

формы под засыпку, следует учитывать при построении алгоритма размерного расчета. Решение указанной задачи позволяет адаптировать технологию квазиизостатического прессования к условиям единичного и мелкосерийного производства для быстрого и недорогого изготовления сложных по форме изделий из порошков.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Процессы изостатического прессования /Под ред. П.Дж. Джеймса. – М.: Металлургия, 1990.
2. Клименков С.С., Голубев А.Н. Технология квазиизостатического прессования изделий сложной формы из порошков/ В сб.: Тезисы докладов научно-технической конференции «Ресурсосберегающие и экологически чистые технологии». – Гродно, 1996.
3. Клименков С.С., Матвеев К.С., Голубев А.Н. Экспериментальное исследование технологических сред для прессования цельного твердосплавного инструмента / В сб.: Тезисы докладов XXX научно-технической конференции ВГТУ. – Витебск: ВГТУ, 1997.
4. Кипарисов, Г.А. Либенсон. Порошковая металлургия. – М.: Металлургия, 1991.

УДК 681.3.06.001.891.573+658.512.2

#### **ПРОЧНОСТНОЙ РАСЧЁТ ПОСЛОЙНОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МАНЕКЕНОВ**

С.П. Кучинский  
(ВГТУ, г. Витебск)

Разработка и изготовление оснастки – наиболее трудоёмкий этап при подготовке производства любой промышленно выпускаемой продукции. Одним из перспективных способов изготовления манекенов является формование термопластов в высокоэластическом состоянии. В этом случае оснастка состоит из двух

полуформ, закрепленных на плитах и устанавливаемых на рабочий стол установки формования.

Применение технологии послойного синтеза с использованием лазерного раскроя для изготовления моделей полуформ позволяет автоматизировать процесс их получения и обеспечить точное соответствие оснастки требуемым размерам. Кроме того, при небольших партиях изделий (манекены экономически целесообразно выпускать партиями по несколько сотен штук) можно непосредственно изготавливать полуформы, увеличив толщину слоев до 2...3 мм и подобрав материал слоев соответствующей прочности. Следовательно, можно отказаться от изготовления мастер-моделей и сплошных полуформ, выполняемых обычно из алюминия.

Одной из актуальных задач при этом является проектирование и изготовление оснастки, сочетающей достаточный уровень эксплуатационных свойств (главным образом прочностных) с минимальной стоимостью. Для успешного решения данной задачи необходимо, прежде всего, разработать методику прочностного расчёта для выбора материала, наиболее эффективного по критерию "прочность/стоимость".

Для предварительной оценки прочности полуформ были изготовлены две полуформы манекена мужской фигуры 46-го размера из наиболее дешёвого материала – ДВП. Установлено, что полуформы из ДВП имеют недостаточную прочность и разрушаются после нескольких циклов формования. Анализ характера повреждений позволил предложить следующую модель разрушения.

Разрушение полуформы происходит в момент снятия с неё отформованного изделия. Отформованное изделие охлаждается непосредственно на полуформе, поэтому из-за термической усадки пластика в последнем возникают напряжения растяжения, сжимающие полуформу и препятствующие снятию с неё отформованного изделия. При снятии изделия с полуформы, на неё, вследствие трения, действуют силы, параллельные направлению перемещения изделия. Наибольшие силы действуют на участки, расположенные под наименьшим углом к направлению перемещения изделия (поверхности 1, 2 (рис. 1)). Таким образом, наибольшие силы сдвига действуют на первый и последний слой спинной полуформы, что приводит, во-первых, к сдвигу слоев, а во-вторых, – к изгибу полуформы в направлении действия этих сил. Изгиб, в свою очередь, может вызывать выход из паза вертикального элемента 3 (рис.2), служащего для базирования го-

горизонтальных слоев и выполненного из более жесткого материала с целью обеспечения возможности сборки конструкции. При сдвиге горизонтальных слоев разрушение происходит либо по клеевому слою, либо по основному материалу, в зависимости от прочностных и адгезионных характеристик клея и материала слоев.

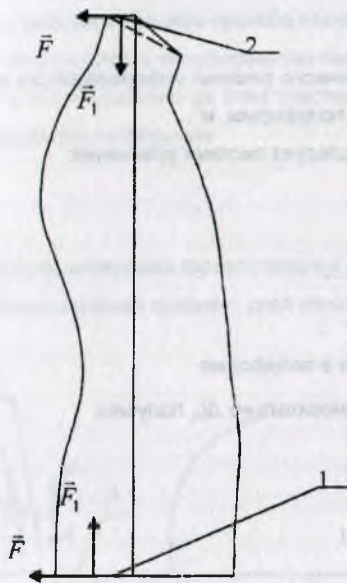


Рис. 1. Схема действующих на полуформу сил в момент снятия готового изделия

Рассчитаем напряжения, возникающие при сдвиге слоев. После снятия отформованного и охлажденного изделия с полуформы, оно, под воздействием возникших ранее напряжений, упруго сжимается, в результате чего его продольный размер  $l_0$  уменьшается на величину  $\Delta l$ , а размер, соответствующий толщине  $i$ -го слоя полуформы  $l_{0i}$ , уменьшается на величину  $\Delta l_i$ . Следовательно, напряжение растяжения  $\sigma_i$ , возникающие в поперечном сечении пластика, соответствующем  $i$ -му слою полуформы, под воздействием термической усадки в процессе вакуумного формования определяется по формуле:



$$\sigma_i = E \frac{\Delta l_i}{l_{0i}}, \quad (1)$$

где  $E$  – модуль упругости пластика при растяжении, МПа.

Тогда сила  $F_1$ , сжимающая полуформу в продольном направлении определяется по формуле:

$$F_1 = S_i \cdot \sigma_i \quad (2)$$

где  $S_i$  – площадь поперечного сечения отформованного изделия на участке соответствующем  $i$ -му слою полуформы, м<sup>2</sup>.

Из формул (1) и (2) следует система уравнений:

$$\begin{cases} \Delta l_1 S_1 = \Delta l_2 S_2 \\ \Delta l_2 S_2 = \Delta l_3 S_3 \\ \dots\dots\dots \\ \Delta l_{n-1} S_{n-1} = \Delta l_n S_n \end{cases}$$

где  $n$  – количество слоев в полуформе.

Решая систему относительно  $\Delta l_n$ , получим:

$$\Delta l_n = \frac{\Delta l}{\sum_{k=1}^{n-1} \frac{\prod_{i=k+1}^n S_i}{\prod_{i=k}^{n-1} S_i} + 1}$$

Подставив (1) в (2) для  $i=n$  и учитывая, что  $l_{0i} = l_0/n$ , находим  $F_1$ :

$$F_1 = \frac{nE}{l_0} \Delta l_n S_n$$

При снятии изделия с полуформы на её крайние слои действуют силы

$$F = f \cdot F_1, \quad (3)$$

где  $f$  – коэффициент трения пластика по материалу полуформы.

При вакуумном формовании полуформа укладывается на плиту 4 (рис.2) и крепится к ней в нескольких местах (оси  $O$ ). Касательные напряжения возникают только на участке  $l_1$  полуформы, расположенном между осями крепления полуформы и крайними слоями (клеевые слои  $S_1 \dots S_n$ ). Следовательно, разрушение может произойти либо по слою полуформы с наименьшим сечением, либо по клеевому слою с наименьшей площадью.

Касательные напряжения, возникающие на участке  $l_1$  полуформы

$$\tau = \frac{F}{S_{\min}} \quad (4)$$

где  $S_{\min}$  – площадь наименьшего из слоев полуформы на участке  $l_1$  или площадь наименьшего из клеевых слоев  $S_1 \dots S_n$ .

Для расчёта величины наибольшего прогиба полуформы под воздействием силы  $F$  (рис.2), рассмотрим участок  $l_1$  полуформы как балку с поперечным сечением, соответствующим сечению среднего на этом участке слоя. Тогда наибольший прогиб (в точке  $A$ ) определится по формуле

$$v_{\max} = \frac{Fl_1^3}{3EJ_x} \quad (6)$$

где  $E_v$  – модуль упругости материала горизонтальных слоев при изгибе, МПа;  $J_x$  – осевой момент инерции сечения среднего слоя относительно оси  $x$ , см<sup>4</sup>.

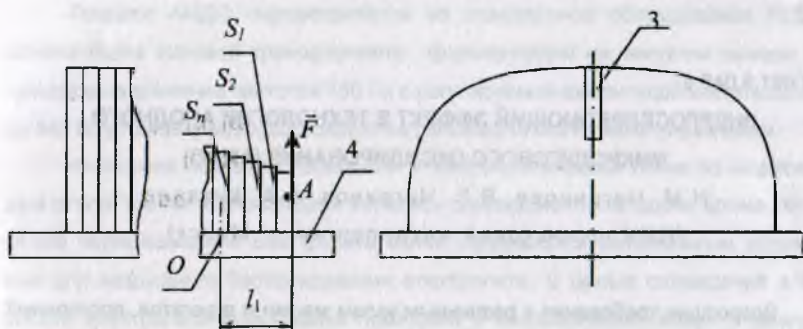


Рис.2. Схема к расчету полуформы на прочность и изгиб.

Касательные напряжения на участке  $l_1$  полуформы, рассчитанные по приведенным выше формулам, составляют 1,42 МПа. Предел прочности  $\tau_0$  для ДВП, определённый по ГОСТ 14759-69 – 1,45 МПа, для клея НИИФ С-35 – 1,47 МПа. С учётом коэффициента запаса допускаемые напряжения не должны превышать 0,39 МПа как для ДВП, так и для клеевого слоя. Следовательно, разрушение может происходить как по ДВП, так и по клеевому слою, что и наблюдалось при из-

готовлении манекенов. Изгиб полуформы на участке  $h_1$ , согласно формуле (6) составил всего 0,007 мм, поэтому этой величиной можно пренебречь.

Используя разработанную методику прочностного расчёта послойных полуформ и традиционный алгоритм рационального выбора пластмасс [1] определено, что для изготовления слоев полуформы следует использовать полистиролы, что позволяет изготавливать полуформы по технологии послойного синтеза с гарантированным запасом прочности для любых видов промышленных манекенов.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Каменев Е.И., Мясников Г.Д., Платонов М.П. Применение пластических масс: Справочник. – Л.: Химия, 1985. – 448 с.

УДК 691.9.048.4

#### **ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ ЭФФЕКТ В ТЕХНОЛОГИИ АНОДНОГО МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ (АМДО)**

Н.М. Чигринова, В.Е. Чигринов, А.А. Кухарев  
(НИИ порошковой металлургии, г. Минск)

Возросшие требования к различным узлам машин и агрегатов, постоянный рост цен на сырьевые и энергоресурсы, необходимость дополнительных затрат для воспроизводства изнашиваемых комплектующих и т.д. приводят к необходимости поиска новых решений по обеспечению качества и повышению ресурса рабочего времени данных изделий наряду со снижением их себестоимости. Логично, что продление срока службы изделий и сокращение стоимостных затрат может быть обеспечено за счет более долговременной эксплуатации комплектующих путем нанесения специальных защитных покрытий [1].

К таким покрытиям относятся покрытия на основе оксидно-алюминиевой керамики, которая в настоящее время наносится различными методами.