность.

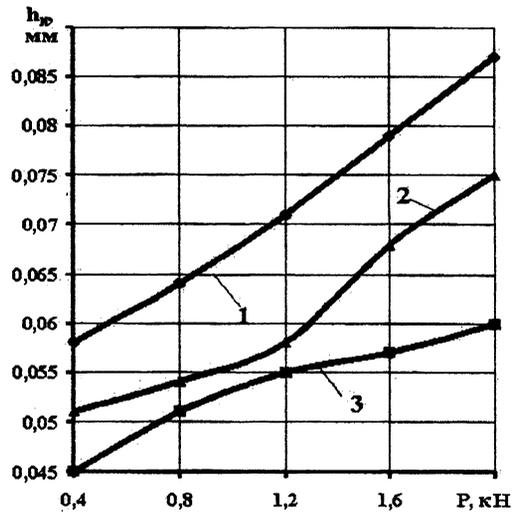
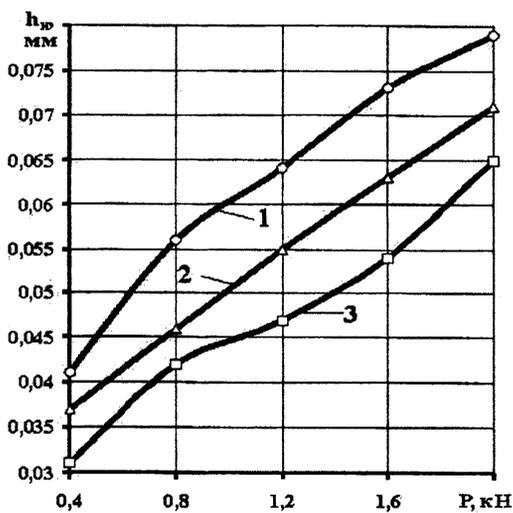
Дальнейшее увеличение  $R_{пр}$  до 12 мм способствует существенному снижению при тех же усилиях  $P$  геометрических параметров микропрофиля единичного следа на поверхности заготовок из ПА, по сравнению с  $R_{пр} = 8$  мм:  $B$  - на 5...30 %,  $H$  - на 23...54%.



а)

б)

Рисунок 6 - Зависимость изменения микротвердости поверхности от профильного радиуса деформирующего элемента  $R_{np}$  и усилия деформирования  $P$  ( $v = 26$  м/мин; а - материал ПА-ЖГр2; б - материал ПА-ЖГр1Д3):  
1 -  $R_{np} = 4$  мм; 2 -  $R_{np} = 8$  мм; 3 -  $R_{np} = 12$  мм



а)

б)

Рисунок 7 - Зависимость изменение глубины упрочненного слоя  $h_n$  от профильного радиуса деформирующего элемента  $R_{np}$  и усилия деформирования  $P$  ( $v = 26$  м/мин; а - материал ПА-ЖГр2; б - материал ПА-ЖГр1Д3):  
1 -  $R_{np} = 4$  мм; 2 -  $R_{np} = 8$  мм; 3 -  $R_{np} = 12$  мм

Такой характер изменения геометрических параметров микропрофиля единичного следа объясняется уменьшением давления в зоне контактной площадки, которое в данном случае не может быть компенсировано ростом количества в ней пор. Увеличение профильного радиуса деформирующего элемента приводит к сокращению глубины деформации поверхностного слоя заготовок из ПА, а, следовательно, и глубины распространения наклепа. На это указывают результаты определения микротвердости поверхностного слоя и глубины наклепа в зависимости от  $R_{np}$  и усилия деформирования. Зависимости изменения микротвердости поверхностного слоя и глубины наклепа от профильного радиуса деформирующего элемента и усилия деформирования изображены на рис. 6-7.

Аналогичные результаты были получены для заготовок из материала марки ПА-ЖГр1Д3.

Представленные результаты свидетельствуют о том, что при обкатывании заготовок из ПА с увеличением профильного радиуса деформирующего элемента, при прочих равных условиях, наблюдается сокращение глубины деформации поверхностного слоя. Это в свою очередь не позволяет обеспечить его уплотнение и создать в нем значительный по степени и глубине наклеп. При малом профильном радиусе деформирующего элемента ( $R_{пр} = 4$  мм) обеспечивается большее упрочнение поверхности вплоть до перенаклепа.

Для монолитных материалов при одних и тех же усилиях накатывания уменьшение профильного радиуса деформирующего элемента приводит к росту степени наклепа, но уменьшает глубину его распространения [4]. Это является принципиальным отличием ППД заготовок из пористых антифрикционных материалов от монолитных.

Полученные результаты исследования формирования микропрофиля единичного следа при обкатывании заготовок из ПА свидетельствуют о том, что деформирующий элемент с  $R_{пр} = 8$  мм является оптимальным с точки зрения обеспечения качества поверхности деталей из исследуемых материалов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Богомолов, Н.И. О сущности процесса абразивной доводки. В сб.: Передовая технология и автоматизация управления процессами обработки деталей машин. – Л.: Машиностроение, 1970 – С. 398-405.
2. Мартынов, А.Н. Основы метода обработки деталей свободным абразивом, уплотненным инерционными силами. – Саратов: Изд-во СГУ, 1981. – 212 с.
3. Турчак, Л.И. Основы численных методов. – М.: Наука. 1987. – 320 с.
4. Жасимов, М.М. Управление качеством деталей при поверхностном пластическом деформировании. – Алма-Ата: Наука, 1986. – 206 с.

УДК 621.77

*Исаевич Л.А., Гуринович В.А., Сидоренко М.И., Шиманский А.В.*

## РАСЧЕТ ВЕЛИЧИНЫ ОСАДКИ ПРИ ПЛАСТИЧЕСКОМ ФОРМООБРАЗОВАНИИ ФЛАНЦА В ТРУБНОЙ ЗАГОТОВКЕ

*Белорусский национальный технический университет  
Минск. Беларусь*

Процесс формообразования методом пластического деформирования фланцев в трубных заготовках является разновидностью процесса раздачи концов этих заготовок жестким инструментом [1-4]. При этом конец трубной заготовки подвергается раздаче под прямым или близким к нему углом [4, 5].

Для осуществления процесса раздачи по данной схеме в деформирующем инструменте необходимо иметь плавный переход от цилиндрической части к плоскости в виде торообразной поверхности (рисунок 1). Такая поверхность, естественно, копируется и в раздаваемой части заготовки, что в ряде случаев не допускается конструкцией получаемой детали.

С целью исправления указанного недостатка и обеспечения острой кромки между цилиндрическим отверстием и фланцевой частью толщину стенки заготовки заранее выбирают увеличенной. После этого за счет удаления избытка металла обработкой резанием получают деталь с острой кромкой в зоне перехода от фланца к цилиндрической полости заготовки.