

Увеличение наружного диаметра образцов от 15,9 до 23 мм при одинаковых режимах дорнования отверстий вызывает значительное повышение всех компонентов остаточных напряжений (рис. 4). Особенно сильно возрастают осевые остаточные напряжения: при одноцикловом дорновании отверстий ( $a_1=0,05$  мм) с 49 до 175 МПа (рис. 3, а, и 4, а); при двухцикловом дорновании отверстий ( $a_1=0,265$  мм,  $a_2=0,015$  мм) с 41 до 220 МПа (см. рис. 3, в, и 4, б).

Таким образом, в обработанных дорнованием с большими натягами заготовках рассматриваемого типа формируются весьма значительные окружные, радиальные и осевые остаточные напряжения. Наибольшими являются окружные остаточные напряжения, значения которых вблизи отверстия близки к пределу текучести материала заготовки. Все компоненты остаточных напряжений возрастают с увеличением степени толстостенности заготовок, натяга и числа циклов дорнования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скворцов В.Ф., Арляпов А.Ю. Дорнование глубоких отверстий малого диаметра. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – 92 с.
2. Скворцов В.Ф., Арляпов А.Ю., Охотин И.С. Дорнование глубоких отверстий малого диаметра в толстостенных заготовках с большими натягами // Современные проблемы в технологии машиностроения: Сб. трудов Всеросс. научно-практ. конф. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2009. – С. 164–167.
3. Биргер И.А. Остаточные напряжения. – М.: Машгиз, 1963. – 232 с.

Поступила 01.02.2010 г.

УДК 621.744.4

## ВЛИЯНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ВСТРЯХИВАЮЩЕЙ ФОРМОВОЧНОЙ МАШИНЫ

А.Н. Глазов

Томский политехнический университет  
E-mail: glazov@tpu.ru

*Представлены результаты исследований в производственных условиях влияния давления сжатого воздуха и нагрузки на работу встряхивающей формовочной машины с полной амортизацией ударов. Приведены зависимости расхода воздуха от его давления и температуры. Дано описание измерительно-регулирующей установки.*

#### Ключевые слова:

Формовочная машина, встряхивание, давление и температура, сжатый воздух, нагрузка, частота ударов, амплитуда, расход воздуха.

#### Key words:

Molding machine, shaking, pressure and temperature, compressed air, capacity, stroke frequency, amplitude, air consumption.

#### Введение

Сжатый воздух нашел широкое применение в литейном производстве для механизации и автоматизации технологических процессов в силу известных преимуществ пневматических устройств при выполнении многих видов работ. Номенклатура пневматического оборудования, применяемого в литейных цехах, довольно широка и включает: формовочные машины, трамбовки, молотки, бетоноломы, дозаторы, бегуны, толкатели, выбивные решетки и т. д. Давление и расход воздуха, при которых обеспечиваются паспортные характеристики, различны.

Температура сжатого воздуха в пневмосети имеет различную величину в зависимости от климатических условий, области применения машин, характеристик работы компрессорной установки и распределения пневматической энергии и др. Одним из мероприятий по экономии электроэнергии при выработке и использовании сжатого воздуха

является его подогрев, снижающий расход газа [1]. Температура сжатого воздуха влияет также на энергетические характеристики и температурное поле пневматических машин [2]. Известны примеры подогрева воздуха для молотов, мазутных форсунок и литейных машин.

Значительные потери пневматической энергии, различные климатические и эксплуатационные условия приводят к тому, что значения расхода воздуха и характеристики работы пневматических механизмов и машин существенно отличаются от паспортных данных. Поэтому представляется актуальным исследование в производственных условиях пневматического хозяйства и характеристик работы пневматических устройств с целью повышения эффективности производства, распределения сжатого воздуха и эксплуатации пневматического оборудования, получения фактических данных по расходу воздуха конкретным приёмником энергии.

Операция формовки наиболее трудоемкая в технологическом процессе получения отливок. Более 80 % отливок из черных и цветных металлов получают в песчаных формах. На формовочных машинах выполняется основная операция – уплотнение смеси. К традиционным способам уплотнения смеси относятся: прессование, встряхивание, пескострельный и пескометный процессы. Уплотнение смеси в последний период времени производится и комбинированными способами: встряхивающее-прессовым, пескодувно-прессовым, импульсным и импульсно-прессовым, вибро-прессовым и др. Классификация формовочных машин и общий анализ процесса уплотнения смеси даны в литературе [3, 4].

Процесс уплотнения встряхиванием – наиболее распространенный, универсальный, достаточно простой и надежный способ формовки. Применение встряхивания в комбинации с прессованием позволяет обеспечивать, в определенной степени, требуемую геометрическую и размерную точность отливок. Использование встряхивающих формовочных машин с полной амортизацией ударов дает возможность значительно уменьшить шум, вибрацию и передачу энергии удара на окружающую среду. Несмотря на явную актуальность вопроса совершенствования машин подобного назначения экспериментальных данных для этого явно недостаточно.

#### Объект и методика экспериментов

В качестве объекта исследования была выбрана пневматическая встряхивающая формовочная машина с подпрессовкой Форомат-30 (FRP-30), установленная на участке формовочных машин цеха завода. По степени полноты амортизации ударов она относится к типу машин с полной амортизацией ударов. Машина может работать в режиме единичного включения или автоматического цикла работы с изменяемой последовательностью управления.

#### Технические характеристики формовочной машины:

Размеры стола	900×710 мм
Высота стола над полом	710 мм
Усилие прессования, не более	88300 Н
Встряхивающая способность, не выше	3930 Н
Число ударов встряхивания в мин.	наиб. 750/наим. 550
Способ подъема	пневматический – механический
Высота подъема	наиб. 250 мм

Формование на машине производится встряхиванием 5,0...5,2 с и последующим прессованием со встряхиванием.

На входе в машину имеется устройство для воздушного обогащения, состоящее из фильтра-влажнителя и маслоразбрызгивателя. Машина имеет распределительное устройство и клапана времени.

В встряхивающем механизме (рис. 1) встряхивающий поршень – 1 движется в цилиндре-ударнике – 2, опирающемся внизу на массивную пружину, который, в свою очередь, может передвигаться в направляющем цилиндре – 3, установленном в станине – 4 машины.

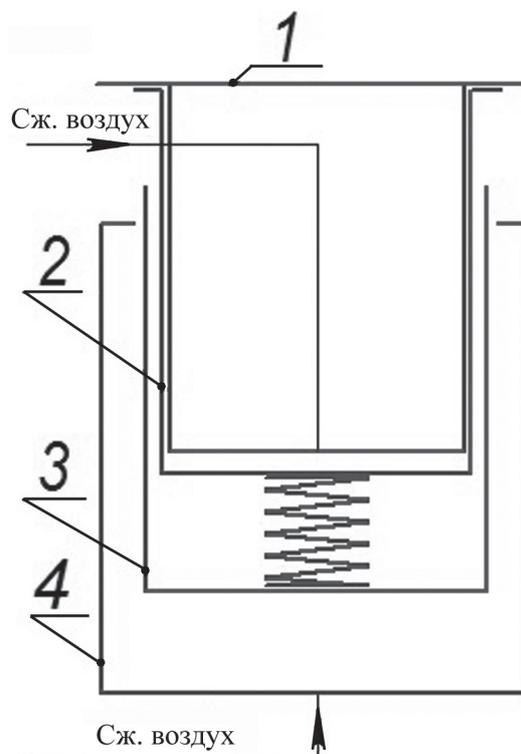


Рис. 1. Схема встряхивающего механизма с полной амортизацией ударов

После впуска воздуха под поршень – 1 он со столом поднимается, а цилиндр – 2 опускается, сжимая находящуюся под ним пружину; общая величина хода  $S=S_1+S_2$ , где  $S_1$  – ход стола,  $S_2$  – ход ударника – 2. После открытия выпускного отверстия встряхивающий поршень – 1 со столом свободно опускается, а цилиндр-ударник – 2 пружинной поднимается вверх. Происходит удар на весу встряхивающего стола о фланец цилиндра – 2, и смесь под действием сил инерции уплотняется. Энергии ударов поршня – 1 и цилиндра-ударника – 2 уравниваются, тем самым на фундамент удары не передаются.

Для измерения и регулирования параметров сжатого воздуха в производственных условиях была создана переносная установка, которая состоит из регулятора давления воздуха, расходомера переменного перепада давления, нагревателя воздуха с автотрансформатором РНО-250-5, измерительной камеры с манометром и манометрическим сигнализирующим термометром ТС-100. Выход камеры соединяется с машиной. Установка снабжена регулируемыми подставками и включает также арматуру и шланг.

Расходомер содержит сужающее устройство с термометром и нормальной камерной диафрагмой, жидкостный дифманометр ДТ-150, наполненный ртутью. Регулятор давления состоит из управляющего В57-13 и базового регулятора БВ57-28 с предельным расходом воздуха до 6,5 м<sup>3</sup>/мин. Нагреватель воздуха представляет собой теплоизолированную трубу с крышками, внутри которой вмонтированы трубчатые нагреватели общей мощностью 2,8 кВт. Объемы соединительных линий, нагревателя и камеры способствуют сглаживанию пульсаций воздушного потока, что позволяет уменьшить погрешности измерений.

Расчет объемного и весового расхода воздуха по показаниям дифференциального манометра и оценка погрешности измерения осуществляется в соответствии с рекомендациями [5, 6]. Определение плотности формовочной смеси в полуопоке производилось с помощью твердомера 071.

За меру уплотняющего воздействия на формовочную смесь при встряхивании принимают удельную работу встряхивания  $e$ , сообщенную смеси за  $n$  ударов стола и отнесенную к единице площади:

$$e = \frac{m}{L} A \eta,$$

где  $m$  – масса формовочной смеси в опоке;  $L$  – площадь опоки;  $A$  – амплитуда колебаний стола;  $\eta$  – коэффициент использования потенциальной энергии стола при его падении, который зависит от конструкции и состояния машины.

Перемещение и частота ударов стола определялись по записям, производимым стержнем, укрепленным на столе, на миллиметровой бумаге, перемещающейся вместе с вертикальной пластиной равномерно относительно машины. Частота ударов оценивалась и при помощи стробоскопа.

### Результаты исследований

Испытания проводились в производственных условиях при встряхивании и при подпрессовке с тремя грузами на столе: 40, 110, 216 кг.

При включении машины на режим встряхивания стол поднимается на некоторую высоту, затем выполняется цикл только встряхивания, далее стол опускается в исходное положение. На рис. 2 показано, как изменяются высота максимального  $S_{\max}$  и рабочего  $S_{1п}$  (высота стола после стабилизации положения точки соударения) подъема и опускания  $S_{10}$  стола в исходное положение. Линии подъема и опускания волнистые, т. к. встряхивающий механизм включается при пуске машины.

При грузе 40 кг после включения машины до 11–12 точек и после подъема стола первые 6–7 точек соударения смещаются волнообразно, при этом амплитуда колебаний и частота ударов изменяются. Затем колебания стола стабилизируются по положению точки соударения, по амплитуде и частоте ударов в исследованном диапазоне давле-

ния воздуха. При устойчивом режиме точка соударения остается постоянной по высоте, при неустойчивом – занимает разные положения. При повышении давления воздуха перед машиной высота подъема и опускания стола (рис. 2), амплитуда колебаний  $A$ , частота ударов  $n$  увеличиваются (рис. 3).

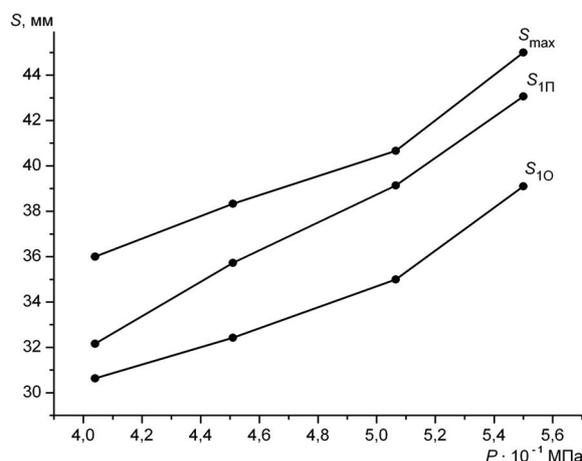


Рис. 2. Зависимости величины максимального  $S_{\max}$  и рабочего  $S_{1п}$  подъема и опускания  $S_{10}$  стола от давления воздуха при нагрузке 40 кг

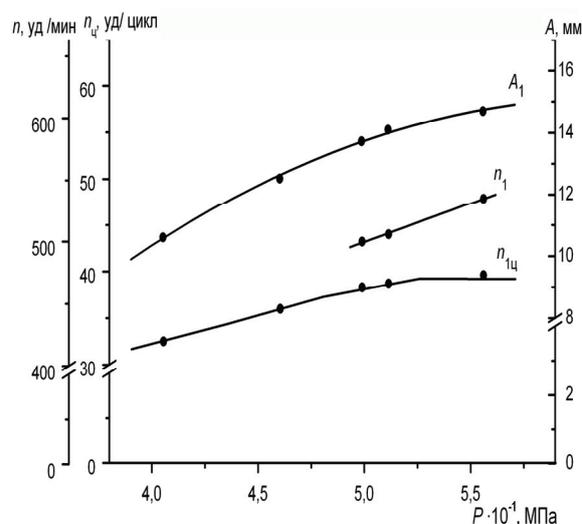


Рис. 3. Зависимости амплитуды колебаний  $A_1$ , частоты ударов  $n_1$  в минуту и  $n_{1ц}$  за цикл встряхиваний стола от давления воздуха при нагрузке 40 кг

При установке на стол груза в 110 кг и при давлении сжатого воздуха менее 0,48 МПа режим соударений приближается к неустойчивому. Амплитуда колебаний и частота ударов стола плавно снижаются с падением давления воздуха в сети (рис. 4).

При грузе 216 кг и давлении воздуха менее 0,48 МПа режим соударений неустойчивый. Точка соударения в течение 23–29 ударов после включения машины совершает гармонические затухающие колебания, а затем стол занимает последовательно два определенных положения, но амплитуде

да колебаний стола достаточно стабильна. При дальнейшем снижении давления воздуха колебания стола неустойчивы по точке соударения и по амплитуде колебаний стола.

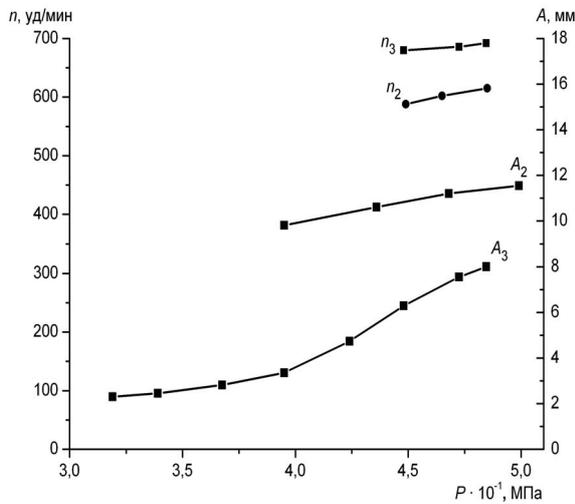


Рис. 4. Изменение частоты ударов и амплитуды колебаний  $n_2$  и  $A_2$  при нагрузке 110 кг,  $n_3$  и  $A_3$  при нагрузке 216 кг

Область неустойчивого режима соударений определяется соотношением давления подаваемого сжатого воздуха и нагрузки на стол машины. Увеличение нагрузки на стол при неизменном давлении воздуха приводит к уменьшению хода поршня со столом и, наконец, при определенном соотношении давления сжатого воздуха и нагрузки выпускное отверстие для выхлопа воздуха открываться не полностью. В результате наблюдается неустойчивая работа машины, характеризующаяся чередованием двух определенных величин хода поршня. При более высоком давлении воздуха под поршнем ход его увеличивается, поэтому выхлоп воздуха нормализуется, и наступает устойчивый режим встряхиваний. Так, при нагрузке 216 кг давление воздуха в сети должно быть не менее 0,55 МПа для устойчивой работы машины, при этом эффективность уплотнения смеси повышается.

С падением давления воздуха амплитуда колебаний и частота ударов (рис. 4), плотность формовочной смеси, высота подъема и опускания стола до исходного положения (рис. 5) снижаются. Характер изменения энергетических параметров машины виден из рис. 5.

Из сопоставления графиков (рис. 3 и 4) видно, что при увеличении массы груза амплитуда колебаний стола уменьшается, а частота соударений не только за минуту, но и за цикл встряхиваний возрастает. Например, при давлении воздуха 0,48 МПа число ударов за цикл встряхиваний 5 с составляет при грузе 40 кг – 37 и грузе 216 кг – 57. Значительно уменьшается высота подъема стола при увеличении на него нагрузки, что следует из графиков (рис. 2 и 5).

На данной машине подпрессовка осуществляется с одновременным встряхиванием при более высоком положении стола. При встряхивании без прессования, например, с грузом 216 кг и давлением воздуха 0,48 МПа режим соударений неустойчивый, частота ударов составляет 706 уд./мин.

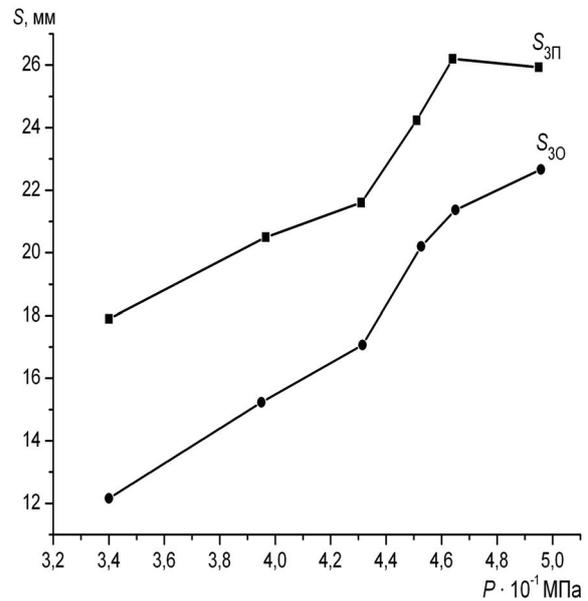


Рис. 5. Зависимости величины подъема  $S_{3п}$  и опускания  $S_{3о}$  стола от давления воздуха при нагрузке 216 кг

Повышение давления сжатого воздуха ведет к возрастанию энергетических характеристик и расхода воздуха пневматических машин. Опытным путем показано, что расход сжатого воздуха формовочной машиной в режиме встряхивания в исследованном диапазоне давлений 0,3...0,6 МПа прямо пропорционален давлению воздуха:

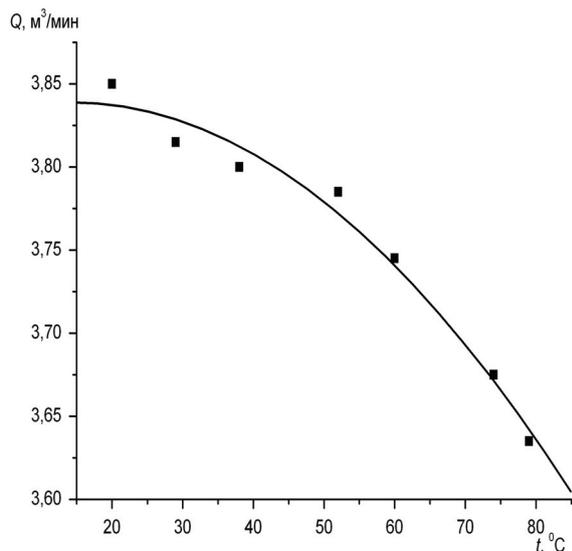
$$Q = aP + b,$$

где  $Q$  – расход сжатого воздуха, м³/мин;  $P$  – давление воздуха, МПа; коэффициенты  $a = 5,527$  и  $b = 1,138$ .

Такая прямолинейная зависимость расхода от давления воздуха характерна и для других пневмодарных устройств [2].

Расход воздуха при подпрессовке при давлении воздуха 0,48 МПа составляет 3,7...3,8 м³/мин. Расход воздуха на одну полуопуку составляет 0,5 м³ при формировании в режиме: встряхивание 5 с, подпрессовка 3 с.

На рис. 6 представлены результаты экспериментального изучения влияния температуры сжатого воздуха на его расход. Как видно, расход снижается, т. е. происходит экономия энергии. Эффективная мощность пневмодарных машин возрастает [2]. С целью ресурсосбережения возможен подогрев сжатого воздуха перед пневматическим оборудованием за счет отходящего тепла печей и конденсата, использованного пара, отходящего газа.



**Рис. 6.** Зависимость расхода сжатого воздуха от его температуры

#### Заключение

Создана установка для контроля и регулирования давления и температуры сжатого воздуха перед

пневматическим оборудованием. В производственных условиях исследованы режимы работы машины.

Установлены основные закономерности изменения амплитуды и частоты колебаний, величины подъема стола машины, расхода сжатого воздуха в зависимости от его параметров.

Показано, что амплитуда и частота колебаний, высота подъема стола, расход воздуха увеличиваются при повышении давления сжатого воздуха в диапазоне от 0,30 до 0,55 МПа. При увеличении нагрузки, амплитуда колебаний и высота подъема стола уменьшаются, а частота ударов возрастает.

Рекомендуется эксплуатировать формовочную машину при давлении сжатого воздуха не менее 0,55 МПа, что позволит повысить энергетические характеристики машины и степень уплотнения смеси, исключить неустойчивый режим работы встряхивающего механизма при существующих нагрузках на стол.

Получено уравнение прямой, характеризующей зависимость расхода воздуха от его давления. Приведен график изменения расхода воздуха от его температуры.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карабин А.И. Сжатый воздух. – М.: Машиностроение, 1964. – 343 с.
2. Глазов А.Н. Влияние эксплуатационных параметров на характеристики пневматических молотков // Известия Томского политехнического университета. – 2007. – Т. 310. – № 2. – С. 60–63.
3. Гуляев Б.Б. Формовочные процессы. – Л.: Машиностроение, 1987. – 240 с.
4. Матвеев И.В. Оборудование литейных цехов. Ч. 1. – М.: МГИУ, 2006. – 172 с.
5. ГОСТ 8.586.5-2005 ГСИ. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств // Кодекс [Электронный ресурс]: информационно-правовая база данных / ЗАО «Информационно-правовая компания Кодекс». 2009. URL: <http://kodeks.lib.tpu.ru> (дата обращения: 17.06.2009).
6. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количеств веществ: справочник. – СПб.: Политехника, 2002. – Кн. 1. – 409 с.

Поступила 14.01.2010 г.