



Нахайчук О. В.

Огородников В. А.

Музычук В. И.

Сивак Р. И.

Солоная Е. В.

Винницький  
государственный  
аграрный  
университет

УДК 621.774

## ДЕФОРМИРУЕМОСТЬ ЗАГОТОВОК В ПРОЦЕССЕ ЗАКАТКИ ПАРЫ ПОРШЕНЬ- ШАТУН АКСИАЛЬНО- РОТОРНОГО ПОРШНЕВОГО НАСОСА

*Робота присвячена вивченню деформуємості заготовок в процесі заочування поршня з шатуном аксіально-роторного поршневого насоса на різних стадіях формоутворення. Інформація про механіку процесу заочування дозволила забезпечити сприятливу технологічну спадковість, необхідний ресурс пластичності і гарантований зазор між поршнем і шатуном при обробці матеріалів з різною вихідною твердістю.*

*The work is devoted to studying of deformability of purveyances of a piston during its rolling up with a connecting rod of the axially-rotor piston pump under different stages of transformation. Information on the mechanics of a rolling up process will provide a favorable technological heritage, necessary plasticity, and a guaranteed axial gap between the piston and connecting rod under the treatment of materials possessing different initial solidity.*

### Введение

Современный этап развития машиностроения характеризуется созданием гидроприводов высокого давления, важнейшей составной частью которых являются аксиально-роторные поршневые насосы, которые применяются в дорожных и строительных машинах.

Операция закатки поршня с шатуном является завершающей в технологическом процессе изготовления пары поршень-шатуна аксиально-роторного поршневого насоса - 310. При её осуществлении формируется технологическая наследственность: упрочнение, распределение остаточных напряжений, необходимый осевой зазор между шатуном и поршнем, размер зерна в связи с уровнем накопленных деформаций и последующем азотировании. Осевой зазор в процессе закатки может превышать допустимую величину (в этом случае при эксплуатации возникает неумеренное биение), либо оказывается меньшим допустимой величины (происходит заклинивание).

### Постановка задачи исследований

С целью обеспечения благоприятной технологической наследственности, а также повышения стабильности получения необходимого зазора между поршнем и шатуном после закатки необходимо изучить механику деформирования данной пары, что может обеспечить благоприятную технологическую наследственность, необходимый ресурс пластичности и гарантированный зазор при закатке материалов с различной исходной твердостью.

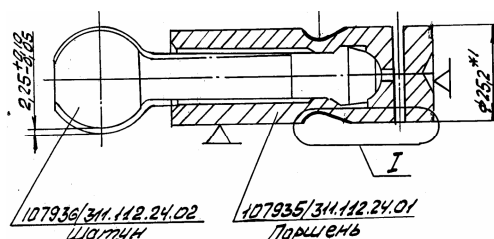


Рис.1. Поршень-шатуна



**Основные результаты исследования**

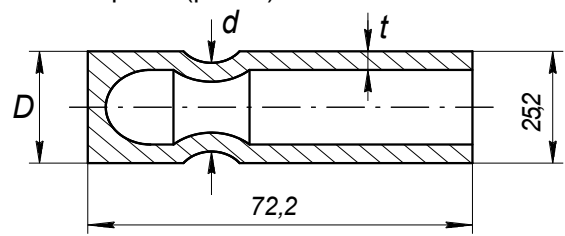
Для решения поставленной задачи механику закатки изучали методом делительных сеток, а также методом твёрдости [1]. Напряжённое состояние рассчитывали с учетом упрочнения металла в процессе закатки, при этом использовали дифференциальные уравнения равновесия, а также изучали кинематику течения деформируемого металла [2].

Процесс закатки поршня с шатуном моделировали на реальном технологическом процессе. При этом изготавливали поршень из стали 38Х2МЮА, и шатун – 30Х3МФА по существующей технологии. Всего изготовили семь заготовок поршня и шатуна.

До закатки во внутренней полости поршня с помощью координатно-расточного станка нанесли делительную сетку специальным резцом базой – 1 мм. Сетку наносили как в продольном направлении, так и в окружном. Затем заготовки подвергали закатке, одним из характерных параметров закатки был принят:

$$m = \frac{D-d}{2t}, \quad (1)$$

где  $D$  – диаметр поршня до закатки,  $d$  – диаметр поршня после закатки,  $t$  – толщина стенки поршня (рис. 2).



**Рис. 2. Схема меридионального сечения поршня после закатки**

Указанные параметры характеризуют стадию деформации заготовки поршня в целом. В таблице 1 представлены режимы деформирования семи заготовок для изучения напряжённо-деформированного состояния при закатке поршня с шатуном. По результатам экспериментов был построен градуировочный график стали 38Х2МЮА, из которой изготавливают заготовки поршня, в координатах: твердость HV, интенсивность напряжений -  $\sigma_u$ , интенсивность деформаций -  $e_u$ , по методике, изложенной в работе [1]. С помощью градуировочного графика по изосклярам твёрдости заготовок поршня строили изолинии  $\sigma_u = \text{const}$ ,  $e_u = \text{const}$  на всех семи заготовках поршня.

После деформирования по указанным режимам, заготовки поршня разрезали вдоль

меридионального сечения, полученную поверхность шлифовали и полировали до шероховатости  $R_a < 0,16$  мкм по ГОСТ 2789-73.

В меридиональном сечении заготовок поршня по указанным режимам измеряли твёрдость по Виккерсу в 30-40 точках поверхности под нагрузкой 50 Н.

**Таблица 1  
Режимы закатки семи заготовок поршня с шатуном после завершения механической обработки**

№ образца	1	2	3	4	5	6	7
Параметр закатки, m	0,24	0,51	0,64	0,65	0,62	0,63	0,49
Примечание	закатка с шатуном	закатка с шатуном	закатка с шатуном пауза 3 с	закатка с шатуном пауза 3 с	закатка с шатуном пауза 3 с	закатка с шатуном пауза 3 с	закатка без шатуна

Полученная информация положена в основу расчёта главных компонент тензора деформаций –  $e_r$ ,  $e_\varphi$ ,  $e_m$ . При этом на внутренней поверхности:

$$e_m = +\ln \frac{Z_i}{Z_0}, \quad e_\varphi = -\ln \frac{d_0}{d_i}, \quad e_z = -e_m - e_\varphi, \quad (2)$$

а интенсивность деформации:

$$e_u = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{e_\varphi^2 + e_\varphi e_m + e_m^2}. \quad (3)$$

В соотношениях (2)  $Z_i$ ,  $Z_0$  - расстояния между узлами делительной сетки в меридиональном направлении до и после деформации;  $d_0$ ,  $d_i$  – диаметры внутренней поверхности меридионального сечения заготовки поршня до и после деформации.

На рис. 3 показаны эпюры всех компонент тензора логарифмических деформаций во внутренней полости заготовок поршня, а также на наружной поверхности. Как следует из рисунка, меридиональные компоненты тензора – положительные (происходит удлинение заготовки поршня) в процессе закатки, окружные и радиальные компоненты тензора – отрицательные



(происходит сужение, уменьшение диаметра полости заготовки).

В связи с изложенным выше, представляют интерес результаты измерений исходной (до закатки) твёрдости на различных заготовках. Можно предположить, что заготовки вырезались из одного прутка, тем не менее исходная твёрдость изменяется в пределах от  $(HV_0)_2 = 230$  МПа до  $(HV_0)_4 = 206$  МПа, что соответствует 13 % отклонения относительно исходной твёрдости. Такое расхождение приводит к нестабильности геометрических размеров заготовок поршня и шатуна при их закатке.

Полученные зависимости  $(HV)_0$  и  $\sigma_u$  для семи заготовках поршня приведены в таблице 2.

Напряжённое состояние при закатке определяли по методике, изложенной в работе [2]. Она предусматривает определение значений интенсивности напряжений и деформаций по распределению твёрдости с применением метода совместного решения уравнений равновесия и условий пластичности [3]. При закатке поршня-шатунa опасной областью деформирования является внешняя область в окрестности действия накатного ролика. В опасных точках рассчитывали контактные напряжения, компоненты тензора напряжений, накопленную интенсивность деформаций, а также показатель напряжённого состояния. При этом интенсивность напряжений определяли путём измерения твёрдости с помощью изоскляр, построенных в меридиональном сечении заготовок поршня. На рис. 4 показаны изолинии твёрдости HV, интенсивности напряжений и деформаций для заготовки, закатанной при параметре  $m = 0.24$ .

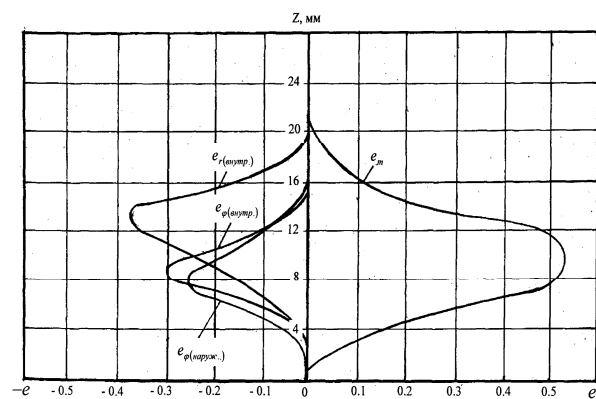


Рис. 3. Эпюры компонент тензора логарифмических деформаций  $e_m$ ,  $e_\phi$   $e_\phi(\text{внутр})$ ,  $e_\phi(\text{наруж})$ ,  $e_r(\text{внутр})$  закатываемого поршня (параметр закатки  $m = 0.24$ )

Полученные данные о напряжённо-деформированном состоянии позволили

получить пути деформирования опасных точек (наиболее близких к разрушению) в процессе закатки пары поршень-шатун (рис.5).

Таблица 2.

Зависимость  $(HV)_0$  и  $\sigma_u$  для семи заготовок поршня

№ заготовки	1	2	3	4	5	6	7
$\sigma_u$ , МПа	680	700	635	620	650	690	645
$HV_0$ , МПа	2300	2340	2110	2060	2180	2330	2120

Диаграмма пластичности стали 38Х2МЮА построена по результатам испытаний образцов на кручение и растяжение. Использованный ресурс пластичности рассчитывали с помощью феноменологического критерия разрушения [4]:

$$\psi = \int_0^{e_u^*} (1 + a \cdot \arctg \frac{d\eta}{de_u}) \frac{e_u \cdot \frac{a \cdot \arctg \frac{d\eta}{de_u}}{1 + a \cdot \arctg \frac{d\eta}{de_u}}}{[e_p(\eta)]} \leq 1, \quad (3)$$

где константа  $a = 0,2$ ,  $d\eta/de_u$  - "направление деформирования",  $e_p(\eta)$  - диаграмма пластичности,  $\bar{e}_u$  - накопленная интенсивность деформаций,  $e_u^*$  - предельная деформация, отвечающая использованному ресурсу пластичности  $\psi = 1$ .

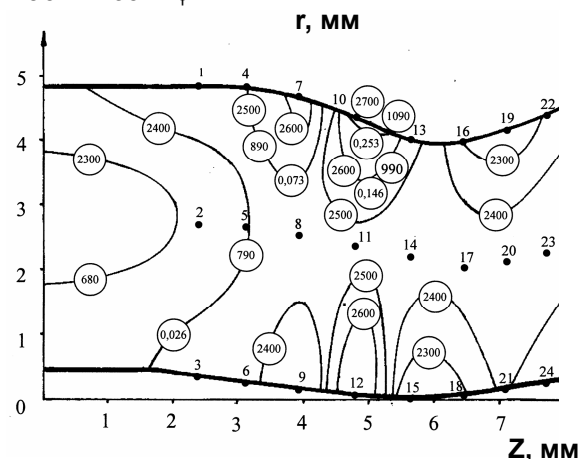


Рис. 4. Изолинии твёрдости HV (МПа), интенсивности напряжений -  $\sigma_u$  (МПа), интенсивности деформаций -  $e_u$  в меридиональном сечении заготовки поршня