

УДК 621.923

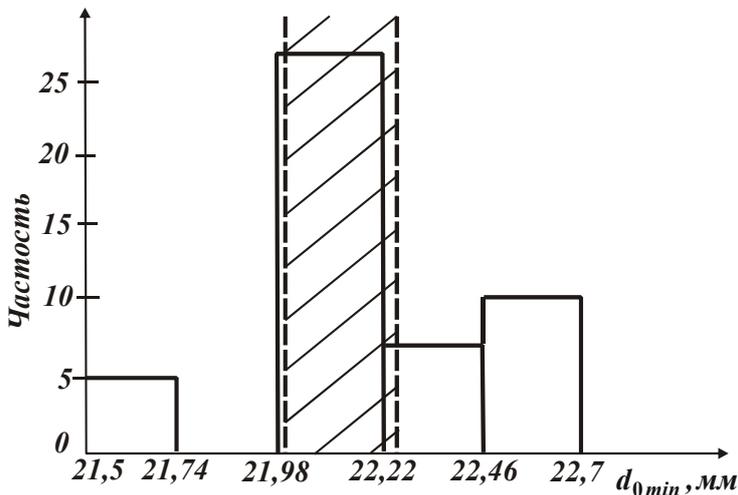
**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ
ТОЧНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РЕЗЬБОВОГО
ОТВЕРСТИЯ В ГОРЛОВИНЕ БАЛЛОНА В УСЛОВИЯХ
МАССОВОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Новиков Ф.В., докт. техн. наук, **Иванов И.Е.**
(г. Харьков, г. Мариуполь, Украина)

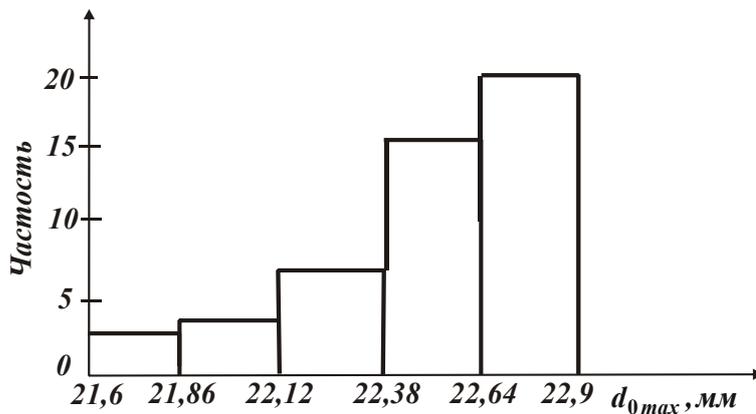
The results of experimental researches of parameters of accuracy of machining of an aperture with a groove in the top part of a cylinder are given and the practical recommendations are given.

При изготовлении баллонов в условиях массового производства на высокопроизводительных автоматических линиях возникает ряд сложных задач по обеспечению точности и стабильности механической обработки отверстий с конической резьбой в горловинах баллонов. Это связано, во-первых, с необходимостью обработки отверстий, имеющих начальную неправильную цилиндрическую форму и характеризующихся неравномерностью снимаемого припуска, что приводит к неуравновешенности сил резания, действующих на режущие зубья инструмента, деформации элементов технологической системы и возникновению значительных погрешностей обработки. Во-вторых, сложностью точной установки и базирования габаритной заготовки баллона при обработке. Применение типовых технологических процессов обработки отверстий с традиционным базированием по наружной цилиндрической поверхности горловины баллона не позволило решить указанные задачи. Потери от брака в связи с низким качеством нарезаемой конической резьбы в отверстиях остаются достаточно высокими - на уровне 15%. Это требует изыскания новых технологических решений по обеспечению точности и стабильности механической обработки (в условиях преобладания случайных погрешностей обработки), состоящих в научно обоснованном выборе оптимального технологического маршрута и параметров технологических переходов, прогрессивных схем базирования заготовок баллонов и т.д. [1–5]. Поэтому целью работы является экспериментальное исследование параметров точности механической обработки резьбовых отверстий в баллонах в условиях массового производства.

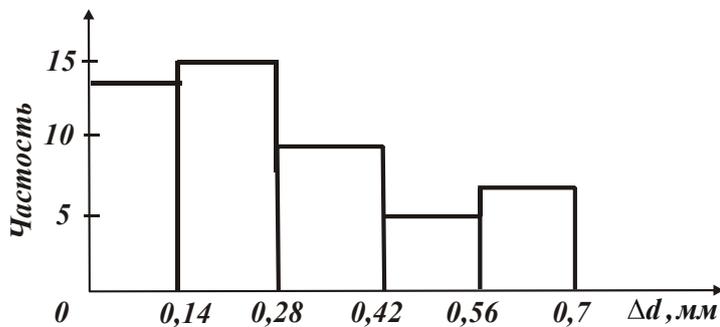
Были проведены экспериментальные исследования параметров точности отверстий после сверления и развертывания. Для этого выполнялись измерения наименьшего d_{0min} и наибольшего d_{0max} диаметров отверстий после сверления сверлом $\varnothing 22$ мм из стали Р6М5 у 50-ти баллонов. Результаты измерений наибольшего d_{0max} и наименьшего d_{0min} диаметров отверстий, а также их разности $\Delta d = d_{0max} - d_{0min}$ представлены в виде гистограмм распределения, рис. 1. Как следует из рис. 1,а, значения наименьшего диаметра отверстий d_{0min} концентрируются в основном в интервале 21,98 - 22,22 мм, т.е. приближаются к диаметру сверла 22 мм. Следовательно, при сверлении не существенна разбивка отверстия, связанная с биением сверла. В тоже время, исходя из рис. 1,б, имеет место смещение оси отверстия относительно оси сверла, в результате че-



а



б



в

Рис. 1. Гистограммы распределения наименьшего d_{0min} (а) и наибольшего d_{0max} (б) диаметров отверстий и разности диаметров отверстий Δd (в) после сверления.

го наименьший d_{0min} и наибольший d_{0max} диаметры отверстия отличаются и отверстие принимает форму эллипса (рис. 2).

Причем, наблюдается тенденция к увеличению наибольшего диаметра отверстия d_{0max} . С физической точки зрения это может быть связано с тем, что по сути, обработка отверстия производится не в сплошном материале, а путем рассверливания начального отверстия в горловине баллона, имеющего неправильную цилиндрическую форму. В результате этого происходит съем неравномерного припуска. А это ведет к погрешности обработки отверстия вследствие изгиба сверла и горловины баллона и смещения оси отверстия относительно оси сверла. Разбивка отверстия, определяемая

разностью наибольшего диаметра отверстия d_{0max} и диаметра сверла, равна 0,9 мм. Это чрезвычайно большая величина, свойственная для обработки отверстия, имеющего начальную неправильную цилиндрическую форму.

Приведенные на рис. 1, в статистические данные разности наибольшего и наименьшего диаметров отверстия Δd указывают на существование приблизительно равномерного закона распределения этой величины, изменяющейся в довольно больших пределах - 0...0,7 мм. Таким образом показано, что после сверления погрешность наименьшего диаметра отверстия d_{0min} относительно

небольшая, а погрешность формы отверстия, обусловленная величиной Δd , значительна. Причиной тому является неравномерность снимаемого припуска начального отверстия в горловине баллона.

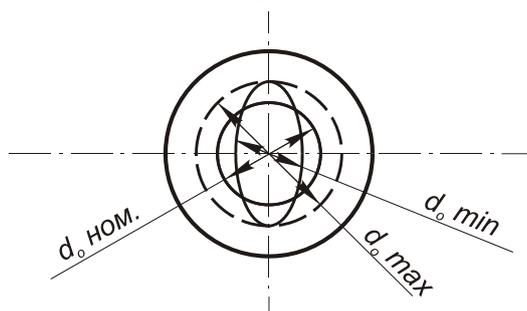


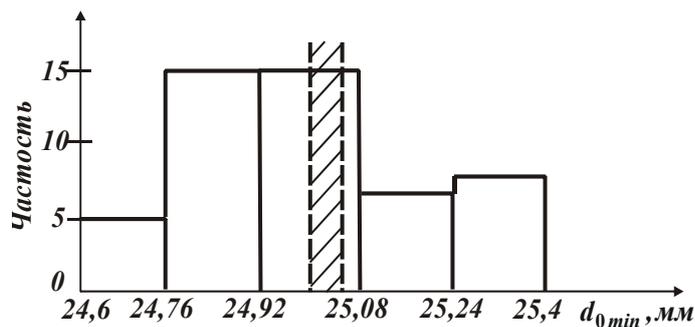
Рис. 2. Геометрические параметры обработанного отверстия.

На рис. 1,а заштрихованным показано поле допуска на диаметр отверстия 22 мм после сверления. Как следует из рис. 1,а, поле рассеяния наименьшего диаметра отверстия d_{0min} превышает поле допуска на диаметр отверстия. Это указывает на то, что при сверлении не обеспечивается требуемая точность размера отверстия для части обработанных баллонов.

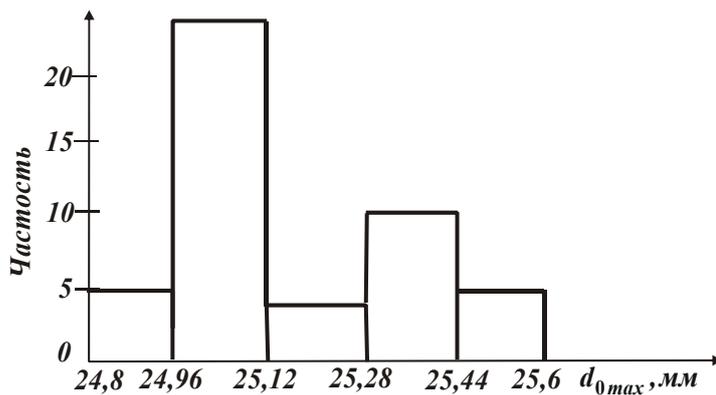
Были проведены аналогичные экспериментальные исследования параметров точности отверстий после их развертывания для 50-ти баллонов. На рис. 3 приведены результаты исследований в виде гистограмм распределения наименьшего d_{0min} и наибольшего d_{0max} диаметров обработанных отверстий, а также их разности Δd . Как следует из рис. 3,а, диапазон изменения значений наименьшего диаметра отверстий d_{0min} после развертывания меньше, чем после сверления (рис. 1,а) - 0,8 мм вместо 1,2 мм. Вместе с тем, сравнивая гистограммы, приведенные на рис. 1,а и рис. 3,а, видим, что после развертывания распределение значений наименьшего диаметра отверстий d_{0min} более равномерно, чем после сверления. Хотя, учитывая то, что при развертывании неравномерность снимаемого припуска меньше, чем при сверлении, результат должен быть противоположным. Следовательно, наряду с неравномерностью снимаемого припуска, при развертывании действует и другой важный фактор, который существенно влияет на характер распределения значений наименьшего диаметра отверстий d_{0min} . Им может быть неодинаковая длина хода конической развертки в направлении подачи.

Проведем анализ изменения значений наибольшего диаметра отверстий d_{0max} после развертывания, рис. 3,б. Опять же, учитывая то, что при развертывании неравномерность снимаемого припуска меньше, чем при сверлении, разброс значений наибольшего диаметра отверстий d_{0max} должен практически отсутствовать. Примерно такая же закономерность вытекает из рис. 3,б. Основная часть значений наибольшего диаметра отверстий d_{0max} концентрируется в интервале 24,96 - 25,12 мм, что соответствует примерно такому же интервалу значений наименьшего диаметра отверстий, в котором концентрируется их наибольшая часть.

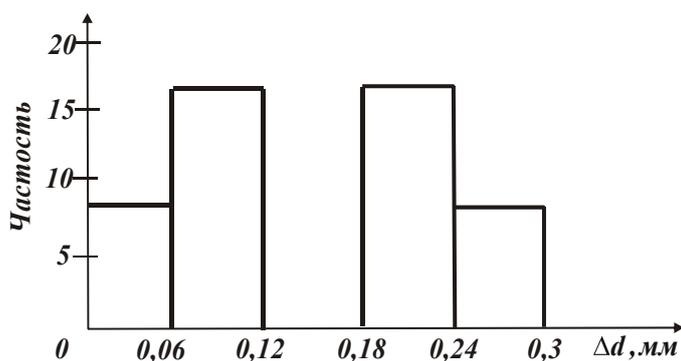
Разброс значений разности наибольшего и наименьшего диаметров отверстий Δd (рис. 3,в) после развертывания меньше аналогичного разброса значений Δd после сверления (рис. 1,в) - 0,3 мм вместо 0,7 мм. Таким образом показано, что применение технологического перехода развертывания позволяет повысить точность размера (диаметра) и формы обработанного отверстия по сравнению с точностью отверстия после сверления. Следовательно, примене-



а



б



в

Рис. 3. Гистограммы распределения наименьшего d_{0min} (а) и наибольшего d_{0max} (б) диаметров отверстий и разности диаметров отверстий Δd (в) после развертывания.

отверстия после сверления составило 0,205 мм, а после развертывания - 0,085 мм. Это свидетельствует о повышении точности обработки отверстия после развертывания.

На рис. 3,а заштрихованным показано поле допуска на диаметр отверстия 25 мм после развертывания. Как видно, рассеяние значений наименьшего диаметра отверстия превышает поле допуска на диаметр отверстия. Следовательно, погрешности обработки, образующиеся на предшествующих технологических переходах сверления и зенкерования, все же не удалось уменьшить до требуемого уровня на технологическом переходе развертывания. Это привело к значительному разбросу значений припусков на последующем переходе нарезания в

ние многопереходной обработки позволяет уменьшить погрешности отверстия, связанные с неравномерностью снимаемого припуска. Однако при этом появляются погрешности обработки, обусловленные неравномерностью длины хода конической развертки в направлении подачи. Для их уменьшения необходимо создание и применение системы автоматизированной подналадки останова рабочего хода конической развертки.

Используя данные измерений параметров d_{0min} и d_{0max} , была произведена количественная оценка отклонения от круглости отверстия после его сверления и развертывания по формуле:

$$\Delta_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{d_{0max} - d_{0min}}{2}}{n}, \quad (1)$$

где n - количество измеренных отверстий в горловинах баллонов ($n=50$).

Установлено, что отклонение от круглости

отверстии конической резьбы. В результате в 15,5% обработанных отверстий, как установлено экспериментально, была нарезана некачественная резьба, что привело к значительным потерям от брака баллонов.

Экспериментальные исследования несоосности баллона и шпинделя инструментальной головки. Существенным фактором повышения точности обработки отверстия, имеющего начальную неправильную цилиндрическую форму, может быть обеспечение соосности обрабатываемого баллона и сверла. Поэтому была произведена оценка несоосности обрабатываемого баллона и шпинделя инструментальной головки (сверла) для 50-ти баллонов методом математической статистики. Первоначально оценивали точность заготовки баллона по отклонению оси горловины от оси цилиндрической части баллона X (т.е. несоосности горловины баллона и его цилиндрической части), в соответствии со схемой, показанной на рис. 4. Установлено, что разброс значений X находится в пределах 0,8 мм (рис. 5). При этом основная часть значений X сосредоточена в интервале 0,36 - 0,52 мм. Анализируя характер рассеяния значений X , можно сделать вывод, что он близок к нормальному закону распределения.

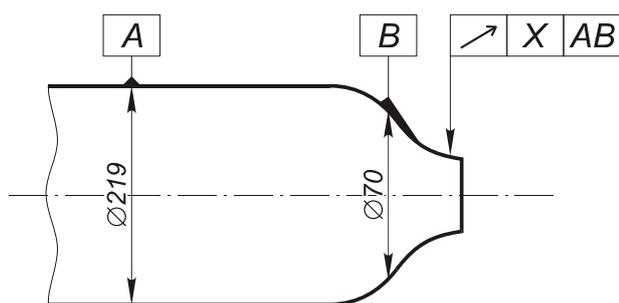


Рис. 4. Схема измерения отклонения оси горловины от оси цилиндрической части баллона X .

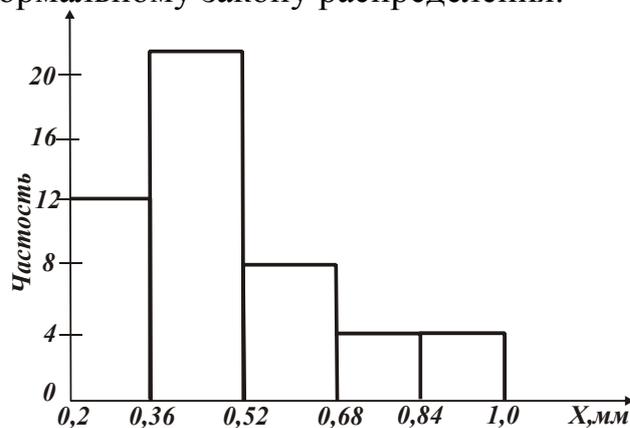


Рис. 5. Гистограмма распределения отклонения оси горловины от оси цилиндрической части баллона X .

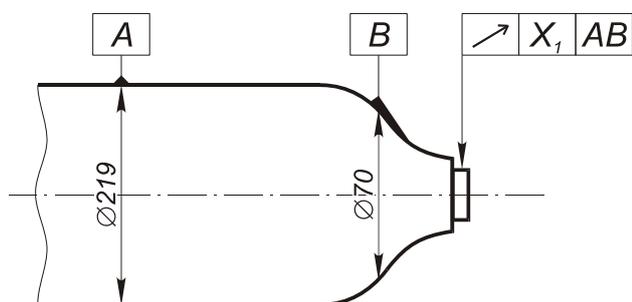


Рис. 6. Схема измерения отклонения оси пояска горловины от оси цилиндрической части баллона X_1 .

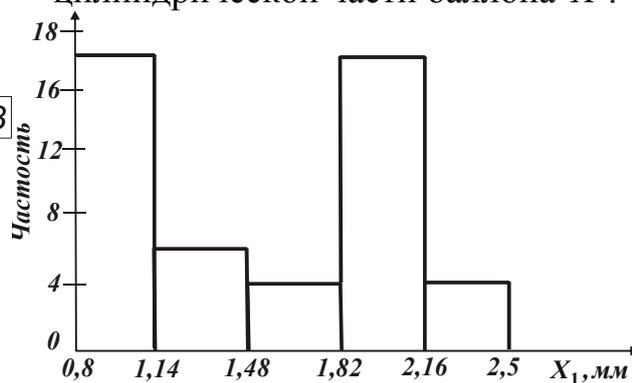


Рис. 7. Гистограмма распределения отклонения оси пояска горловины от оси цилиндрической части баллона X_1 .

Была произведена оценка несоосности пояска горловины (после точения) и цилиндрической части баллона, по сути, несоосности шпинделя инструментальной головки и цилиндрической части баллона. Измерения отклонения оси

пояска горловины от оси цилиндрической части баллона X_1 проводили по схеме, показанной на рис. 6, у 50-ти баллонов. Результаты измерений, обработанные методом математической статистики и представленные в виде гистограмм распределения величины X_1 , показаны на рис. 7, из которого следует, что разброс значений X_1 находится в пределах 1,7 мм. Это значительно больше, чем разброс значений величины X (0,8 мм). Следовательно, при обработке отверстий в горловинах баллонов имеет место значительная несоосность шпинделя инструментальной головки и цилиндрической части баллона. Очевидно, это приводит к несоосности обрабатываемого отверстия и сверла, что выражается в неравномерности снимаемого припуска при рассверливании начального отверстия в горловине баллона. По сути, производится рассверливание отверстия, имеющего начальную неправильную цилиндрическую форму. Собственно, этим объясняется значительная некруглость отверстия после рассверливания. При этом следует обратить внимание на то, что разброс значений X_1 примерно такой же как и разброс значений наибольшего диаметра отверстия d_{0max} после сверления (1,3 мм), рис. 1,б. Уменьшить несоосность цилиндрической части баллона и инструментальной головки можно в первую очередь за счет применения более прогрессивной схемы базирования заготовки баллона.

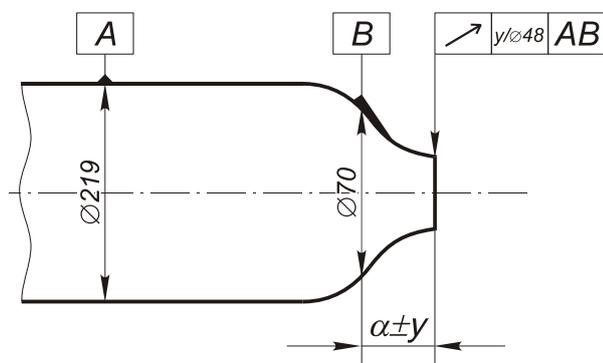


Рис. 8. Схема измерения отклонения торца горловины баллона от базовой поверхности Y .

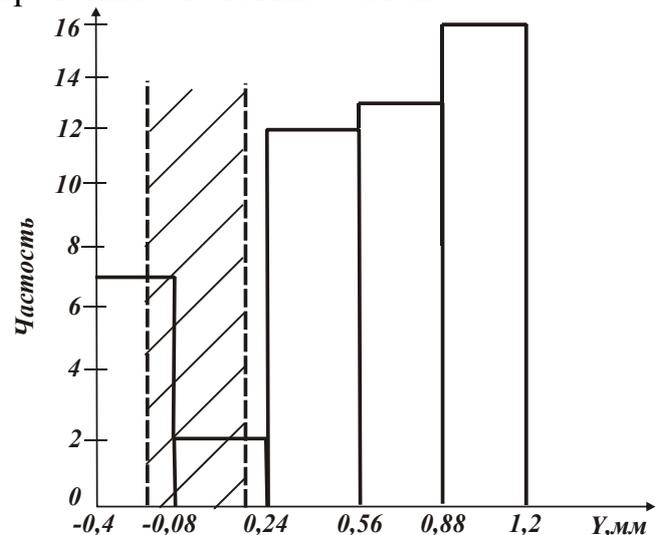


Рис. 9. Гистограмма распределения отклонения торца горловины баллона от базовой поверхности Y .

Экспериментальные исследования отклонения торца горловины баллона от базовой поверхности. Выше установлено, что после развертывания имеет место большой разброс значений наименьшего d_{0min} и наибольшего d_{0max} диаметров отверстий горловины баллона, рис. 3. При этом сделано предположение, что этот разброс обусловлен неодинаковой длиной хода инструментальной головки в направлении подачи. С целью проверки данного утверждения были проведены экспериментальные исследования на основе метода математической статистики отклонения торца горловины баллона от базовой

поверхности Y для 50-ти баллонов в соответствии со схемой, показанной на рис. 8. Результаты измерений величины Y представлены в виде гистограмм распределения, рис. 9.

Как видно, имеет место весьма большой разброс значений величины Y (1,6 мм), значительно превышающий поле допуска на величину Y (на рис. 9 поле допуска заштриховано). Данный разброс значений Y соизмерим с разбросом значений наименьшего d_{0min} и наибольшего d_{0max} диаметров отверстий горловины баллона (рис. 3) после развертывания конической разверткой. Это свидетельствует о существенном влиянии разброса значений Y на разброс значений d_{0min} и d_{0max} .

Следовательно, для повышения точности обработки отверстий в горловинах баллонов необходимо, во-первых, уменьшить отклонения торца горловины баллона от базовой поверхности Y , во-вторых, при обработке регулировать длину хода инструментальной головки в направлении подачи для каждого баллона на переходах развертывания конической разверткой и нарезания конической резьбы.

Экспериментальные исследования качества нарезанной конической резьбы в отверстиях горловин баллонов. Была произведена экспериментальная оценка качества нарезанной конической резьбы в отверстиях 1670 горловин баллонов. Установлено, что в 260 баллонах (а это соответствует 15,5% общего количества баллонов) нарезана некачественная резьба (см. таблицу).

В таблице приведены данные о браке по видам дефектов нарезанной конической резьбы в отверстиях горловин баллонов. Как видно, наибольший процент брака достигается в связи с образованием так называемой “рваной резьбы” (4,31%). Затем, в порядке уменьшения процента брака резьбы - в связи с поломкой метчиков (3,35%), образованием прослабленной (2,84%) и тугой (2,75%) конической резьбы, а также образованием неполного профиля резьбы (2,27%).

Таблица

Результаты контроля резьбы W 27.8 ГОСТ 9909-81 в баллонах, обработанных по базовому технологическому процессу

Всего обработано баллонов, шт	Всего забраковано баллонов, шт/процент	В том числе по видам дефектов, шт / процент				
		рваная резьба	прослабленная резьба	тугая резьба	неполный профиль резьбы	поломка метчика
1670	260/15,5	72/4,31	48/2,84	46/2,75	38/2,27	56/3,35

Проведем анализ причин, вызывающих такие большие потери готовой продукции от брака по резьбе. Для этого рассмотрим схему формирования профиля конической резьбы W 27,8 в отверстии горловины баллона, рис. 10. Как следует из рисунка, для того чтобы нарезать полную коническую резьбу, метчик должен совершить перемещение в направлении подачи на величину:

$$l = \frac{h}{\operatorname{tg} \varphi / 2}, \quad (2)$$

где $h = \frac{D - D_1}{2}$, мм; $\varphi/2$ - угол уклона резьбы ($\varphi/2 = 3^\circ 26' 22''$; $\text{tg} \varphi/2 = 0,06$); H_1 - ра-

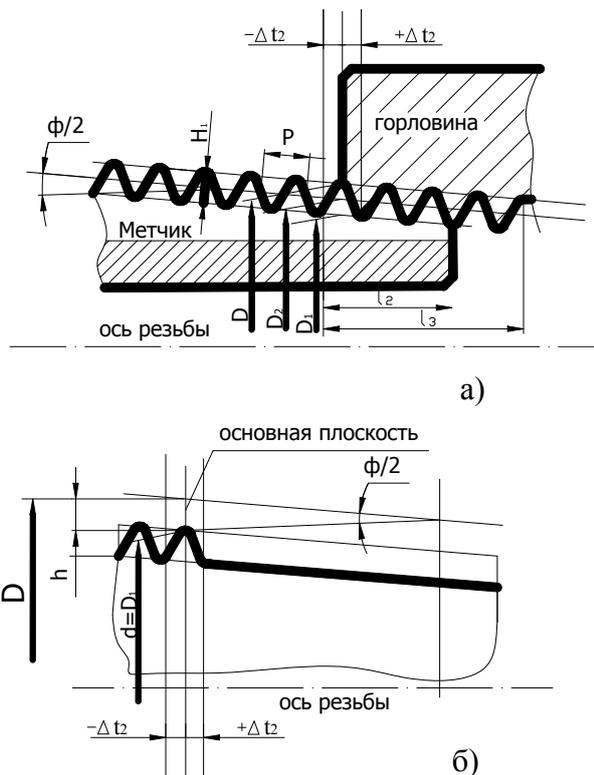


Рис. 10. Схема формирования профиля конической резьбы W 27,8 в отверстии горловины баллона.

отверстия превышает допустимый диаметр, при условии $L = \text{const}$ будет образовываться неполный профиль резьбы, и она будет прослаблена. У тех баллонов, у которых диаметр отверстия меньше допустимого диаметра, будет образовываться тугая резьба. Чтобы добиться в этом случае образования качественной резьбы, необходимо увеличить длину перемещения l метчика в направлении подачи. Однако, это может привести к срыву резьбы или поломке метчика вследствие увеличения силы резания.

Таким образом, показано влияние разброса диаметров отверстий (после развертывания) на качество нарезанной конической резьбы. Оценим теперь влияние отклонения торца горловины баллона от базовой поверхности Y (рис. 9) на качество нарезанной конической резьбы. На рис. 10 показаны предельные значения этой величины - $\Delta l_2 = \pm 1,5$ мм. Нетрудно видеть, что с геометрической точки зрения влияние отклонения торца горловины баллона от базовой поверхности Y на качество нарезанной конической резьбы аналогично рассмотренной схеме (рис. 10). Чем больше отклонение Y (или Δl_2) в отрицательном направлении, тем, очевидно, более протяженный путь метчика в обрабатываемом металле. А это ведет к увеличению величины снимаемого припуска, силы резания и вероятности поломки метчика или срыву резьбы.

бочая высота профиля по нормали к образующей ($H_1 = 1,161553$ мм); P - шаг резьбы ($P = 1,814$ мм); D - наружный (номинальный) диаметр внутренней резьбы в основной плоскости ($D = 27,8$ мм); D_1 - внутренний диаметр внутренней резьбы в основной плоскости ($D_1 = 25,472$ мм); D_2 - средний диаметр внутренней резьбы в основной плоскости ($D_2 = 26,636$ мм); l_2 - длина наружной резьбы на вентиле ($l_2 = 17,667$ мм); l_3 - длина резьбы в горловине, не регламентируется; Δl_2 - осевое смещение основной плоскости от ее номинального расположения ($\Delta l_2 = \pm 1,5$ мм).

Как установлено выше, после развертывания конической разверткой имеет место разброс наименьшего диаметра d_{0min} отверстий, значительно превышающий поле допуска на диаметр, рис. 3. Следовательно, у части баллонов, у которых диаметр

С увеличением отклонения Y (или Δl_2) в положительном направлении, наоборот, длина пути метчика в металле уменьшается. В результате будет образовываться неполный профиль резьбы, и она будет прослаблена.

Из проведенного анализа можно сделать вывод о том, что для получения качественной конической резьбы необходимо обеспечить разброс значений отклонения торца горловины баллона от базовой поверхности Y и наименьшего диаметра d_{0min} отверстия в пределах полей допусков. В противном случае будет образовываться некачественная резьба. Выполнить это условие можно за счет регулирования длины перемещения конической развертки и конического метчика в направлении подачи при обработке каждого баллона, характеризующегося своим вполне конкретным значением Y . Реализовать это условие можно применением системы автоматизированной подналадки останова рабочего хода конической развертки и конического метчика. Неуправляемым фактором в этом случае остается некруглость отверстия после развертывания, обусловленная главным образом неравномерностью снимаемого припуска при рассверливании начального отверстия в горловине баллона, имеющего неправильную цилиндрическую форму.

Проведем более детальные исследования влияния точности расположения основной плоскости конического отверстия в осевом направлении на качество резьбы в соответствии с расчетной схемой, показанной на рис. 10. На рисунке показаны основные параметры осевого перемещения метчика при нарезании резьбы. Формирование полного профиля внутренней резьбы начинается частью метчика, расположенной слева от основной плоскости. В этой плоскости наружный диаметр метчика равен внутреннему диаметру резьбы в горловине, т.е. $d=D_1$. Часть метчика, расположенная справа от основной плоскости, будет формировать резьбу на длине l_3 , в том числе ее сбег.

Для получения полного профиля резьбы метчик должен переместиться вдоль оси на расстояние l , которое определяется рабочей высотой профиля резьбы в основной плоскости h и углом наклона резьбы $\varphi/2$. Исходя из рис. 10, данные значения равны:

$$h = \frac{D - D_1}{2} = \frac{27,8 - 25,472}{2} = 1,164 \text{ мм}$$

$$l = \frac{h}{\text{tg} \varphi / 2} = \frac{1,164}{0,06} = 19,4 \text{ мм}$$

Длина участка внутренней резьбы с полным профилем и регламентированными стандартными размерами равна $l=19,4$ мм, а длина наружной резьбы на вентиле равна $l_2=17,667$ мм. Это обеспечивает свинчиваемость резьбового соединения, в том числе и при отрицательном смещении основной плоскости.

При осевом смещении основной плоскости от ее номинального расположения величина осевого перемещения метчика будет составлять:

– при отрицательном смещении: $l_{-\Delta l_2} = l - 1,5 = 19,4 - 1,5 = 17,9$ мм;

– при положительном смещении: $l_{+\Delta l_2} = l + 1,5 = 19,4 + 1,5 = 20,9$ мм.

Число витков резьбы с полным профилем, нарезанных метчиком, равно:

– при номинальном положении основной плоскости: $n = \frac{l}{P} = \frac{19,4}{1,814} = 10,7$;

- при отрицательном смещении основной плоскости: $n = \frac{17,9}{1,814} = 9,9$;
- при положительном смещении основной плоскости: $n = \frac{20,9}{1,814} = 11,5$.

Расположение основной плоскости резьбы относительно торца горловины определяется технологическим процессом обработки конического отверстия (точность которого устанавливается предельным калибром-пробкой), является относительным и определяет то, что размеры отверстия не выходят за ее пределы допуска на осевое смещение, т.е. $\pm l_2$. Однако этот метод контроля не определяет действительного положения основной плоскости относительно торца горловины. Следовательно, определить необходимое количество нарезаемых витков резьбы в отверстии для получения полного профиля резьбы для конкретного баллона не представляется возможным.

Если в результате неточного определения положения основной плоскости будет нарезано меньшее количество витков, то профиль резьбы получится не полным. Если же будет нарезано большее количество витков, то это приведет к существенному увеличению суммарного сечения среза. Размер срезаемого слоя в этом случае будет большим, чем высота профиля резьбы h , т.е. металл будет срезаться не только зубьями метчика, имеющими треугольный профиль резьбы, но и частью зубьев, расположенных глубже профиля. А это приведет к существенному усложнению процесса стружкообразования и увеличению крутящего момента. В результате может наблюдаться срыв части витков, увеличение шероховатости поверхности резьбы. Резкий рост крутящего момента также может привести к поломке метчика.

Таким образом, установлено, что точность и качество нарезаемой конической резьбы в отверстиях горловин баллонов связаны с положением основной плоскости относительно торца горловины. Используемые методы контроля точности конического отверстия под резьбу с помощью калибра-пробки не дают возможности определить точное расположение основной плоскости. Это ведет к тому, что глубина входа метчика в отверстие и соответственно количество нарезанных витков в действующем технологическом процессе определяется, по сути, «на глаз». Поэтому на технологических переходах обработки отверстия и нарезания резьбы можно рекомендовать использование указанной выше системы автоматизированной подналадки останова рабочего хода осевого режущего инструмента или регулируемых упоров, настройка которых обеспечит постоянное положение основной плоскости относительно торца горловины. В этом случае обработка прекращается при касании упора в торец горловины.

Литература: 1. Новиков Ф.В., Иванов И.Е. Повышение эффективности механической обработки высокоточного резьбового отверстия в горловине газового баллона // Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб. - Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. - Вып. 70. - С. 350-355. 2. Иванов И.Е., Новиков Ф.В. Влияние методов формообразования на точность механообработки. – Физические и компьютерные технологии. - Труды 11-й Международной научно-технической конференции, 2-3 июня 2005г. - Харьков:

ХНПК “ФЭД”, 2005. - С. 108-113. 3. Новиков Ф.В., Иванов И.Е. Технологическое обеспечение точности и стабильности изготовления внутренних герметических резьб в горловинах газовых баллонов в условиях крупносерийного и массового производства // Физические и компьютерные технологии. - Труды 12-й Международной научно-технической конференции, 7-8 июня 2006г. - Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2006. - С. 3-9. 4. Иванов И.Е. Повышение точности изготовления ответственных поверхностей деталей гидрогазовой аппаратуры // Захист металургійних машин від поломок – Збірник наукових праць - Маріуполь, 2005. – Вип. 8. – С. 184-190. 5. Иванов И.Е. Исследование процесса нарезания внутренней резьбы в баллонах // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. - “Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні”. - 2006. - Вип. 42. - С. 209-214.