

температуры и маршрутов РКУП на форму порошков и формирующуюся в прессовках структуру / Н.М. Русин // Известия высших учебных заведений. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. – 2009, № 2. – С. 27-32. **7.** Severe plastic deformation of metals: патент № WO 2006/100448 A1: МПК (2006.01) B21C 23/01, B21J 5/00 / Rosochowski A.; власник патенту University of Strathclyde, Велика Британія. – № PCT/GB2006/000986; заявл. 24.03.2005; опубл. 28.09.2006. – 27 с.: 8 арк. іл. **8.** Olejnik L. Methods of fabricating metals for nano-technology / L. Olejnik, A. Rosochowski // Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical sciences. – 2005. – Vol. 53. – N 4. – pp. 413-423. **9.** Прес-форма для рівноканального кутового пресування: патент № 32665: МПК (2006) B21J 5/00 / Періг О.В., Подлесний С.В., Кутовий Л.В., Стадник О.М.; власник патенту Донбаська державна машинобудівна академія. — № u200800346; заявл. 10.01.08; опубл. 26.05.08, Бюл. № 10, 08 р. — 2 с. **10.** Прес-форма для рівноканального кутового пресування: патент № 37296: МПК (2006) B21J 5/00 / Періг О.В., Подлесний С.В., Кутовий Л.В., Стадник О.М.; власник патенту Донбаська державна машинобудівна академія. — № u200807059; заявл. 21.05.08; опубл. 25.11.08, Бюл. № 22, 08 р. — 2 с. **11.** Прес-форма для рівноканального кутового пресування: патент № 37322: МПК (2006) B21J 5/00 / Періг О.В., Подлесний С.В., Кутовий Л.В., Стадник О.М.; власник патенту Донбаська державна машинобудівна академія. — № u200807469; заявл. 30.05.08; опубл. 25.11.08, Бюл. № 22, 08 р. — 2 с. **12.** Прес-форма для рівноканального кутового пресування: патент № 37720: МПК (2006) B21J 5/00 / Періг О.В., Подлесний С.В., Кутовий Л.В., Стадник О.М.; власник патенту Донбаська державна машинобудівна академія. — № u200807459; заявл. 30.05.08; опубл. 10.12.08, Бюл. № 23, 08 р. — 2 с. **13.** Периг А.В. Компьютерное моделирование течения материалов при равноканальном угловом прессовании: анализ движения вязкой среды и экспериментальная верификация методом маркеров / А.В. Периг, А.М. Лаптев, Н.Н. Голоденко, А.Ю. Лошманов, М.Г. Литвинов // Обработка металлов давлением. Обработка материалов давлением: Сб. научн. трудов. – Краматорск: ДГМА, 2009. – № 1(20). – С. 57-62. **14.** Периг А.В. Численное моделирование вязкого течения материала при равноканальном угловом прессовании через штамп с параллельными скосами / А.В. Периг, С.В. Подлесный, Н.Н. Голоденко, И.И. Бойко, А.А. Ситник // Обработка металлов давлением. Обработка материалов давлением: Сб. научн. трудов. – Краматорск: ДГМА, 2011. – № 2(27). – С. 23-29.

УДК 621.98

КУХАРЬ В.В., канд. техн. наук, доц., ГВУЗ «ПГТУ», Мариуполь
БАЛАЛАЕВА Е.Ю., аспирант, ГВУЗ «ПГТУ», Мариуполь
НИКИТЧЕНКО А.А., нач. бюро, ООО «ГСКБВ», Мариуполь
ТУЗЕНКО О.А., канд. техн. наук, доц., ГВУЗ «ПГТУ», Мариуполь

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СТАНИНЫ КРИВОШИПНОГО ПРЕССА ПРИ РАБОТЕ С УПРУГИМИ КОМПЕНСАТОРАМИ ПОГРЕШНОСТЕЙ НАПРАВЛЕНИЯ ПОЛЗУНА

Путем конечно-элементного моделирования напряженно-деформированного состояния станины открытого кривошипного пресса при работе с упругими компенсаторами погрешностей системы «пресс-штамп» показана эффективность их использования по сравнению с эксплуатацией прессов без компенсатора. Установка компенсаторов с переменной жесткостью позволяет снизить в станине угловые деформации на 10 – 22 %, а растягивающие напряжения в опасном сечении – на 6 – 10 %.

Шляхом скінчено-елементного моделювання напружено-деформованого стану станини відкритого кривошипного преса при роботі з пружними компенсаторами похибок системи «прес-штамп» показана ефективність їхнього використання в порівнянні з експлуатацією пресів без компенсатора. Встановлення компенсаторів зі змінною жорсткістю дозволяє знизити в станині преса кутові деформації на 10 – 22 %, а напруження розтягу в небезпечному перерізі – на 6 – 10 %.

By means of the final-element modeling of the intense-deformed condition in the open-bench of crank press during the work with elastic compensators of errors of the «press-die» system the efficiency of their use compared to the exploitation of presses without a compensator is shown. The mounting of the variable hardness elastic compensators makes it possible to reduce in the bench the angular deformation on 10 – 22 %, and the tensile stresses in the dangerous cross-section – on 6 – 10 %.

Работа прессового оборудования сопровождается появлением погрешностей в системе «пресс-штамп», которые тем больше, чем больше технологическая нагрузка. Возникающие перекосы ползуна приводят к развитию паразитных нагрузок. Следствием этого является снижение точности штампуемых изделий, ухудшение геометрии реза на разделительных операциях, повышенный износ и поломки направляющих и рабочих частей штампа.

Для снижения паразитных нагрузок в станинах кривошипных прессов и повышения стойкости штампов применяют различные конструкции компенсирующих элементов, которые располагают между опорными поверхностями ползуна и верхней плиты штампа. Перспективным направлением снижения погрешностей системы «пресс-штамп» является использование упругих компенсаторов переменной жесткости [1, 2], основой для которых служат пластины из полиуретана, характеризующегося сохранением стабильных характеристик жесткости на протяжении нескольких миллионов циклов нагружения. Различной жесткости по длине и ширине достигают, например, перфорированием в пластинах отверстий с переменным шагом. Расчет диаметров и расположения отверстий выполняют после определения жесткости станины и угловых деформаций преса при заданной нагрузке.

Для оценки напряженно-деформированного состояния (НДС) конструкций в настоящее время применяют программные комплексы на основе метода конечных элементов (МКЭ). Наибольшее распространение получили интегрированные системы, позволяющие выполнять расчет конструкции, проектирование которой осуществляют в САД-системе или САПР. К таким системам относят пакет конечно-элементного анализа ANSYS, интегрированный со средами SolidWorks и AutoCad. Существенная разница между упругими свойствами материала компенсатора (полиуретан) и материала станины и штампа (конструкционные и инструментальные марки сталей) вызывают затруднения при реализации твердотельной модели в конечно-элементных пакетах. Поэтому в работе [3] предложена методика оценки НДС станины преса путем циклического расчета и сопоставления угловых деформаций станины и различных конструкций плоских компенсаторов.

Целью настоящей работы является анализ угловых деформаций и растягивающих напряжений в станине кривошипного преса открытого типа при

работе с упругими компенсаторами погрешностей системы «пресс-штамп» различных конструкций и оценка их эффективности.

Согласно алгоритму работы [3], рассчитывали НДС станины кривошипного пресса открытого типа номинальной силой 0,16 МН (рис. 1, а), твердотельная модель которого приведена на рис. 1, б. Виртуальное нагружение задавали путем приложения деформирующей силы P в точке соединения шатуна и ползуна пресса.

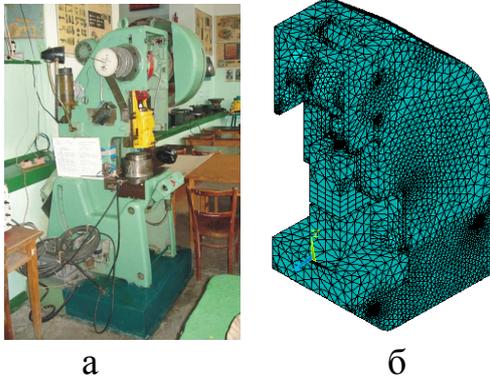


Рис. 1. Фотография кривошипного пресса открытого типа (а) и его твердотельная модель (б)

На данной модели были выбраны характерные точки 1 – 8 (рис. 2), для которых рассчитывали показатели НДС, причем точки 1, 2, 3, 4 симметричны точкам 5, 6, 7, 8 соответственно. После нагружения станины заданной технологической силой P , получали следующие характеристики: компоненты тензора напряжений σ_x , σ_y , σ_z , γ_{xy} , γ_{yz} , γ_{xz} ; интенсивность напряжений σ_i ; эквивалентное напряжение σ_e (по Мизесу).

Рассматривали упругие компенсаторы трех различных конструкций. Первая конструкция (рис. 3, а) представляет собой полиуретановую пластину высотой 14 мм и размерами 220x140 мм, вторая (рис. 3, б) и третья (рис. 3, в) конструкции дополнены отверстиями. Для построения твердотельных моделей использовали конечные элементы (КЭ) типа SOLID92 и SOLID95 (рис. 4). Моделировали нагружение пресса с компенсаторами, причем упругие элементы, приведенные на рис. 3, б и рис. 3, в, размещали двумя способами: более жесткой и менее жесткой стороной к станине. Схема деформации компенсатора приведена на рис. 5.

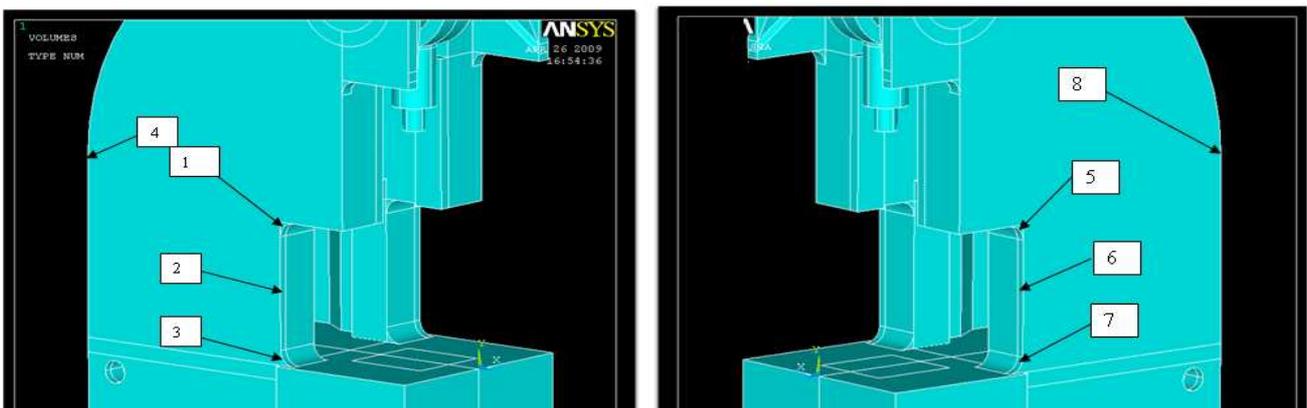


Рис. 2. Модель кривошипного пресса открытого типа:

1, 5 – точки на верхних радиусах изгибов стоек пресса; 2, 6 – точки на серединах высот стоек пресса (опасное сечение); 3, 7 – точки на нижних радиусах изгибов стоек пресса; 4, 8 – точки на радиусах изгибов станины тыльной стороны пресса

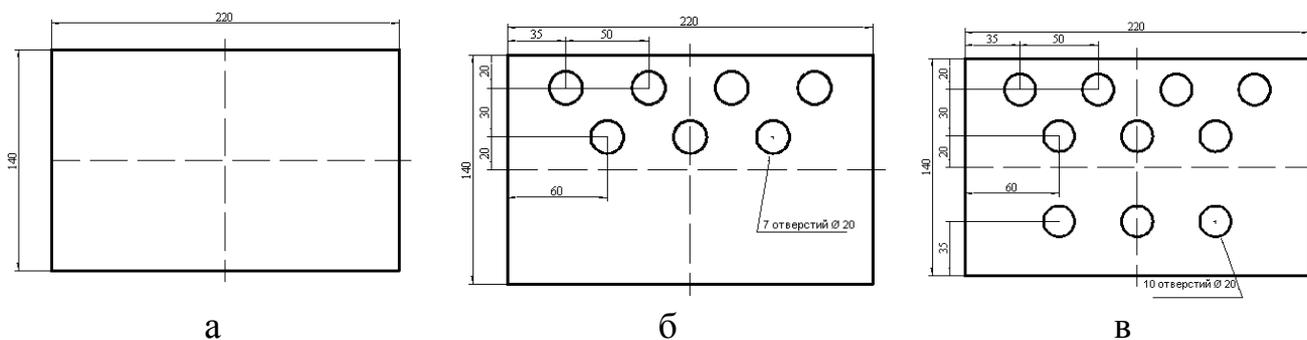


Рис. 3. Конструкции полиуретановых компенсаторов без отверстий (а), с 7-ю отверстиями (б) и с 10-ю отверстиями (в)

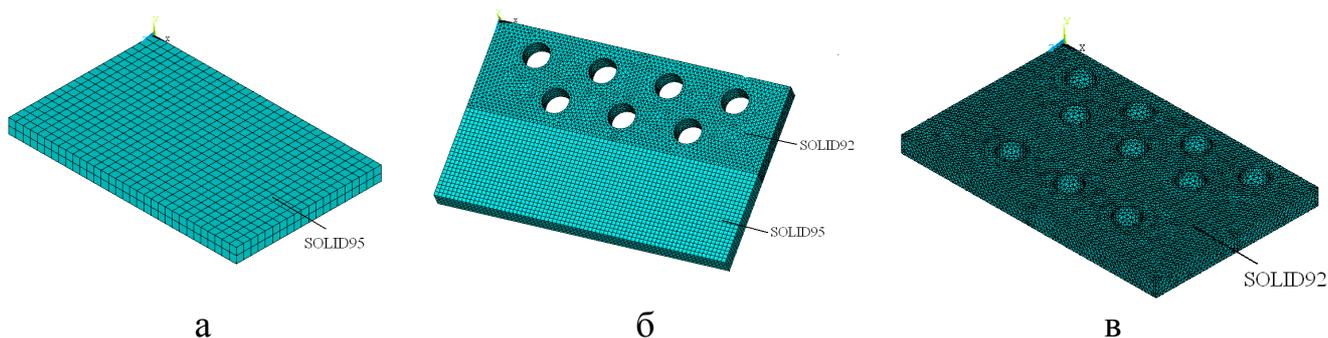


Рис. 4. Твёрдотельные модели с сеткой конечных элементов на верхней поверхности компенсаторов без отверстий (а), с 7-ю отверстиями (б) и с 10-ю отверстиями (в)

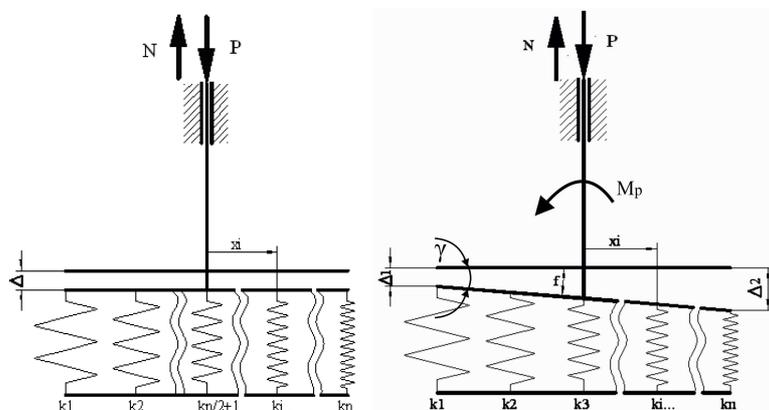


Рис. 5. Схема деформации компенсатора без учета перекосов ползуна (а) и с учетом угловой деформации станины (б):

k_i и Δ_i – жесткость и перемещение i -го КЭ; x_i – расстояние от оси приложения нагрузки до i -го КЭ; N – суммарная реакция в узлах жесткости компенсатора; γ – угловая деформация; M_p – эквивалентный момент реакции

Принимали следующие свойства материала, соответствующие марке полиуретана СКУ-ПФЛ-100: модуль упругости $E = 69$ МПа, коэффициент Пуассона $\mu = 0,49$. Согласно методике [3] задавали перемещения узлов верхней плоскости Δ_1 и Δ_2 (см. рис. 5, б), при этом в качестве граничных условий на

нижней поверхности компенсатора их принимали равными нулю, после чего производили статический расчет.

По заданной силе P и угловой деформации станины γ для каждого компенсатора определяли величину смещения центра давления и эквивалентный момент реакции M_p , создаваемый упругим элементом.

Для идентификации результатов моделирования компенсаторы обозначены номерами: 1 – компенсатор без отверстий; 2 – компенсатор с 7-ю отверстиями, развернутый менее жесткой стороной к станине пресса; 3 – компенсатор с 7-ю отверстиями, развернутый более жесткой стороной к станине пресса; 4 – компенсатор с 10-ю отверстиями, развернутый менее жесткой стороной к станине пресса; 5 – компенсатор с 10-ю отверстиями, развернутый более жесткой стороной к станине пресса.

На рис. 6 приведены зависимости эквивалентного момента реакции M_p , создаваемого упругими компенсаторами различной формы (см. рис. 4), от технологической силы. При нагружении пресса без использования компенсатора $M_p = 0$. При увеличении технологической нагрузки в диапазоне от 70 кН до 150 кН значения момента реакции при использовании компенсатора № 1 возрастают в пределах 14,5÷31,3 Н·мм, при использовании компенсатора № 2 – в пределах 188,8÷434,6 Н·мм, № 3 – 189,2÷421,4 Н·мм, № 4 – 123,1÷280,9 Н·мм, № 5 – 123,4÷246,9 Н·мм. Таким образом, наибольший момент реакции соответствует упругим компенсаторам № 2 и № 3 (с 7-ю отверстиями), т.е. установлено, что разворот компенсатора относительно станины приводит к реализации одинаковых моментов реакции M_p .

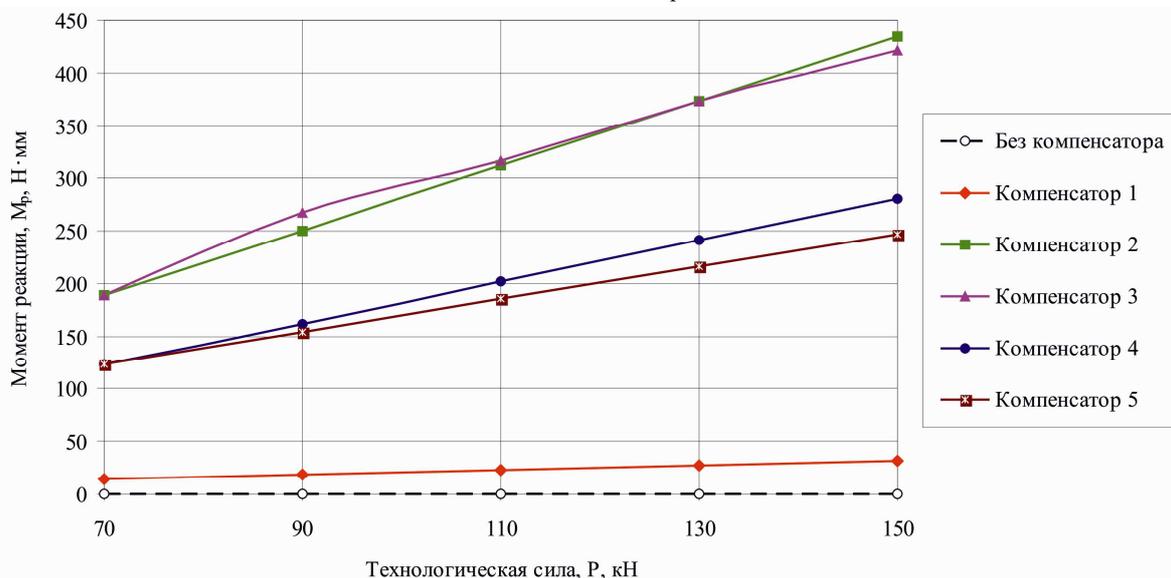


Рис. 6. Сравнение графиков зависимостей момента реакции (M_p), создаваемого различными упругими компенсаторами, от технологической силы (P)

На рис. 7 приведены зависимости угловой деформаций станины γ от технологической силы без применения компенсатора и с использованием компенсаторов переменной жесткости. Результаты моделирования показали, что

при технологической нагрузке в диапазоне от 70 кН до 150 кН величина угловой деформации раскрытия станины без использования компенсатора возрастает в пределах 0,006÷0,013 рад. Использование компенсатора № 1 позволяет снизить угловую деформацию станины на 10 %, использование компенсаторов № 2 и № 3 – на 22 %, компенсаторов № 4 и № 5 – на 17 %. Таким образом, подтверждено, что наиболее эффективным является применение упругих компенсаторов № 2 и № 3 (с 7-ю отверстиями), что обеспечивается наибольшим эквивалентным моментом реакции.

На рис. 8 представлено сравнение зависимостей растягивающих напряжений σ от технологической силы в характерной точке «2» (см. рис. 2), полученных при теоретическом расчете и экспериментальной проверке, результаты которых приведены в работе [4], с данными моделирования НДС без использования компенсатора.

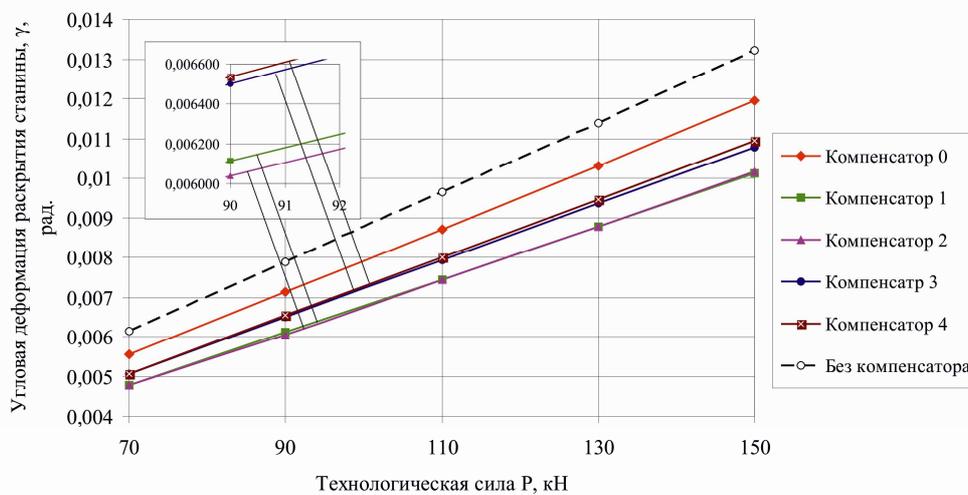


Рис 7. Графики зависимостей угловой деформаций станины прессы от технологической силы при использовании упругих компенсаторов

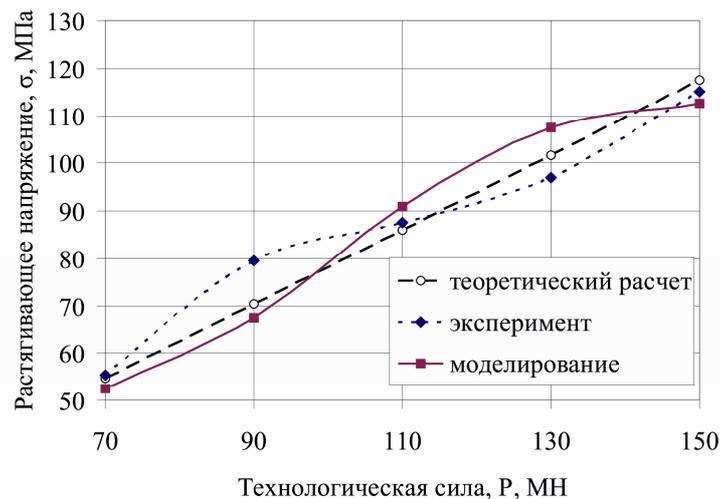


Рис. 8. Графики зависимостей растягивающих напряжений от технологической силы в характерной точке «2» при работе прессы без компенсатора

Увеличение технологической нагрузки от 70 кН до 150 кН приводит к росту величины растягивающего напряжения от 54,7 МПа до 117,4 МПа для теоретических данных, от 55,5 МПа до 115,0 МПа – для данных эксперимента, от 52,5 МПа до 112,5 МПа – для моделирования. При сравнении результатов моделирования с теоретическими данными расчета σ [4] установлено, что величина среднеквадратической ошибки составляет 4,4 %, а при сравнении с результатами эксперимента [4] – 7,5 %.

На рис. 9 приведены зависимости растягивающих напряжений в станине прессы от технологической силы при использовании упругих компенсаторов переменной жесткости для характерных точек «1», «2», «3», «4».

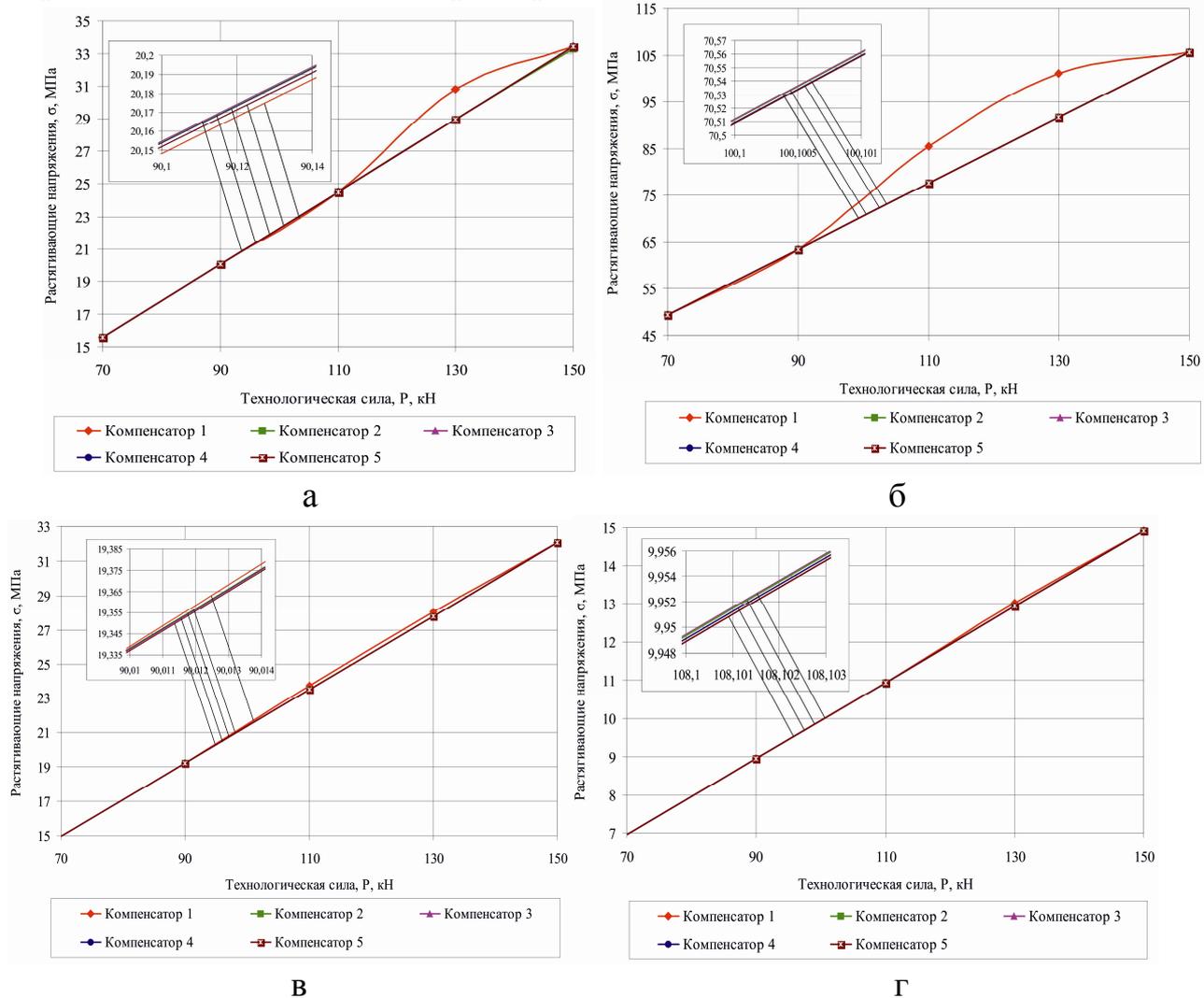


Рис. 9 – Графики зависимостей растягивающих напряжений в характерных точках «1» (а), «2» (б), «3» (в), «4» (г) от технологической силы при использовании упругих компенсаторов переменной жесткости

Анализ полученных зависимостей показал, что использование упругого компенсатора № 1 позволяет снизить растягивающие напряжения в опасном сечении, определяемом точками «2» и «б», на 6 %, а использование компенсаторов № 2, № 3, № 4 и № 5 – в среднем на 10 % по сравнению с работой прессы без компенсатора.

Выводы. На основе разработанной конечно-элементной модели и методики расчета НДС станины пресса при работе с упругими компенсаторами различной формы выполнен расчет угловых деформаций и растягивающих напряжений. Показано, что наиболее эффективным является использование компенсаторов № 2 и № 3 (с 7-ю отверстиями), сопровождающееся реализацией максимального значения эквивалентного момента реакции. Это позволяет снизить угловые деформации станины на 10 – 22 % и растягивающие напряжения в опасном сечении – на 6 – 10 %. Установлено, что монтаж компенсаторов № 2 и № 3 (с 7-ю отверстиями), а также № 4 и № 5 (с 10-ю отверстиями) более жесткой или менее жесткой стороной к тылу пресса существенного влияния на НДС станины не оказывает.

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.* – Июнь 2005 г. – № 2. – С. 31–34. 2. Пат. 11782 Україна, МПК(2006) В 21 В 23/00. Компенсатор похибок напряму переміщення повзуна преса / *Диамантопуло К. К., Кухарь В. В., Єрмолов Д. В.* (Україна); заявник і патентовласник Приазовський держ. техн. ун-т. – № u200505677; заяв. 13.06.2005; опубл. 16.01.2006, Бюл. № 1. – 4 с.; іл. 3. *Кухарь В. В.* Методика оценки напряженно-деформированного состояния станины кривошипного пресса открытого типа при работе с упругими компенсаторами перекосов ползуна / *В. В. Кухарь, А. А. Никитченко, Е. Ю. Балалаева, О. А. Тузенко* // *Захист металургійних машин від поломок: Зб. наук. пр. – Маріуполь: ПДТУ, 2009. – Вип. 11. – С. 176 – 182.* 4. *Кухарь В. В.* Экспериментальное исследование напряжений в станине кривошипного пресса открытого типа при работе с упругими компенсаторами перекосов ползуна / *В. В. Кухарь, Е. Ю. Балалаева* // *Вісник Донбаської державної машинобудівної академії: Зб. наук. пр. – Краматорськ: ДДМА, 2009. – С. 177 – 181.*

УДК 621.762.4

САВЕЛОВ Д.В., канд. техн. наук, доц.,
ДРАГОБЕЦКИЙ В.В. докт. техн. наук, проф.,
КНУ имени Михаила Остроградского, г. Кременчуг

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВИБРАЦИОННОГО ФОРМОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ

Уточнена существующая и предложена более общая гипотеза, которая позволяет описать вибрационный процесс формования изделий из конструкционных металлических порошков. Получены теоретические выражения для определения нарастания плотности смеси из металлического порошка в зависимости от величины и вида динамической нагрузки, позволяющие обосновать режимы вибрационного и основные параметры вибрационной машины, построена реологическая модель смеси из металлического порошка.

Ключевые слова: математическая модель, вибрационный процесс, конструкционный металлический порошок, плотность, динамическая нагрузка, вибрационная машина.