

УДК 621.777:621.79

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТЕПЕНИ ДЕФОРМАЦИИ НА ЭНЕРГОСИЛОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА ПЛАКИРОВАНИЯ ЗАКРЫТОЙ ПРОШИВКОЙ

Ю. Л. БОБАРИКИН, В. Ф. БУРЕНКОВ, Н. В. ИНОЗЕМЦЕВА

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого»,  
Республика Беларусь*

### Введение

В работе [1] произведен аналитический расчет силовых параметров процесса плакирования при закрытой прошивке. Для подтверждения расчетных зависимостей выполнялись эксперименты по пластическому деформированию образцов.

Результаты по изучению усилия прошивки с плакированием изложены в работе [2], однако влияние степени деформации на силовые параметры процесса экспериментально не подтверждалось.

### Экспериментальные исследования и их результаты

Для определения влияния степени деформации  $\varepsilon$  на силовые параметры процесса проводилась прошивка с плакированием пуансонами диаметрами 15, 20, 25, 30 и 35 мм с плоским торцом, конической и сферической рабочей частью. Пуансоны имели калибрующую часть длиной  $0,75d$  ( $d$  – диаметр калибрующей части), радиусы перехода  $R_c = 0,1d$ , конические пуансоны имели  $(2\alpha) = 90^\circ$ , сферические  $R_c = 0,5d$ . Для заготовок диаметром  $D = 40$  мм степень деформации  $\varepsilon = d^2 / D^2$  при этих диаметрах составляла 14, 25, 39, 56 и 77 %.

Форма индикаторных диаграмм аналогична для всех диаметров пуансонов и имеет все характерные участки. На рис. 1 показан характер изменения максимальных усилий прошивки с плакированием (для установившейся стадии процесса) алюминиевых заготовок в свободном контейнере (плакирующий материал – порошковое олово ПО2). Зависимости усилия прошивки  $P$  [кН] от  $\varepsilon$  имеют вид:

$$P_1 = 312,6\varepsilon^{0,73} e^{1,38\varepsilon};$$

$$P_2 = 294,17\varepsilon^{0,74} e^{1,38\varepsilon};$$

$$P_3 = 248,85\varepsilon^{0,69} e^{1,57\varepsilon}.$$

При прошивке гладкими пуансонами (без калибрующего пояса) и при схеме прошивки в закрепленном контейнере форма кривых аналогична приведенным ранее.

При анализе силовых параметров процесса прошивки с плакированием, а также изучении условий формирования плакирующего слоя необходимо иметь сведения о характере изменения среднего удельного усилия  $p$  (отношение усилия для осуществления процесса к площади поперечного сечения пуансона), а также отношения  $p / \sigma_s$ . Зависимость среднего удельного усилия от степени деформации представлена в табл. 1 и на рис. 2.

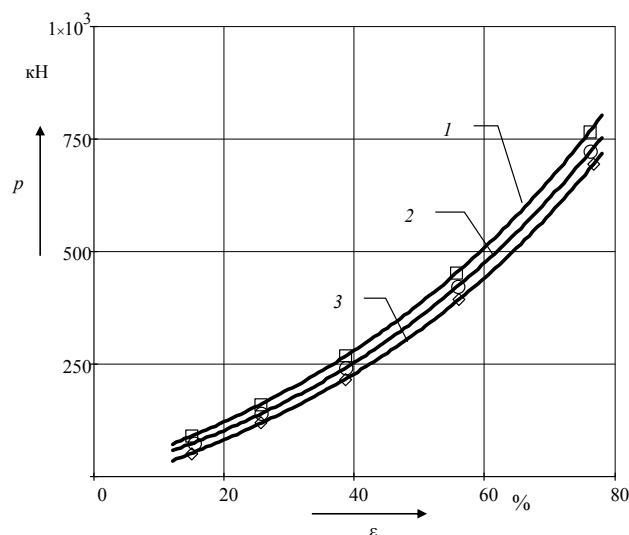


Рис. 1. Зависимость усилия прошивки алюминиевых заготовок с плакированием порошковым оловом от степени деформации:  
 1 – пуансон с плоским торцом; 2 – с конической рабочей частью ( $2\alpha = 90^\circ$ );  
 3 – со сферической рабочей частью

Таблица 1

Зависимость среднего удельного усилия прошивки с плакированием заготовок из алюминия АД0 от степени деформации

Степень деформации $\epsilon$ , %		14	25	39	56	77
Напряжения текучести $\sigma_s = (\sigma_{s0} + \sigma_{sg})/2$ , МПа		56,5	66,0	72,5	80,0	87,5
Пуансон с плоским торцем $R_c = 0,1d$	Удельное усилие $p$ , МПа	503,9	528,7	535,1	623,1	780,6
	Отношение $p/\sigma_s$	8,91	8,01	7,38	7,79	8,92
С конической рабочей частью $2\alpha = 90^\circ$ , $R_c = 0,1d$	$p$	475,6	477,7	510,2	594,5	730,0
	$p/\sigma_s$	8,41	7,23	7,03	7,43	8,34
Со сферической рабочей частью	$p$	441,6	445,9	493,3	566,9	723,2
	$p/\sigma_s$	7,81	7,76	6,80	7,09	8,27

Величина среднего удельного усилия (давления) процесса плакирования при прошивке соизмерима с величиной максимального давления, необходимого для получения 100 % плотности порошкового плакирующего материала, которое равно давлению истечения металла. Для порошковых материалов давление истечения не зависит от физических характеристик, таких как величина и форма частиц, насыпная плотность, степень упрочняемости, а зависит только от химического состава. Так, порошковый свинец имеет давление истечения – 100, а олово – 140 МПа, что не превышает минимальное значение давления прошивки, равное 441,6 МПа. Поэтому порошковое покрытие после его формирования на стенке полости сплошное и не имеет пор. Для определения влияния степени деформации на отношение  $p/\sigma_s$  были построены кривые упрочнения при сжатии образцов. Кривые упрочнения при сжатии наиболее полно характеризуют деформированное состояние, так как процесс прошивки характеризуется всесторонним объемным сжатием. Образцы изготавливались по методике [4], перед деформацией производился высокий отжиг, торцевые выточки заполнялись парафином. Образцы допускали предельную степень деформации  $\epsilon = \Delta h/h_0 = 80\%$  без разрушения смазочного слоя и бочкообразования.

Кривая упрочнения при сжатии образцов из алюминия АД0 приведена на рис. 3, зависимость отношения  $p/\sigma_s$  от степени деформации в табл. 2 и на рис. 4. Зависимости имеют минимум при степени деформации  $\varepsilon \approx 40\%$ , что соответствует литературным данным [3]. Теоретическая зависимость (кривая 4), построенная по аналитическим зависимостям для пуансона с плоским торцом, хорошо согласуется с экспериментальной. Некоторое расхождение при  $\varepsilon > 40\%$  вызвано, по-видимому, влиянием сил трения на калибрующем пояске пуансона, которые не учитывались в расчетной формуле. Кривая 5 построена по формуле (7.67а) М. В. Сторожева [3].

Для практических расчетов силовых режимов целесообразно иметь представление о зависимости усилия прошивки с плакированием от показателя механических свойств деформируемой заготовки. В качестве такого показателя может быть принята твердость материала заготовки по Бринеллю. Для изучения влияния твердости  $HB$  деформируемых заготовок на силовые параметры процесса прошивки с плакированием были исследованы заготовки из алюминия АД0, АД1, литейного алюминия АЛ, алюминиевого сплава Д16, Д16Т, а также меди М2 отожженной и в состоянии поставки. В табл. 2 приведены данные силовых режимов процесса прошивки с плакированием заготовок из меди М2 отожженной. Влияние формы деформирующего инструмента аналогично прошивке с плакированием заготовок из алюминия АД0. В табл. 3 и на рис. 5 приведены зависимости влияния твердости плакированного материала на усилие прошивки в установившейся стадии процесса. Прошивка с плакированием производилась в свободном контейнере пуансонами с калибрующим пояском. Зависимости 1, 2 усилия прошивки  $P$  [кН] от твердости  $HB'$  основного материала (рис. 5) имеют вид:

$$P_1 = 7,17(HB')^{0,893};$$

$$P_2 = 9,28(HB')^{0,868},$$

где  $HB'$  – твердость основного материала после деформирования со степенью деформации  $\varepsilon = 25\%$ .

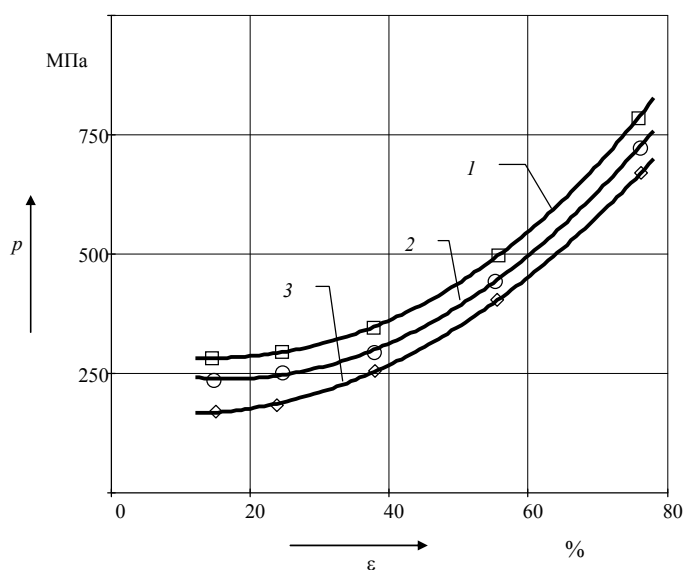


Рис. 2. Зависимость среднего удельного усилия прошивки заготовок из алюминия АД0, плакированных порошковым оловом ПО2, от степени деформации:

1 – пуансон с плоским торцом; 2 – пуансон с конической рабочей частью ( $2\alpha = 90^\circ$ );

3 – со сферической рабочей частью

Таблица 2

Силовые параметры процесса плакирования заготовок из меди М2 порошковым оловом ПО2

Ход пуансона $S$ , мм		5	10	15	20	25	30	35	40	45
Отношение $d/h_0$		0,44	0,5	0,57	0,67	0,8	1,0	1,33	2,0	4,0
Усилие прошивки $P$ , кН	Пуансон с плоским торцом $d = 20$ мм, $R_c = 2$ мм	302,5	330	342	355	360	360	355	352	348,5
	Конический $d = 20$ мм, $2\alpha = 90^\circ$	230	265	292	302	315	310,5	307	300	–
	Сферический $d = 20$ мм, $R_c = d/2$	212,5	250	272	275	270	269,5	265	260	–

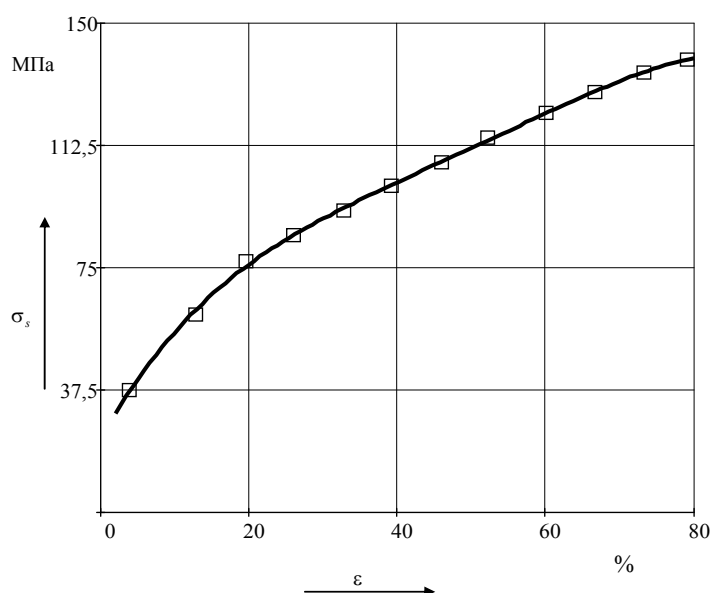


Рис. 3. Кривая упрочнения алюминия АД0

Таблица 3

Усилие в установившейся стадии процесса прошивки с плакированием пуансонами с плоским торцом ( $d = 20$  мм,  $R_c = 2$  мм) в зависимости от твердости материала основы

Материал заготовки, вид термообработки	Твердость материала заготовки		Усилие прошивки $P$ , кН	
	до деформирования $HV$	после деформирования $HV'$	покрытие ПО2	покрытие БКА
Алюминий АД0 отожженный	25,2	35,7	166	198
Алюминий АД1 отожженный	41,5	59,5	292	314
Алюминий литейный АЛ19 в состоянии поставки	70,6	84,7	390	452

Окончание табл. 3

Материал заготовки, вид термообработки	Твердость материала заготовки		Усилия прошивки $P$ , кН	
	до деформирования $HV$	после деформирования $HV'$	покрытие ПО2	покрытие БКА
Алюминиевый сплав Д16 в состоянии поставки	95	127	550	615
Алюминиевый сплав Д16Т в состоянии поставки	138	195	765	833
Медь М2 отожженная	40,2	95	412,5	504
Медь М2 в состоянии поставки	59,5	107	480	585

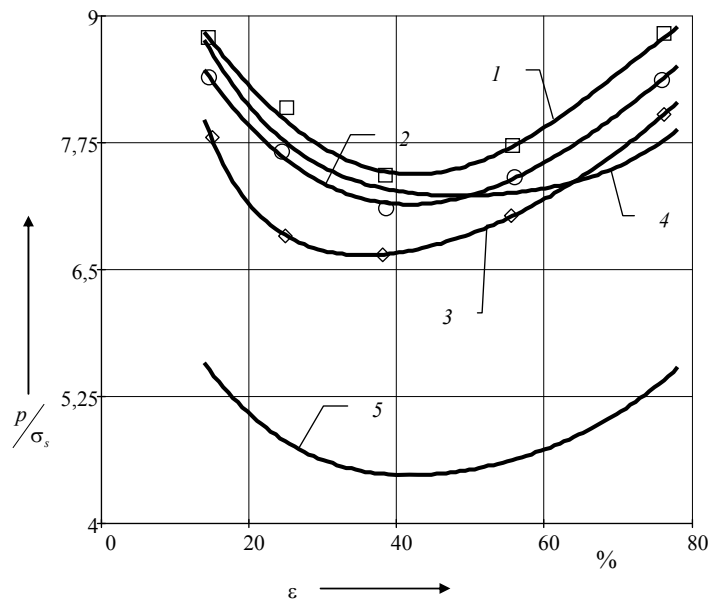


Рис. 4. Влияние степени деформации  $\varepsilon$  на отношение  $p/\sigma_s$  при прошивке с плакированием алюминиевых заготовок:

- 1 – пуансон с плоским торцом ( $R_c = 0,1d$ ); 2 – пуансон с конической рабочей частью ( $2\alpha = 90^\circ$ ,  $R_c = 0,1d$ ); 3 – со сферической рабочей частью ( $R_c = d/2$ ); 4 – расчетная зависимость [1]; 5 – расчетная по М. В. Сторожеву [3]

Влияние материала плакирующего слоя на силовые параметры процесса плакирования сказывается незначительно, при применении в качестве плакирующего материала баббита марки БКА увеличение усилия прошивки составляло 5–7 % (рис. 2, зависимость 1).

При прошивке с плакированием изучались характер изменения и величина нормального давления на боковой поверхности контейнера. Определение давления на боковую поверхность контейнера необходимо для прочностного расчета контейнера и выбора его материала, также расчета натягов в случае применения многослойных контейнеров. Давление на боковой поверхности контейнера часто принимают равным удельной силе выдавливания, приложенной к торцу пуансона, что не соответствует действительности. Для экспериментального определения бокового давления на поверхности контейнера устанавливались три штифтовые месдозы. Распределение нормальных напряжений по высоте стенки контейнера неравномерно, наибольшего значения они достигают на нижней границе пластической области. Зависимость максимального давления на боковой поверхности контейнера от степени деформа-

ции (толщины стенки стакана) представлена на графике (рис. 6). Зависимость давления на боковую стенку контейнера  $p_n$  от толщины стенки прошитой заготовки  $t$  имеет вид  $p_n = 306,2t^{-0,29}e^{-0,09t}$ . Давление на дно контейнера определялось с целью установления нижней границы пластической зоны (при подходе границы пластической зоны к дну контейнера отмечается интенсивный рост удельного усилия).

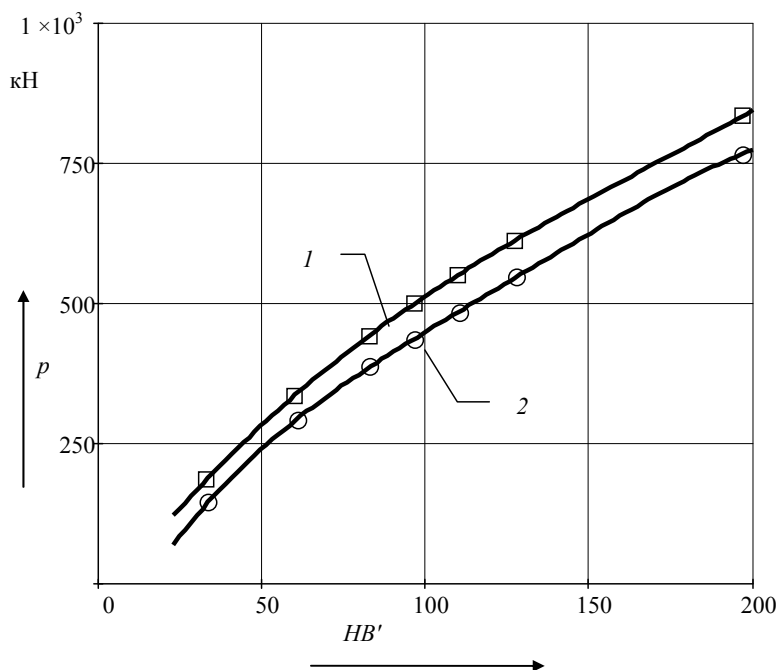


Рис. 5. Влияние твердости основного металла после деформирования на усилие прошивки с плакированием (пуансон с плоским торцом  $d = 20$  мм,  $R_C = 20$  мм):

- 1 – плакирующий материал баббит БКА;
- 2 – порошковое олово ПО2

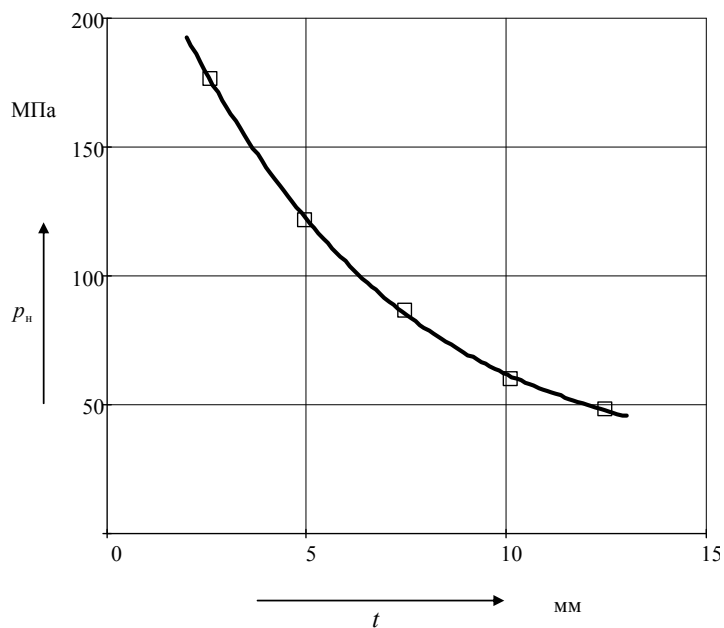


Рис. 6. Зависимость давления на боковую поверхность контейнера от толщины стенки (пуансон с плоским торцом, заготовка – алюминий АД0)

Таким образом, получены экспериментальные данные по влиянию степени деформации на силовые параметры процесса плакирования с использованием пуансонов различной формы рабочей поверхности. Изучен характер изменения давления на боковую поверхность контейнера при различной степени деформации основного материала. Аналитические зависимости, полученные ранее, имеют хорошее согласование с результатами эксперимента.

### **Литература**

1. Бобарикин, Ю. Л. Экспериментальное исследование усилия плакирования при закрытой прошивке / Ю. Л. Бобарикин, В. Ф. Буренков, Н. В. Иноземцева // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2011. – № 1. – С. 19–23.
2. Буренков, В. Ф. Напряженное состояние очага деформации при плакировании прошивкой / В. Ф. Буренков, Ю. Л. Бобарикин // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2009. – № 2. – С. 36–44.
3. Сторожев, М. В. Теория обработки материалов давлением / М. В. Сторожев, Е. А. Попов. – М. : Машиностроение, 1972. – 423 с.
4. Кроха, В. А. Кривые упрочнения металлов при холодной деформации / В. А. Кроха. – М. : Машиностроение, 1968. – 131 с.

*Получено 08.07.2013 г.*