

ТЕХНОЛОГИИ, СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

DOI 10.12737/

УДК 62-522

РАСЧЕТ УСИЛИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРЕССА ДЛЯ СБОРКИ СОЕДИНЕНИЙ ДЕТАЛЕЙ С НАТЯГОМ

Симанин Николай Алексеевич, канд. техн. наук, проф. кафедры «Технология машиностроения», ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет».

440039, Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11.

E-mail: konovalov-penza@rambler.ru

Коновалов Владимир Викторович, д-р техн. наук, проф. кафедры «Технология машиностроения», ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет».

440039, Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11.

E-mail: konovalov-penza@rambler.ru

Родионов Юрий Викторович, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Техническая механика и детали машин», ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет».

392000, Тамбов, ул. Мичуринская, 112А.

E-mail: tmm-dm@mail.nnn.tstu.ru

Ключевые слова: натяг, сборка, соединения, пресс, усилие, запрессовка, давление, гидравлический.

Цель исследования – совершенствование оборудования для сборки соединений деталей с натягом путем оснащения его системами автоматического управления технологическим процессом. В процессе современного машиностроительного или ремонтного производства используются разнообразные способы соединения деталей машин и агрегатов. Наиболее массовыми среди них являются резьбовые и шпоночные (среди разборных соединений), сварка и клепка (среди неразборных соединений). Соединения с натягом дают возможность повысить производительность труда, улучшить качество сопряжения, автоматизировать процесс сборки. В то же время соединения с натягом нельзя подвергать даже однократной перегрузке, которая может вызвать смещение соединяемых деталей и уменьшение прочности соединения. На основании краткого обзора наиболее распространенных способов соединения деталей показана важность применения при сборке цилиндрических деталей способом соединения с натягом

методом прессования, используя гидравлические прессы. Методика исследований предусматривала теоретическое обоснование параметров сборки деталей соединения и силовой расчет. Представлены выражения для определения силы запрессовки деталей и ее составляющих элементов. Полученные и приведенные уравнения и рекомендации позволяют по известным параметрам собираемого соединения и используемого гидравлического пресса определить необходимое рабочее давление жидкости, то есть произвести наладку гидравлического привода пресса; по известным параметрам собираемого соединения и номинальному значению рабочего давления жидкости в гидравлическом приводе пресса обоснован выбор необходимого технологического оборудования (модель пресса). Управлять процессом запрессовки рекомендовано изменением мощности пресса. При гидравлическом приводе пресса следует изменять подводимый к прессу объемный расход жидкости и разность давлений жидкости на входе и выходе двигателя привода.

В процессе современного машиностроительного или ремонтного производства используются разнообразные способы соединения деталей машин и агрегатов. Наиболее массовыми среди них являются: среди разборных соединений – резьбовые и шпоночные; среди неразборных соединений – сварка и клепка [1].

Соединения деталей с натягом так же широко используются в различных отраслях машиностроения, как при производстве нового оборудования, так и при его ремонте (например, при изготовлении и ремонте червячных колес, для установки подшипников скольжения в корпусные

детали, для соединения валов с зубчатыми колесами, подшипниками качения, рычагами, маховиками

и т. д.). Основным способом сборки является прессование, либо температурное деформирование. При этом соединения с натягом просты конструктивно, достаточно надежно воспринимают и передают статическую и динамическую нагрузку при сохранении центрирования деталей соединения и возможности разборки соединения [1].

Соединения с натягом дают возможность повысить производительность труда, улучшить качество сопряжения, автоматизировать процесс сборки. В то же время соединения с натягом нельзя подвергать даже однократной перегрузке, которая может вызвать смещение соединяемых деталей и уменьшение прочности соединения. Однако, при этом требуется соблюдение повышенной точности изготовления поверхностей сопряжения, имеется угроза снижения передаваемой нагрузки за счет снижения натяга и повреждения посадочных поверхностей в процессе сборки соединения, а так же возрастания повышенной концентрации напряжений на краях соединения (особенно охватывающей детали) [1].

Цель исследования – совершенствование оборудования для сборки соединений деталей с натягом путем оснащения его системами автоматического управления технологическим процессом.

Задачи исследования: определить взаимозависимость необходимого рабочего давления жидкости и параметров собираемого соединения для возможности наладки гидравлического привода технологического оборудования; установить условия для выбора необходимого технологического оборудования; выявить направление дальнейшего совершенствования оборудования для сборки и разборки соединений деталей с натягом.

Материалы и методы исследований. Наибольшее применение среди соединений с натягом нашли надежные и экономичные неподвижные неразъемные соединения цилиндрических деталей, выполняемые методом прессования.

По способу получения нормальных напряжений на сопрягаемых цилиндрических поверхностях различают поперечно-прессовые и продольно-прессовые соединения с гарантированным натягом. В поперечно-прессовых соединениях сближение цилиндрических сопрягаемых поверхностей происходит радиально или нормально к поверхности контакта. Процесс сборки продольно-прессовых соединений (рис. 1) состоит в том, что к одной из двух деталей прикладывается осевая сила. Охватываемая деталь (вал) имеет наружный диаметр D_1 больший, чем диаметр D_2 отверстия охватывающей детали (штулки). Соединение этих деталей при относительном продольном перемещении на длину контакта L происходит с деформированием металла, в результате чего на цилиндрической поверхности контакта возникают значительные нормальные давления и силы трения, обеспечивающие неподвижность деталей в соединении [1].

Гальванические покрытия на сопрягаемых поверхностях обычно повышают прочность соединения, хотя в процессе запрессовки часть покрытия на поверхностях контакта деформируется и может быть повреждена [2].

В машиностроении сборка и разборка соединений с натягом обычно производится на гидравлических прессах. Такая сборка отличается доступностью и универсальностью, а также сравнительной простотой автоматизации управления технологическим процессом. К недостаткам следует отнести возможность появления задиров и схватывания сопрягаемых поверхностей деталей при сборке и разборке без смазки, а также потери устойчивости при сборке тонкостенных и длинномерных деталей. Кроме того, обеспечивается более низкая, по сравнению с другими способами сборки, статическая и усталостная прочность деталей и соединений и не обеспечивается сохранение качественных поверхностей деталей после разборки соединения [3].

Сборка соединений прессованием применяется в тех случаях, когда необходимо обеспечить большое усилие на значительной длине хода, постоянную или изменяющуюся по заданному закону скорость прессования, выдержку изделия под давлением, сложную циклограмму технологического процесса.

Прессы характеризуют рядом параметров, в число которых обычно входят: номинальное усилие, величина хода рабочих элементов, скорости холостого, рабочего и обратного ходов, технологические размеры (расстояние между плоскостями упорного и нажимного элементов в

исходном положении, так называемая «открытая высота», размеры рабочего стола), мощность привода, габаритные размеры и масса [4].

В качестве главного параметра прессы, определяющего его типоразмер, принимают номинальное усилие. Физический смысл номинального усилия, развиваемого прессом, – это сила, предельно допускаемая прочностью деталей привода и исполнительного механизма с учетом безопасности и требуемой долговечности.

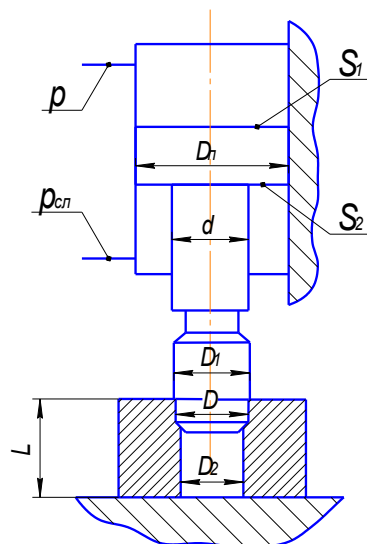


Рис. 1. Схема сборки продольно-прессового соединения с натягом

Анализ гидравлических прессов по технологическому назначению, структуре, конструкции и другим признакам показал, что в большинстве случаев наиболее подходящими для сборки и разборки соединений с натягом являются универсальные прессы простого действия одноэтажные с неподвижной С-образной станиной, открытые с верхним расположением одного цилиндра и вертикальным ходом ползуна.

Методика исследований предусматривала теоретическое обоснование параметров сборки деталей соединения и силовой расчет.

Результаты исследований. При сборке соединений с натягом необходимая сила запрессовки в основном определяется силой T статического трения в зонах контакта сопрягаемых деталей [2, 3]

$$T = \dots \dots \dots [\dots \dots \dots], \quad (1)$$

где $S_{ном}$ – номинальная площадь контактирующих поверхностей деталей в соединении, мм²; для

цилиндрических соединений типа «вал-втулка» $S_{ном} = \dots \dots \dots$;

D и L – соответственно диаметр и длина зоны контакта, мм;

τ_0 – удельная сила статического трения, МПа; $\tau_0 = \dots \dots \dots$;

σ_0 – предел текучести более мягкого материала соединения, МПа;

Φt – интеграл вероятностей;

t – квантиль нормального закона распределения;

$$t = \dots \dots \dots [\dots \dots \dots] \dots \dots \dots ;$$

Ra_1 и Ra_2 – шероховатости сопрягаемых поверхностей вала и втулки;

c – степень упрочнения поверхности контакта более мягкого из материалов соединения;
 $c = \dots$;

$P_{ном}$ – номинальное контактное давление, определяемое по известным уравнениям Ламе

$$P_{ном} = \frac{D}{E_1} \left(\frac{\Delta}{D_1} \dots \right);$$

$$k_1 = \dots; \quad k_2 = \dots;$$

D – диаметр сопрягаемых поверхностей (посадка) вала и втулки после сборки, мм;

D_1 – диаметр вала до сборки, мм; D_2 – диаметр отверстия втулки до сборки, мм;

Δ – натяг, мм; $\Delta = \dots$;

E_1 и E_2 – модули упругости Юнга материалов вала и втулки;

μ_1 и μ_2 – коэффициенты Пуассона материалов вала и втулки.

В момент сборки соединения с натягом усилие R на неподвижном рабочем органе гидравлического пресса возрастает, пока не становится равным силе T статического трения в зоне контакта поверхностей собираемых деталей. Дальнейшее увеличение усилия запрессовки приводит к начальному сдвигу и последующему ускоренному движению рабочего органа пресса.

Уравнение соотношения сил на поршне гидравлического цилиндра при работе вертикального пресса можно представить в виде

$$R + \dots = \dots + \dots + \dots + \dots, \quad (2)$$

где R – движущая сила поршневого цилиндра с односторонним штоком, Н; $R = \dots$;

P – давление жидкости в рабочей полости цилиндра, МПа;

S_1 – площадь поршня со стороны бесштоковой полости цилиндра, мм²; $S_1 = \frac{\pi D_n^2}{4}$;

D_n – диаметр поршня цилиндра пресса, мм;

G – вес подвижных частей пресса, Н;

T – сила статического трения в зоне контакта собираемых деталей соединения с натягом (Н), определяемая по формуле (1);

T_1 – сила трения в направляющих рабочего органа пресса, Н; $T_1 = \dots$;

R_1 – сила контакта подвижных частей и вертикальных направляющих пресса, Н;

f_1 – коэффициент трения; для чугунных направляющих в момент начала движения $f_1 = \dots$,

при малых скоростях и установившемся движении $f_1 = \dots^{12}$, при скоростях движения более 0,05 м/с и хорошей смазке $f_1 = \dots^{08}$;

T_2 – сила трения в резиновых уплотнениях поршня, Н; $T_2 = \dots$;

T_3 – сила трения в резиновых уплотнениях штока, Н; $T_3 = \dots$;

D_n и d – уплотняемые диаметры поршня и штока гидравлического цилиндра;

b – ширина уплотнения, мм;

k – напряжение силы трения (удельное трение), при работе на минеральном масле $k = \dots$

МПа.

Если на поршне установлены металлические уплотнительные кольца (например, из чугуна), то

$$T_2 = \dots + \dots,$$

где i – количество уплотнительных колец;

p_k – давление кольца на внутреннюю поверхность цилиндра; $p_k = 10$ МПа;

P – давление жидкости в рабочей (бесштоковой) полости цилиндра;

f_2 – коэффициент трения; можно принять $f_2 = 0,1$.

Сила противодействия со стороны штоковой полости гидравлического цилиндра определяется зависимостью

$$R_{np} = \dots$$

где $P_{сл}$ – давление жидкости в сливной полости цилиндра;

S_2 – площадь поршня со стороны штоковой полости цилиндра:

$$S_2 = \frac{\pi}{4} \dots$$

При эксплуатации гидравлических прессов наибольшее усилие прессования принято ограничивать величиной 0,75...0,80 расчетного (паспортного) усилия пресса.

Протекание процесса сборки, а, следовательно, и качество собранного изделия, зависит от многих факторов: величины натяга в соединении, физико-механических свойств материалов сопрягаемых деталей, параметров состояния контактирующих поверхностей, наличия смазки и покрытий, скорости выполнения операции, точности относительного положения деталей в сборке и многих других. Влияние многих из перечисленных выше факторов в настоящее время не поддается точному аналитическому описанию. Исходя из этого, обеспечить процесс сборки или разборки соединения так, чтобы все факторы в любой момент времени были бы заранее учтены, например, при наладке сборочного оборудования, невозможно. Следовательно, для обеспечения качества собираемого изделия необходимо использовать автоматическое управление процессом сборки [5].

Управлять процессом запрессовки можно путем изменения, например, мощности пресса. Если сборочный пресс имеет гидравлический привод, то его мощность определяется в основном произведением объемного расхода жидкости, подводимого или отводимого от двигателя привода, и разности давлений жидкости на входе и выходе движителя [6, 7].

Важными элементами систем управления являются измерительные преобразователи (датчики) скоростных и силовых параметров технологического процесса сборки, представляющие собой устройства, различающиеся по характеру получения сигнала от измеряемой величины, по характеру зависимости выходного сигнала от входного, по виду преобразования сигналов, по назначению и т.п.

Наилучшие результаты по точности и чувствительности имеют системы с гидравлическими измерительными преобразователями типа «сопло-заслонка» [8]. В таких системах управления отпадает необходимость многократных преобразований сигнала, несущего информацию о ходе технологического процесса, из одного вида энергии в другой, что существенно повышает чувствительность и быстродействие, снижает погрешность измерений и упрощает систему автоматического управления в целом. Применение таких систем возможно не только во вновь проектируемом оборудовании, но и при модернизации существующего, с целью повышения технического уровня машин без значительных материальных затрат.

Заключение. Используя полученные уравнения, можно решить следующие задачи: по известным параметрам собираемого соединения и используемого гидравлического пресса определить необходимое рабочее давление жидкости, то есть произвести наладку гидравлического привода технологического оборудования; по известным параметрам собираемого соединения и номинальному значению рабочего давления жидкости в гидравлическом приводе пресса обоснованно выбрать необходимое технологическое оборудование (модель пресса).

Дальнейшее совершенствование оборудования для сборки и разборки соединений деталей с натягом должно осуществляться путем оснащения его системами автоматического управления параметрами и характеристиками технологического процесса.

1. Миронов, В. А. Расчет сил трения сопряженных деталей в соединениях с натягом / В. А. Миронов, А. А. Ланков, Г. И. Рогозин. – Тверь, 2004. – 220 с.
2. Безъязычный, В. Ф. К вопросу технологического обеспечения качества соединения деталей при сборке с гарантированным натягом / В. Ф. Безъязычный, В. М. Федулов // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2012. – № 6 (143). – С. 33-41.
3. Иванов, А. С. Расчет соединения с натягом в общем случае нагружения / А. С. Иванов, М. М. Ермолаев, С. К. Руднев // Современное машиностроение. Наука и образование. – 2016. – № 5. – С. 453-463.
4. Иванов, А. С. Метод расчета соединения с натягом в общем случае нагружения / А. С. Иванов, М. М. Ермолаев, С. К. Руднев // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – 2015. – № 1 (51). – С. 75-83.
5. Симанин, Н. А. Совершенствование технологии сборки соединения деталей с натягом / Н. А. Симанин, В. В. Коновалов, С. С. Петрова. – Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2016. – Т. 1. – №2. – С. 30-34.
6. Симанин, Н. А. Гидравлические системы автоматического управления технологическими операциями в машиностроении / Н. А. Симанин, В. В. Голубовский. – Пенза : Пензенский ГТУ, 2009. – 155 с.
7. Симанин, Н. А. Адаптивное управление гидравлическим прессом для разделения толстолистового и профильного проката в холодном состоянии / Н. А. Симанин, В. В. Коновалов, Ю. В. Родионов. – Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2016. – Т. 22, №2 – С. 315-322.
8. Симанин, Н. А. Проектирование элементов и систем автоматического регулирования гидравлических приводов технологического оборудования / Н. А. Симанин, В. В. Голубовский. – Пенза : Пензенский ГТУ, 2015. – 205 с.