

УДК 621.98: 621.73

*Е.Ю. БАЛАЛАЕВА*, аспирант, ПГТУ

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ УПРУГИХ ДВУХСЛОЙНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ УНИВЕРСАЛЬНОГО КОМПЕНСАТОРА ПОГРЕШНОСТЕЙ СИСТЕМЫ «ПРЕСС-ШТАМП» МЕТОДОМ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА**

Рассмотрена и проанализирована работа упругих двухслойных элементов универсального компенсатора погрешностей системы «пресс-штамп». Получены регрессионные зависимости усилия сжатия от коэффициента перекрытия и степени осадки по методике планирования эксперимента. Определены пути изменения жесткости упругих компенсаторов за счет варьирования коэффициентом перекрытия.

The work of elastic two-ply elements of universal compensator of errors of the press-die system is considered and analyzed. The regressive dependences of the pressing force from the contact ratio and the upsetting degree by the method of the design of experiments are received. The ways of changing of inflexibility of elastic compensators due to variation of the contact ratio are determined.

Физический износ и технологические нагрузки при работе прессового оборудования обуславливают появление погрешностей направления ползуна и, как следствие, возникновение несоосности системы «пресс-штамп» [1], что отрицательно сказывается на качестве отштампованных изделий и точности реза на разделительных операциях.

Наиболее перспективными устройствами, снижающими перекосы ползунов прессов, являются компенсаторы на основе упругих, чаще всего полиуретановых, пластин, крепление которых производят различными способами между ползуном и верхней плитой штампа. Известна конструкция компенсатора погрешностей неперпендикулярности оси отверстия под хвостовик к опорной поверхности стола [2], позволяющая исключить изгиб и интенсивный износ направляющих колонок и втулок штампов, а так же упростить и удешевить конструкцию компенсатора погрешностей неперпендикулярности оси отверстия в ползуне прессы по сравнению с плавающим хвостовиком по ГОСТ 16719-71 [3]. Однако данные устройства обладают громоздкой конструкцией и сложной кинематикой, что повышает затраты на их изготовление и снижает их надежность.

Широкое распространение получили компенсаторы, рассчитанные на определенное технологическое усилие, например, компенсатор погрешностей направления ползуна прессы в виде полиуретановой пластины, повторяющий форму плоскости верхней плиты штампа [4-6]. Данная конструкция характеризуется переменной жесткостью за счет отверстий, расположенных с различным шагом в каждом направлении. Эффективность компенсатора поясняется использованием полиуретана в качестве материала пластин, что позволяет выдерживать до  $7 \cdot 10^6$  циклов нагружения сжатия.

Вышеперечисленные устройства обладают фиксированной общесредней жесткостью, что приводит к ограничению диапазона расчетных технологических усилий и необходимости замены компенсатора в случае изменения силовых параметров технологических процессов. Данная проблема была решена путем разработки различных конструкций универсальных компенсаторов погрешностей системы «пресс-штамп» [7], основой которых служит составной предварительно напряженный упругий элемент, выполненный, например, в виде двух жестких пластин из полиуретана с возможностью перемещения одной пластины относительно другой [8], что позволяет менять площадь опорной поверхности и приводит к изменению жесткости компенсатора за счет варьирования коэффициентом перекрытия, расширяя диапазон технологических операций. Конструкция компенсатора [7] для достижения данного эффекта выполняется двухслойной с отверстиями и возможностью поворота верхней круглой пластины относительно нижней. Однако влияние геометрических параметров, таких как коэффициенты перекрытия и формы, на характеристики жесткости универсальных компенсаторов изучены недостаточно.

Целью настоящей работы является экспериментальное исследование работы упругих двухслойных элементов универсального компенсатора погрешностей системы «пресс-штамп» с получением регрессионных зависимостей по методике планирования эксперимента.

Физическими моделями упругих двухслойных компенсирующих элементов служили две прямоугольные пластины размерами 180x65 мм и высотой 13 мм, имеющие три отверстия диаметром 30 мм на расстоянии 30 мм друг от друга, расстояние до кромок составляло 15 мм (рис. 1). Материалом используемых упругих пластин служил полиуретан марки СКУ-ПФЛ-100.

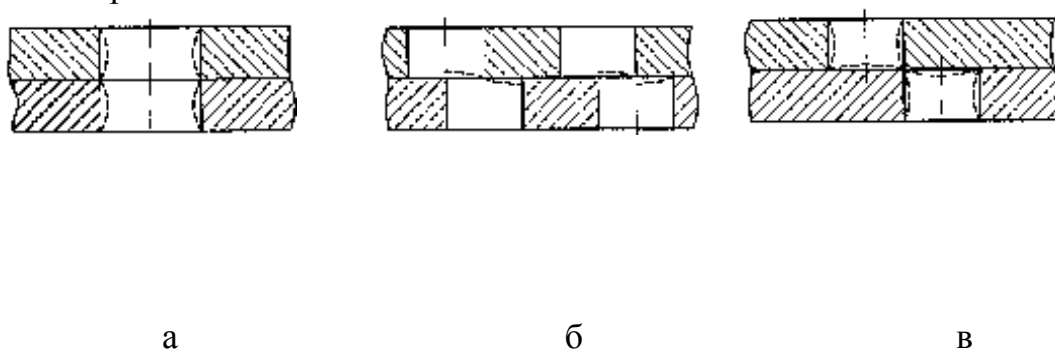


Рис. 1. Конструкция двухслойного компенсатора прямоугольной формы:  
а – при полном совпадении отверстий; б – при половинном совпадении отверстий;  
в – при полном несовпадении отверстий

Пластины располагали одна над другой, при этом одна из пластин имеет возможность перемещаться в горизонтально плоскости, что позволяет менять площадь опорной поверхности и приводит к изменению жесткости компенсатора, которая вычисляется по формуле:  $C = P/\Delta$ , где  $P$  - усилие сжатия,  $\Delta$  - величина осадки компенсатора. Отношение  $K_{пер} = F_{пер.отв} / F_{отв}$ , где  $F_{пер.отв}$  - площадь перекрытия отверстий двух пластин,  $F_{отв}$  - площадь отверстия пластины, является коэффициентом перекрытия, варьирование которым осуществляется при сдвиге верхней пластины. Исследование проводилось для трех коэффициентов перекрытия: при полном совпадении отверстий –  $K_{пер} = 1$  (рис. 1,а), при половинном совпадении отверстий –  $K_{пер} = 0,5$  (рис. 1,б) и при полном несовпадении отверстий –  $K_{пер} = 0$  (рис. 1,в).

Эксперимент проводили на универсальной испытательной машине УИМ-20. Осадку осуществляли поэтапно, т. е. каждый раз образец осаживали на расчетную степень деформации, которую определяли как  $\varepsilon = (H_0 - H_k) / H_0$ , где  $H_0$  - начальная высота упругого компенсирующего элемента,  $H_k$  - упругого компенсирующего элемента после осадки. Эксперимент выполняли без наличия смазки и с использованием масла индустриального марки И20.

Исследование работы двухслойных полиуретановых компенсаторов проводили с применением метода математического планирования эксперимента. Устанавливали зависимость величины усилия сжатия  $P$  от двух факторов: коэффициента перекрытия  $K_{пер}$  (фактор  $x_1$ ) и степени осадки упругого элемента  $\varepsilon$  (фактор  $x_2$ ). Т. к. полиуретан сохраняет стабильные характеристики жесткости при степени осадки, не превышающей 0,3 от начальной высоты упругого элемента, то верхний уровень степени осадки  $x_{2в}$  принимали с учетом запаса равным 0,34. Нижний уровень степени осадки  $x_{2н}$  определяли как максимально близкий к нулю, т. е. равным 0,02, а также рассчитывали основной уровень проведения эксперимента как  $x_{2о} = (x_{2в} + x_{2н}) / 2 = 0,18$ . Таким образом, осадка компенсирующего элемента составляла  $\varepsilon = 0,02; 0,18$  и  $0,34$  при коэффициентах перекрытия  $K_{пер} = 0; 0,5$  и  $1$ . По каждому опыту производилось два измерения усилия сжатия (величины  $y_1$  и  $y_2$  соответственно). Уровни и интервалы варьирования факторов представлены в табл. 1.

Таблица 1. Уровни и интервалы варьирования факторов

Факторы	$K_{пер}$	$\varepsilon$
Обозначение фактора, $x_i$	$x_1$	$x_2$
Нижний уровень, $x_{ин}$	0	0,02
Верхний уровень, $x_{ив}$	1	0,34
Нулевой уровень, $x_{io}$	0,5	0,18
Интервал варьирования, $\Delta x_i$	0,5	0,16

В работе рассматривали два типа регрессионных моделей: линейную и квадратичную. В качестве плана вычислительного эксперимента для первой модели использовали двухуровневый полнофакторный эксперимент (ПФЭ)  $2^2$ , а для второй – трехуровневый ПФЭ  $3^2$ .

В соответствии с выбранными вычислительными планами проводили эксперимент на опытных образцах, а полученные результаты использовали для вывода регрессионных зависимостей.

Линейное уравнение регрессии с учетом парных взаимодействий имеет вид:

$$y = a'_0 + a'_1 x_1 + a'_2 x_2 + a'_3 x_1 x_2, \quad (1)$$

где  $a'_0, a'_1, a'_2, a'_3$  - коэффициенты уравнения в натуральном масштабе.

В планировании эксперимента использовали кодированные значения факторов на верхнем  $z_{ив}$  и нижнем  $z_{ин}$  уровнях соответственно:

$$z_{ив} = (x_{ив} - x_{io}) / \Delta x_i = +1, \quad z_{ин} = (x_{ин} - x_{io}) / \Delta x_i = -1. \quad (2)$$

После нормирования переменных получили уравнение регрессии в кодированном масштабе:

$$y = a_0 + a_1 z_1 + a_2 z_2 + a_3 z_1 z_2, \quad (3)$$

где  $a_0, a_1, a_2, a_3$  - коэффициенты уравнения регрессии в кодированном масштабе.

План двухуровневого ПФЭ представим в кодовом масштабе матрицей планирования  $2^2$  (табл. 2).

Таблица 2. Матрица планирования двухуровневого ПФЭ

№		Факторы			Повторности				
		$z_0$	$z_1$	$z_2$	$z_1 z_2$	без смазки		со смазкой	
						$y_{i1}$	$y_{i2}$	$y_{i1}$	$y_{i2}$
1	+1	+1	+1	+1	0,0851	0,0853	0,063	0,065	
2	+1	-1	+1	-1	0,0467	0,0469	0,0441	0,0443	
3	+1	+1	-1	-1	0,0029	0,0031	0,0020	0,0022	
4	+1	-1	-1	+1	0,00144	0,00146	0,0011	0,0013	

Средние значения выходной переменной для каждой строки матрицы планирования вычисляли по формуле:

$$\bar{y}_i = \sum_{j=1}^n y_{ij} / n, \quad (4)$$

где  $n$  – количество повторностей,  $N$  – количество факторов.

Воспроизводимость строк матрицы планирования определяли как:

$$S_i^2 = \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_i)^2 / (n-1). \quad (5)$$

Для определения воспроизводимости факторов использовали критерий Кохрена:

$$G_{\text{набл}} = S_{i \max}^2 / \sum S_i^2. \quad (6)$$

Критическое значение  $G_{\text{кр}}(\alpha, k, L)$  определяли по источнику [9], причем  $\alpha = 0,05$ ,  $k = n - 1$ ,  $L = N$ . Если  $G_{\text{набл}} < G_{\text{кр}}$ , то  $y_{ij}$  в каждой линии отличались незначительно, т. е. дисперсии считали однородными.

Коэффициенты регрессии в кодированном виде определяли как:

$$a_{i-1} = \sum_{i=1}^N \bar{y}_i \cdot z_{i-1} / N. \quad (7)$$

Для определения значимости коэффициентов рассчитывали ошибку опыта и дисперсию коэффициентов:

$$S_0^2 = \sum_{i=1}^N S_i^2 / N, \quad S_a^2 = S_0^2 / N, \quad T_{a_i} = |a_i| / S_a. \quad (8)$$

Критическое значение  $T_{\text{кр}}(\alpha, k)$  определяли по источнику [9], причем  $\alpha = 0,05$ ,  $k = N(n - 1)$ . Если  $T_{a_i} > T_{\text{кр}}$ , то соответствующий коэффициент  $a_i$  являлся значимым.

Для определения адекватности модели предварительно рассчитывали дисперсии адекватности по формуле:

$$S_{ад}^2 = n \cdot \sum_{i=1}^N (\tilde{y}_i - \bar{y}_i)^2 / (N - m), \quad (9)$$

где  $\tilde{y}_i$  – расчетное значение полученной функции,  $m$  – количество значимых коэффициентов.

Адекватность уравнения определяем по критерию Фишера:

$$F_{кр} = S_{ад}^2 / S_0^2. \quad (10)$$

Критическое значение  $F_{кр}(\alpha, k_1, k_2)$  определяли по источнику [9], причем  $\alpha = 0,05$ ,  $k_1 = N - m$ ,  $k_2 = N(n - 1)$ . Если  $F_{набл} < F_{кр}$ , то полученная математическая модель являлась адекватной.

Переход к натуральным размерам факторов осуществляли на основании формулы кодирования:

$$z_i = (x_i - x_{i0}) / \Delta z_i. \quad (11)$$

Уравнение регрессии второго порядка с учетом парных взаимодействий имеет вид:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^N b_i x_i + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N b_{ij} x_i x_j + \sum_{ii=1}^N b_{ii} x_{ii}^2, \quad (i \neq j). \quad (12)$$

Коэффициенты регрессии определяли по следующим формулам:

$$b_{ii} = \frac{\sum_{j=1}^M y_j (x'_{ij})_j}{\sum_{j=1}^M (x'_{ij})_j^2}, \quad b_0 = \left( \frac{\sum_{j=1}^M y_j}{M} \right) - \sum_{i=1}^k b_{ii} \bar{x}_i^2, \quad (13)$$

где  $b$  - коэффициенты регрессионной модели;  $x'_i = x_i^2 - \bar{x}_i^2$  – нормализованный фактор, характеризующей влияние квадратичного члена модели;  $\bar{x}_i^2$  – среднее значение,  $M$  – число опытов в плане.

План трехуровневого ПФЭ представим в кодированном масштабе матрицей планирования  $Z^2$  (табл. 3).

Значимость коэффициентов и адекватность модели определяли по формулам, аналогичным (4)-(6), (8)-(10).

На основе вышеизложенных формул для автоматизации получения регрессионных моделей методом математического планирования эксперимента было составлено программное обеспечение (рис. 2), написанное в среде программирования Borland Delphi 7.

Таблица 3. Матрица планирования трехуровневого ПФЭ

№		Факторы			Повторности			
		$z_1$	$z_2$	без смазки		со смазкой		
				$Y_{i1}$	$Y_{i2}$	$Y_{i1}$	$Y_{i2}$	
1	0	-1	0,001 9	0,002 1	0,001 8	0,002 0		
2	0	+1	0,078	0,080	0,060	0,062		

3	-1	0	0,023	0,025	0,020 4	0,020 6
4	+1	0	0,036 4	0,036 6	0,029 0	0,029 2
5	-1	-1	0,001 44	0,001 46	0,001 1	0,001 3
6	+1	-1	0,002 9	0,003 1	0,002 0	0,002 2
7	-1	+1	0,046 7	0,046 9	0,044 1	0,044 3
8	+1	+1	0,085 1	0,085 3	0,063	0,065
9	0	0	0,026	0,028	0,026 1	0,026 3

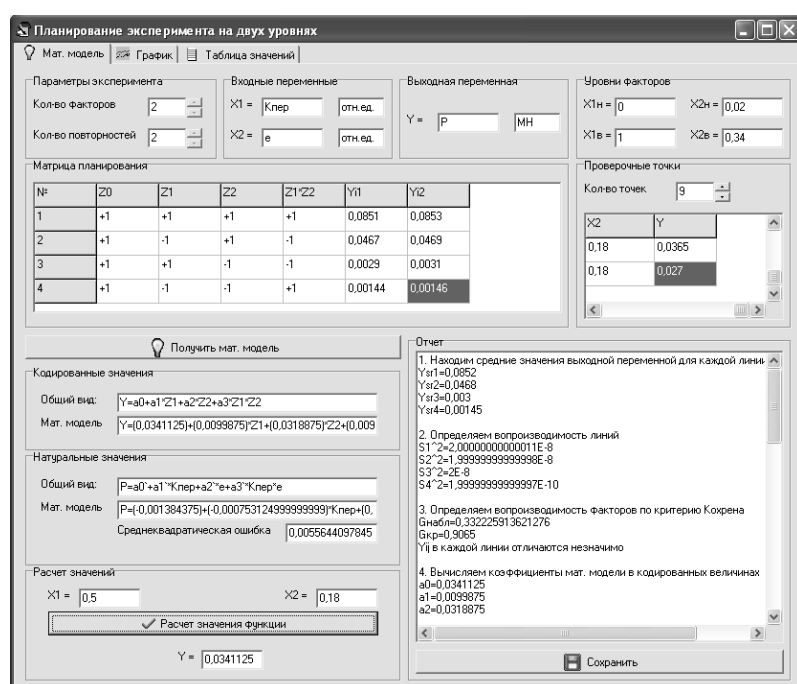


Рис. 2. Интерфейс разработанного программного приложения

в соответствии с полученной регрессионной зависимостью, а также строить сводные графики (рис.3) при изменении одного из параметров.

Программа позволяет получить: а) линейную математическую модель на основе планирования эксперимента на двух уровнях; б) квадратичную математическую модель на основе планирования эксперимента на трех уровнях. Разработанное программное обеспечение позволяет произвольно задавать названия и размерности входных и выходных переменных, уровни факторов, результаты эксперимента в соответствии с выбранной матрицей планирования и указывать проверочные точки.

Программа дает возможность осуществлять единичные расчеты

Рис. 3. Графики зависимости усилия сжатия от степени осадки упругого компенсирующего элемента для линейной (а) и квадратичной (б) регрессионной модели:

1 – при полном совпадении отверстий без смазки; 2 – при половинном совпадении отверстий без смазки; 3 – при полном несовпадении отверстий без смазки; 4 – при полном совпадении отверстий со смазкой; 5 – при половинном совпадении отверстий со смазкой; 6 – при полном несовпадении отверстий со смазкой

Качественный анализ полученных зависимостей позволяет сделать вывод, что при осадке компенсатора на некоторую расчетную степень деформации наименьшее усилие требуется при полном несовпадении отверстий компенсатора. В данном случае площадь поверхности двухслойного компенсатора, через которую передается технологическое усилие, будет минимальным за счет сдвига упругих пластин за область приложения нагрузки. При коэффициенте перекрытия  $K_{пер} = 1$  площадь опорной поверхности для рассматриваемого компенсатора составляет  $F_{опорн} = 11700$  мм<sup>2</sup>, при  $K_{пер} = 0,5$  –  $F_{опорн} = 9750$  мм<sup>2</sup>, при  $K_{пер} = 0$  –  $F_{опорн} = 7800$  мм<sup>2</sup>. Наличие смазки приводит к уменьшению величины технологического усилия за счет снижения силы трения.

С помощью разработанного программного обеспечения были получены следующие математические модели:

- линейная зависимость  $P(K_{пер}, \epsilon)$  без использования смазки:

$$P = -0,001384 - 0,000753 \cdot K_{пер} + 0,141718 \cdot \epsilon + 0,115156 \cdot K_{пер} \cdot \epsilon, \quad (14)$$

- линейная зависимость  $P(K_{пер}, \epsilon)$  с использованием смазки:

$$P = -0,0014875 - 0,000281 \cdot K_{пер} + 0,134375 \cdot \epsilon + 0,0590625 \cdot K_{пер} \cdot \epsilon, \quad (15)$$

- квадратичная зависимость  $P(K_{пер}, \epsilon)$  без использования смазки:

$$P = 0,0000808 + 0,015884 \cdot K_{пер} + 0,0656027 \cdot \epsilon + 0,185006 \cdot K_{пер} \cdot \epsilon + \\ + 0,0134156 \cdot K_{пер}^2 + 0,2425857 \cdot \epsilon^2, \quad (16)$$

- квадратичная зависимость  $P(K_{пер}, \epsilon)$  с использованием смазки:

$$P = 0,0005232 + 0,012423 \cdot K_{пер} + 0,05336628 \cdot \epsilon + 0,14299 \cdot K_{пер} \cdot \epsilon + \\ + 0,009764 \cdot K_{пер}^2 + 0,194516 \cdot \epsilon^2. \quad (17)$$

В результате расчетов было получено, что для всех регрессионных моделей  $F_{\text{набл}} < F_{\text{кр}}$ . Таким образом, гипотеза об адекватности может быть принята с 95 %-ным уровнем достоверности. Все коэффициенты полученных моделей являются значимыми.

В табл. 4 и 5 показана степень соответствия параметров работы упругих элементов, полученных в результате экспериментов при реализации матрицы планирования и рассчитанных по формулам (14)-(17). Среднеквадратическую ошибку рассчитывали по

формуле:  $\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^N (\bar{y}_i - \tilde{y}_i)^2 / N_1}$ , где  $N_1$  – количество значений.

Таблица 4. Оценка сходимости данных без применения смазки

№	$\bar{y}$	Линейная модель		Квадратичная модель	
		$\tilde{y}$	$ \bar{y} - \tilde{y} $	$\tilde{y}$	$ \bar{y} - \tilde{y} $
1	0,002	0,00222 5	0,0002 3	0,01463 6	0,01263 6
2	0,079	0,066	0,013	0,09317 6	0,01417 6
3	0,024	0,02412 5	0,0001 3	0,01974 9	0,00425 1
4	0,0365	0,0441	0,0076	0,08235	0,04585 0
5	0,0014 5	0,00145	0	0,00149	0,00004 0
6	0,003	0,003	0	0,03449	0,03149 0
7	0,0468	0,0468	0	0,05042 9	0,00362 9
8	0,0852	0,0852	0	0,14263 1	0,05743 1
9	0,028	0,03411 3	0,0061 1	0,04769 6	0,02069 6
$\sigma$		0,54 %		2,83 %	

Таблица 5. Оценка сходимости данных с использованием смазки

№	$\bar{y}$	Линейная модель		Квадратичная модель	
		$\tilde{y}$	$ \bar{y} - \tilde{y} $	$\tilde{y}$	$ \bar{y} - \tilde{y} $
1	0,001 9	0,00165	0,0002 5	0,01175	0,00985 0
2	0,061	0,0541	0,0069	0,07411 4	0,01311 4
3	0,020 5	0,0227	0,0022	0,01643 1	0,00406 9
4	0,029 1	0,03305	0,0039 5	0,06435 6	0,03525 6



5	0,001 2	0,0012	0	0,00166 8	0,00046 8
6	0,002 1	0,0021	0	0,02671 5	0,02461 5
7	0,044 2	0,0442	0	0,04115 4	0,00304 6
8	0,064	0,064	0	0,11195 7	0,04795 7
9	0,026 2	0,02787 5	0,0016 8	0,03795 3	0,01175 3
$\sigma$		0,28 %		2,26 %	

Данные, приведенные в табл. 4 и 5, показывают, что среднеквадратическая ошибка расчетов по формула (14)-(17) не превышает 3 %.

Наиболее точно в пределах 30 % деформации осадки зависимость  $P(K_{пер}, \epsilon)$  описывается линейной регрессионной моделью с учетом парных взаимодействий, что подтверждается лабораторными испытаниями полиуретановых образцов различной формы на сжатие [10].

Таким образом, на основе экспериментального исследования работы упругих двухслойных элементов универсального компенсатора погрешностей системы «пресс-штамп» была разработана математическая модель с использованием метода планирования эксперимента и программное обеспечение для получения регрессионных зависимостей усилия сжатия от коэффициента перекрытия и степени осадки.

Перспективным направлением является разработка методики расчета жесткости двухслойного компенсатора на основе полученных регрессионных зависимостей усилия сжатия от коэффициента формы и степени осадки упругих компенсирующих элементов различных конструкций для подбора оптимальных геометрических параметров компенсаторов при различных технологических операциях.

**Список литературы:** 1. Диамантопуло К.К. Компенсация несоосности системы «пресс-штамп» изношенного штамповочного оборудования / К.К. Диамантопуло, В.В. Кухарь, А.И. Евтеев // *Металлургические процессы и оборудование*. - №2. – Июнь 2005 г. – С.31-34. 2. Пат. № 537, Україна, МПК В 21 В 23/00. Компенсатор похибок повзуна пресу / К.К. Диамантопуло, І.О. Засоба. – Заявл. 14.01.2000; №2000 01578; Оpub. 15.09.2000; Бюл.№ 4. – 3 с., ил. 3. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка / Под ред. Л.И. Рудмана. – М.: Машиностроение, 1988. – 496с. 4. Пат. 11782 Україна, МПК<sup>6</sup> В 21 В 23/00. Компенсатор похибок напряму переміщення повзуна преса / К.К. Диамантопуло, В.В. Кухар, Д.В. Єрмолов (Україна). – №u200505677; Заяв. 13.06.2005; Оpubл. 16.01.2006, Бюл. № 1. - 4с., ил. 5. Диамантопуло К.К. Компенсатор погрешностей направления ползуна прессов / К.К. Диамантопуло, В.Е. Гримани // *Защита металлургических машин от поломок: Сб. научн. тр. – Вып.3. – Мариуполь, 1998*. 6. Пат. 837 Україна, МПК<sup>6</sup> В 21 В 23/00. Компенсатор похибок / К.К. Диамантопуло, О.В. Василевський (Україна). – №2000074079; Заявл. 11.07.2000; Оpubл. 14.11.2001. - Бюл.№11 – 2с., ил. 7. Пат. 38814 Україна, МПК(2006) В 30 В 15/28; В 21 В 23/00. Універсальний компенсатор похибок напряму повзуна / В.В. Кухар, О.Ю. Балалаєва, В.С. Макєєв (Україна). – № u20086973; Заявл.20.05.2008; Оpubл. 26.01.2009, Бюл.№2. – 4с., ил. 8. Пат. 37286 Україна, МПК(2006) В 30 В 15/28; В 21 В 23/00. Двошаровий пружний елемент компенсатора похибок напряму / В.В. Кухар, К.К. Диамантопуло, О.О. Лаврентік, В.С. Макєєв, О.Ю. Балалаєва (Україна). – № u200806970; Заявл.20.05.2008; Оpubл.25.11.2008, Бюл.№22. – 4с., ил. 9. Гурман В.Е. Руководство к ре-

шению задач по теории вероятностей и математической статистике: Учебное пособие для студентов вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1979. – 400 с., ил. 10. Балалаева Е.Ю. Исследование кольцевого упругого компенсатора при работе системы «пресс-штамп» с перекосами ползуна / Е.Ю. Балалаева, В.В. Кухарь // Обработка материалов давлением: Сб. научн. тр. – №1(20). – Краматорськ, 2009 – С.295-300.

*Поступила в редколлегию 13.09.2009*

**УДК 621.73**

**О. В. ВАСИЛЕВСКИЙ**, зам. нач. кузнечно-прессового цеха к-та Ильича (ОАО ММК им. Ильича)

## **РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВАРОЧНЫХ ВАЛКОВ ИЗ ВЫСОКОХРОМИСТОЙ СТАЛИ**

Рассмотрена и проанализирована технологияковки заготовок для сварочных и калибрующих валков из высокохромистой стали X12MФ. Предложены режимыковки слитков в комбинированных бойках, позволяющие разбивать карбидную сетку без разрушения металла.

Were discussed and analysed the technology of forging material swaging for welding and coin rollers from high-chromium steel X12MФ. Were suggested conditions of forging swaging in combined backups, which allow to break up carbide network without fracture (failure) of metal.

В современной рыночной экономике, ежеминутной борьбе за потребителя, приоритетным направлением развития металлургии и машиностроения, является улучшение качества поставляемой продукции. Главными критериями, определяющими конкурентоспособность изделий, является паритетное соотношение стоимости предлагаемой продукции и эксплуатационных характеристик. Решение этих задач преследовали специалисты ОАО ММК им. Ильича для изготовления сварочных, калибрующих валков, которые используются при сваривании труб. Калибрующие валки работают в условиях трения истирания, сварочные валки в условиях трения истирания и под влиянием повышенной температуры сварочной дуги (700-750) °С.

Для увеличения стойкости калибрующих и сварочных роликов было предложено изменить марку стали. В качестве нового материала была предложена высокохромистая сталь X12MФ (ГОСТ 5950-2000) ледебуритного класса, химический состав которой приведён в табл. 1. Температура критических точек материала X12MФ приведена в табл. 2. Большое количество избыточной карбидной фазы содержащиеся в данной марки стали позволяет обеспечивать твёрдость детали после термической обработки до 60...63 HRC, что обеспечивает высокую износостойкость в процессе её эксплуатации.

В отличие от конструкционных сталей, ковка инструментальных сталей представляет особые трудности: пониженная пластичность, повышается температура деформационного старения, узкий температурный интервалковки, необходимость высокого качества слитков, специальные режимы пластической деформации [1]. Это объясняется повышенным содержанием хромистых карбидов (Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub>) до 20% [2]. Карбиды, располагаясь в основном по границам первичных аустенитных зёрен, нарушают межзатомную металлическую связь между зёрнами, снижая пластические свойства металла. Возможно возникновение сплошной карбидной сетки по границам первичных аусте-