

УДК 519.63
DOI: 10.22213/2413-1172-2023-3-53-66

Оценка стабильности технологического процесса по результатам контроля размеров заготовок оружейных стволов

В. В. Муравьев, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова;
УдмФИЦ УРО РАН, Ижевск, Россия
Т. Р. Вагапов, аспирант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

Технологический процесс изготовления ствола начинается с операции прошивки прутков для создания канала в заготовке. Вследствие действия на заготовку значительных механических нагрузок в ней возникают неоднородности по сечению в виде отклонений по диаметру. Для обеспечения стабильности процесса необходимо анализировать показатели качества при изготовлении заготовок.

Повышение качества продукции состоит в непрерывном совершенствовании технологических процессов, критериями оценки которых являются показатели качества, например, по геометрическим размерам изделий. Предприятие получает конкурентное превосходство в случае, когда показатели остаются стабильными во времени и обеспечивают все заявленные требования в нормативной документации. Под определением стабильности процесса принимают показатель, обеспечивающий постоянство распределительного закона вероятностей его параметров на определенном промежутке времени.

В настоящее время нет показателей качества продукции или услуги, которые обладают абсолютной стабильностью. На их изменчивость влияет достаточно широкий спектр различных показателей: разница механических характеристик исходного материала и заготовок, износ средств технического оснащения (приспособления, оборудование, инструмент), изменение условий окружающей среды, уровень квалификации рабочего персонала и др. В зависимости от степени влияния этих факторов будет наблюдаться стабильность или нестабильность значений показателей качества.

Для определения причин разброса показателей качества проведены исследования на примере заготовок ружейных стволов. В ходе исследования для однозначности определения причин возникновения отклонений применялся метод контрольных карт Шухарта. Данный метод позволил построить временной график изменения параметров процесса получения заготовок стволов доковки для осуществления статистического контроля его стабильности.

Измерены значения критических геометрических размеров заготовок стволов доковки. Обнаружены отклонения полученных значений от требуемых параметров, что свидетельствует о нарушении и нестабильности процесса изготовления заготовок стволов.

Ключевые слова: заготовки ружейных стволов, контрольные карты, геометрические параметры, качество продукции.

Введение

Ствол в любом огнестрельном оружии является основной его деталью, размеры которой влияют на основные характеристики оружия [1–3]. Технологический процесс изготовления ствола начинается с операции прошивки прутков для создания канала в заготовке путем продавливания заготовки на вертикально-ковочных машинах. Далее полученный материал проходит стадиюковки [4]. Вследствие действия на заготовку ствола значительных механических нагрузок в ней могут возникнуть неоднородности по сечению в виде отклонений по диаметру, овальности, остаточным напряжениям, анизотропии свойств [5]. Для обеспечения стабильности процесса необходимо проанализировать показатели качества при изготовлении заготовок стволов.

Интерес потребителя для любой организации определяется постоянством качества производственных технологических процессов, обеспечивающих соответствующий уровень качества изготовления деталей [6]. Повышение эффективности производства заключается в совершенствовании ее процессов, но для достижения этого надо знать, как процессы функционируют на практике [7].

Процессы производства оцениваются различными показателями качества, стабильность которых рассматривается как обеспечение постоянства закона распределения вероятностей и его параметров в течение какого-то определенного времени. Стабильность и точность процесса понимается как обеспечение свойств близости действительных и заданных значений показателей качества, которые характеризуют

результат процесса. Под действием различных влияющих факторов значения этих показателей могут изменяться во времени [8].

На практике любой показатель качества продукции или услуги (размер, время исполнения, твердость, толщина покрытия и др.) не может быть абсолютно стабильным [9]. На изменчивость данного показателя могут оказывать влияние самые разнообразные причины, например:

- разница в требуемых свойствах поставляемого материала, полученного от разных поставок одного или разных производителей;
- износ оборудования и средств технического оснащения;
- изменение характеристик окружающей среды;
- физическое состояние и уровень квалификации рабочего персонала;
- другие.

Вследствие влияния указанных факторов будет проследиваться различие в показателях параметров качества [10].

Один из основоположников теории изменчивости, американский статистик Уолтер Шухарт (1891–1967), предложил разделить причины, влияющие на изменчивость значений показателей качества, на две группы: общие (случайные) и особые (специальные) [11].

Общие (случайные) – это многочисленные, относительно незначительные источники изменчивости, которые часто наблюдаются при нормальном ходе процесса производства.

Особые (специальные) – это внешние причины, которые чаще всего проявляются нерегулярно. Например, переналадка станка во время операции, некорректное поведение оператора, нарушение технологического процесса и др. Они могут оказывать значительное негативное и непредсказуемое воздействие на показатели качества. Процесс становится неуправляемым и нестабильным во времени [12].

Для устранения или минимизации влияния общих причин изменчивости, как правило, требуются управленческие решения – внедрение специальных контрольных операций, модернизация или ремонт оборудования, повышение уровня квалификации работников, снабжение качественным материалом. Разделение причин изменчивости на общие и особые условно. Если можно выделить и определить влияние общей причины, то она перейдет в разряд особых. Поэтому основными направлениями совершенствования процессов являются обнаружение и исключение влияния особых причин и снижение

изменчивости процесса за счет уменьшения влияния общих причин.

Целью работы является анализ ряда критических размеров заготовок стволов стрелкового оружия до радиального обжатия для установления причин нестабильности процесса из-за появившихся отклонений и выработка предложений для устранения или минимизации риска появления некачественной продукции.

Используемые подходы и методы

Контрольные карты (КК) [13] являются основным инструментом анализа и статистического управления процессами. Статистическими характеристиками процесса могут быть: среднее арифметическое анализируемого показателя качества, стандартное отклонение, число дефектов в выборке и др. На контрольных картах указываются: верхняя и нижняя контрольные границы, среднее значение контролируемого параметра. Получаемая из выборок информация о текущем состоянии процесса сравнивается с контрольными границами, представляющими пределы собственной изменчивости процесса.

Разработка контрольных карт осуществляется в две стадии. На первой проводится статистическое исследование процесса, определяются контрольные границы, анализируется состояние процесса. При обнаружении отклонений исключается влияние на процесс особых причин. На второй стадии контрольные карты служат для текущего управления процессом [14].

При расчете контрольных карт используются мгновенные выборки, основное требование к которым заключается в том, что изменения внутри нее должны быть вызваны только независимыми (случайными) причинами. Поэтому условия, при которых проводились измерения, должны быть одинаковыми для всех (например, на одном станке, одним наладчиком, из одной партии материала, при неизменной наладке оборудования). Объем выборки обычно меняется от 2 до 25 и определяется техническими и экономическими возможностями. Рекомендуемый объем выборки 4-5 измерений.

Далее определяются контрольные точки. Они указывают диапазон изменения средних арифметических пределов и величины размахов выборок, если присутствуют только общие (случайные) причины изменчивости. Для выявления контрольных границ требуется определить средний размах и среднее значение для процесса. Средние линии на картах обозначаются как CL (center line). Затем определяются верхняя и нижняя контрольные границы – UCL (Upper control limit) и LCL (Lower control limit).

Контрольные карты представляют собой графики, наглядно показывающие динамику поведения процесса по его характеристикам настройки и точности. Статистическими характеристиками процесса могут быть, например, среднее значение рассматриваемого показателя качества, стандартное отклонение, число брака в выборке и др. На контрольные карты наносятся верхняя (UCL) и нижняя (LCL) контрольные

границы и среднее значение контролируемого параметра (CL). Получаемая по выборкам информация о состоянии процесса сравнивается с контрольными линиями, представляющими пределы собственной изменчивости процесса.

Все многообразие контрольных карт, зависящих от природы данных и их статистической обработки, а также принимаемых решений, разделяются на две группы (рис. 1).

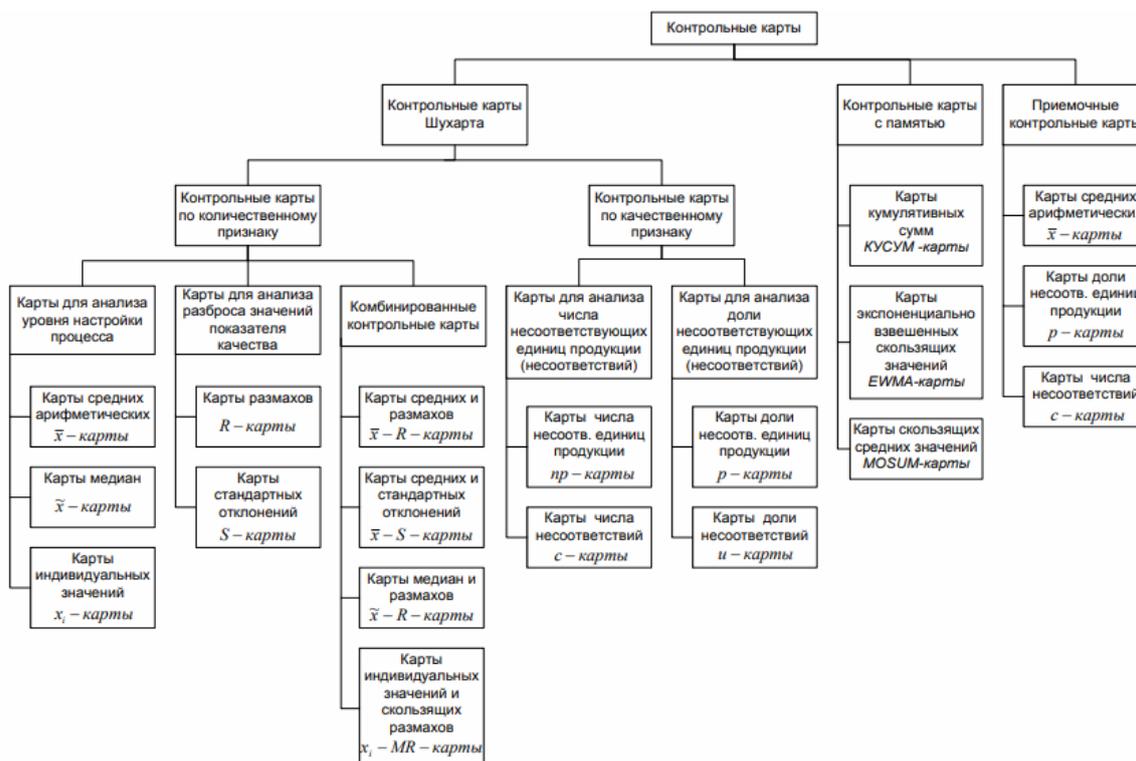


Рис. 1. Схема типов контрольных карт

Fig. 1. Diagram of control card types

В контрольных картах по количественному признаку анализируются результаты наблюдений, проводимых с помощью измерения числовых значений показателя качества. В картах по альтернативному признаку используются результаты наблюдений и регистрации наличия (или отсутствия) параметра, характеризующего качество процесса, например, числа дефектов или дефектных единиц продукции.

На примере построения карт средних арифметических и размахов цилиндрических изделий гражданской продукции демонстрируется алгоритм построения контрольных карт. Это карта с двойным составом наполнения, в котором при построении в качестве характеристик показателя качества принимаются среднее арифметическое значение этого показателя (анализ уровня настройки процесса) и размах (анализ рассеяния значений показателя качества).

Контрольные карты такой категории рекомендуется вести для процессов, направленных на качество конечной продукции или услуги. В качестве контролируемых необходимо выбирать показатели качества, которые показывают степень безопасности продукции, ее функциональное назначение и надежность [15]. Эти показатели для промышленной продукции обычно составляют до 15...20 % от общего числа параметров данной продукции.

Определение объема выборок. Для определения необходимого объема выборок при составлении контрольной карты применяются мгновенные выборки. В обязательном порядке в них должны входить единицы продукции, произведенные последними к моменту отбора. Основное требование к данной выборке заключается в том, что изменения в ней должны определяться только общими (случайными) причинами. Именно

поэтому условия, в которых проводились измерения, должны быть неизменными. В случае невыполнения этих условий контрольная карта неявно отличит особые причины, влияющие на изменчивость, которая будет проявляться в вариациях между выборками.

Объем выборки n варьируется в диапазоне значений от 2 до 10 и задается исходя из технических и экономических соображений. При больших затратах на измерение, например, в случае разрушающего контроля, объем выборки берется минимальным. Оптимальный объем выборки рекомендуется принимать в пределах 3-5 измерений. Данные рекомендации связаны с тем, что распределение средних арифметических значений при таком объеме начинает подчиняться близкому к нему распределению, если даже разделение самого контролируемого показателя качества отличается от нормального.

На стадии создания карт объем выборок должен быть постоянным. Каких-то конкретных численных рекомендаций по определению периодичности набора выборок не существует, поскольку процессы могут быть самыми различными и отличаться длительностью реализации.

Для начальной стадии анализа выборки желательно брать чаще. После построения КК на стадии текущего контроля процесса имеет

смысл изменить шаг между выборками до разумной величины.

Для выявления свойств процесса число выборок рекомендуется использовать не менее 20, которые содержат в себе 100 или более значений. Например, если объем выборки составляет 4 измерения, то число выборок должно быть не менее 25; если объем выборки включает 5 измерений, то достаточно использовать 20 выборок.

Используемые шкалы для контрольных карт. Горизонтальная ось на графиках средних и размахов на КК показывает номера выборок. Масштаб по оси значений среднего арифметического (вертикальная ось) выбирается таким образом, чтобы разность между верхним и нижним краями шкалы была в 1,5–2 раза больше величины изменчивости показателя. Для карты размахов вертикальная ось должна иметь значения от нуля до полутора двукратного наибольшего размаха.

Пример заполнения контрольной карты представлен на рисунке 2. Для анализа процесса было собрано 20 выборок по 5 измерений показателя качества в каждой. Значения выборок вписывались в таблицу в нижней части карты. Для каждой выборки идет учет по дате и времени взятия выборки. В данном примере показатели собирались в течение 4 дней по 5 выборок в день с периодичностью 2 часа.

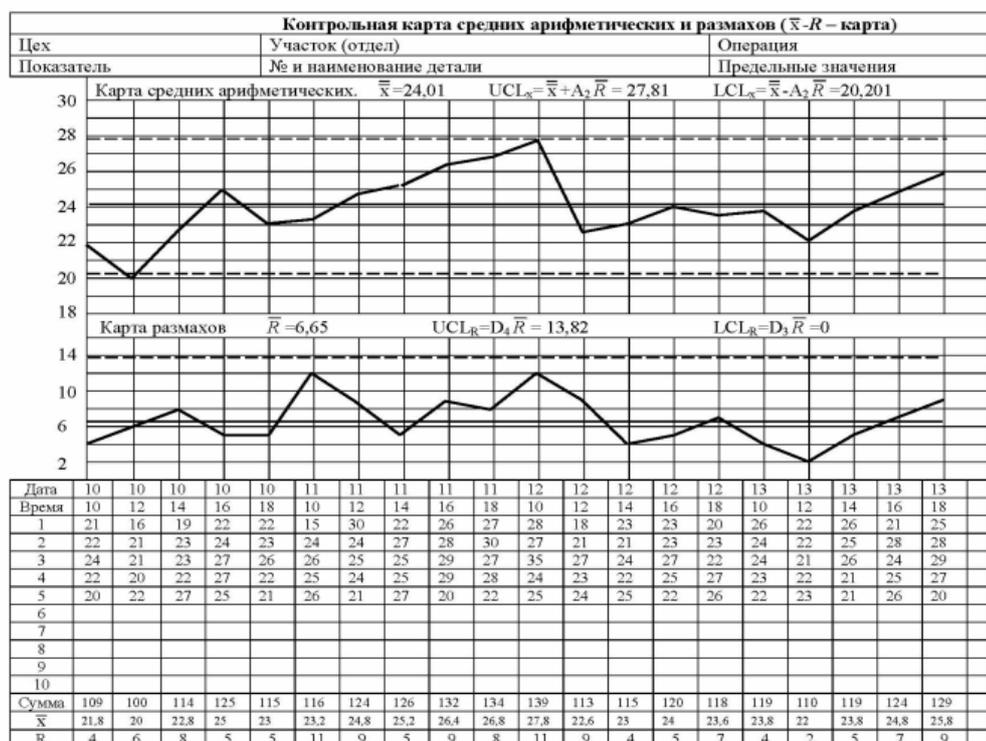


Рис. 2. Пример контрольной карты

Fig. 2. Example of a control card

Для каждой выборки определяется сумма всех значений показателя, входящих в выборку, среднее значение показателя в выборке x и размах R как разница между максимальным и минимальным значениями показателя в выборке. Результаты вычислений заносятся в ячейки таблицы. Значения средних и размахов наносятся на соответствующие карты. Точки соединяются линией, чтобы наглядно был виден ход изменений. Если при анализе результатов некоторые точки значительно выше или ниже других, то необходимо удостовериться в правильности их вычислений и нанесения на график.

Результаты определения контрольных границ размеров заготовок стволов

В работе проведено экспериментальное исследование по расчету контрольной карты на деталь «ствол» от самозарядного гладкоствольного ружья, где учитывались показатели в течение 6 дней. По ним выведена карта средних арифметических значений и карта размаха, по которой видно, что в определенный промежуток произошел разброс показателей размеров, связанный с переточкой инструмента и корректировкой программы (рис. 3).

Далее в процессе исследования изучен ряд заготовок стволов до радиального обжатия в указанных размерах (рис. 4). В качестве измеряемых параметров выбраны размеры заготовок. В ходе анализа размеров по указанным сечениям на эскизах заготовки изделия типа «ствол» проверены 3 размера на заготовке доковки. Результаты замеров занесены в таблицу. На основании замеров были рассчитаны верхние (UCL) и нижние (LCL) контрольные границы, построены графики изменения размеров в выборках.

Затем определены средние значения выборки и среднее значение от всех выборок. Также определены размахи выборок и средний размах. Для карты средних арифметических значений выборки посчитаны верхняя контрольная граница (UCL_x) и нижняя контрольная граница (LCL_x). На основе полученных результатов построена карта средних арифметических, в которую внесены данные средних значений выборок (X_{cp}), среднее значение от всех выборок (X_{cp}), верхняя контрольная граница (UCL_x), нижняя контрольная граница (LCL_x), максимальный (T_B) и минимальный (T_H) допустимые пределы размеров. Также для карты рассеивания посчитано среднее значение рассеивания выборок (R_{cp}) и верхняя контрольная граница (UCL_r). Нижняя контрольная граница рассеивания для выборок,

где число наблюдаемых значений в группе меньше 6, принимается за 0.

Анализ внутреннего диаметра заготовки размера 17,9^{+0,9}. При контроле полученных заготовок по контрольному образцу обнаружены заготовки с дефектами поверхности (выделены темным цветом в таблице), такими как разнотонность, бочкообразность, корсетность, что является браком. Выделенные светлым цветом в таблице ячейки содержат значения, вышедшие за поле допуска.

Выделенные в таблице 1 темным цветом ячейки содержат значения, вышедшие за поле допуска. Из 80 проверенных заготовок 28 % получились с браком. Из них 12 % «убитых» и 16 % «недоделанных» заготовок.

X_{cp} – средний объем выборки (анализ уровня настройки процесса).

R – размах выборки (анализ рассеяния значений показателя качества).

По полученным данным построены карты средних арифметических и карта рассеивания (рис. 6, 7).

Выделены размеры, выходящие за поле допуска

Среднее арифметическое для выборок $X_{cp} = 18,24$

Средний размах $R_{cp} = 1,02$

Контрольные границы для среднего арифметического

Верхняя контрольная граница:

$$UCLx_{cp} = X_{cp} + A_2 R_{cp} = 18,24 + 0,729 \cdot 1,02 = 19.$$

Нижняя контрольная граница:

$$LCLx_{cp} = X_{cp} - A_2 R_{cp} = 18,24 - 0,729 \cdot 1,02 = 17,5.$$

Верхняя контрольная граница для размаха:

$$UCLR_{cp} = D_4 R_{cp} = 2,282 \cdot 1,02 = 2,3,$$

где $A_2 = 0,729$, $D_4 = 2,282$ – коэффициенты, зависящие от объема выборки.

Выделенные в таблице 2 темным цветом ячейки содержат значения, вышедшие за поле допуска. Из 80 проверенных заготовок 4 % получились с браком.

X_{cp} – средний объем выборки (анализ уровня настройки процесса).

R – размах выборки (анализ рассеяния значений показателя качества).

По полученным данным построены карта средних арифметических и карта рассеивания (рис. 9, 10).

Цех 36		Цех		Участок		Операция 490		Оператор	
Показатель		№ детали		№ детали		предельное значение		Дата	
Контрольная карта средних арифметических и размахов \bar{x} -R- карта									
Карта средних арифметических. $\bar{\bar{x}} = 6,1182$ $UCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + A2\bar{R} = 6,1182 + 0,419 \times 0,0312 = 6,1312$ $UCL_L = \bar{\bar{x}} - A2\bar{R} = 6,1182 - 0,419 \times 0,0312 = 6,1051$									
Карта размахов $\bar{R} = 0,0312$ $UCL_R = D4\bar{R} = 1,924 \times 0,0312 = 0,06$ $UCL_L = D3\bar{R} = 0,0076 \times 0,0312 = 0,00023$									
Дата	10.00Т	11.00Т	12.00Т	13.00Т	13.00Т	13.00Т	14.00Т	14.00Т	
время	14:00	15:00	14:00	13:50	14:00	14:00	13:40	14:00	
1	6,127	6,1166	6,1203	6,1218	6,1212	6,1212	6,6112		
2	6,1188	6,1144	6,1107	6,1069	6,1069	6,6182	6,6221		
3	6,1391	7,0996	6,1131	6,1105	6,6391	6,6214			
4	6,1127	6,1455	6,0957	6,1217	6,6123	6,6431			
5	6,6165	6,1032	6,1091	6,1276	6,631	6,6112			
6	6,364	6,1251	6,1217	6,1338	6,6221	6,6272			
7	6,6118	6,1134	6,101	6,1237	6,6132	6,6141			
8									
9									
10									
Сумма	42,8779	42,8178	48,8808	42,846	46,348	46,3503			
$\bar{\bar{x}}$	6,1254	6,1168	6,1101	6,1208	6,1169	6,1257			
R	0,029	0,0459	0,023	0,0269	0,0448	0,031			
<p>Для объема выборки меньше 7, значение нижней границы размахов принимается равным нулю</p> <p>признак стабильности состояния процесса:</p> <ul style="list-style-type: none"> - точка за пределами контрольных границ - серия из 7 точек по одну сторону от средней линии - серия из 7 возрастающих или убывающих точек - любые другие проявления случайного поведения процесса <p>$\bar{\bar{x}}$- сумма / n R = макс значения - мин. значение n- объем выборки</p>									

Рис. 3. Схема контрольной карты на деталь «ствол» самозарядного гражданского ружья

Fig. 3. The scheme of the control card for the part "barrel" of a self-loading civilian rifle

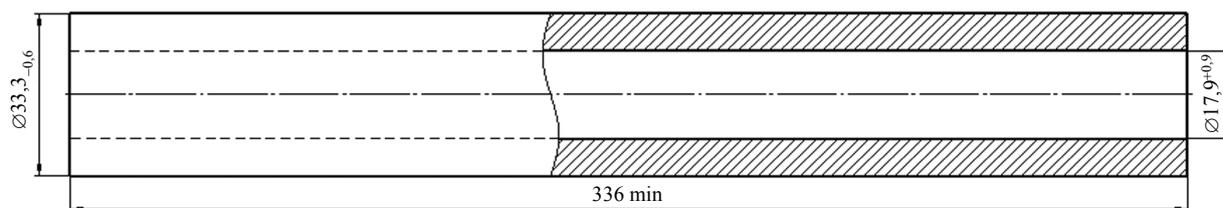


Рис. 4. Заготовка ствола до радиального обжатия

Fig. 4. Preparation of the barrel before radial compression

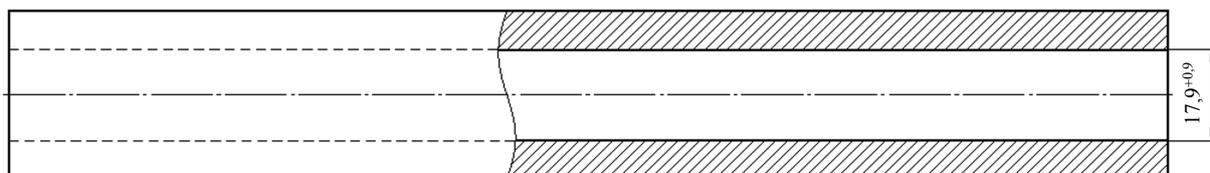


Рис. 5. Внутренний диаметр заготовки

Fig. 5. Inner diameter of the work piece

Таблица 1. Контрольные измерения внутреннего диаметра заготовки (размер 17,9^{+0,9})

Table 1. Control measurements of the inner diameter of the work piece (size 17.9^{+0.9})

		Количество измерений										
		№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Номер детали	1	18,00	18,75	18,18	19,00	18,63	17,64	17,51	18,90	18,53	17,93	17,93
	2	17,95	17,90	18,43	18,16	18,00	18,45	18,39	18,00	17,55	18,80	18,80
	3	17,93	18,00	18,09	18,02	18,01	17,96	17,53	18,05	18,28	17,40	17,40
	4	18,60	17,47	17,67	18,20	18,76	18,77	19,01	18,30	17,91	18,41	18,41
	X_{cp}	18,12	18,03	18,09	18,35	18,35	18,21	18,11	18,31	18,07	18,14	18,14
	R	0,67	1,28	0,76	0,98	0,76	1,13	1,50	0,90	0,98	1,40	1,40
		Количество измерений										
		№	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Номер детали	1	18,60	18,53	18,40	18,36	18,90	18,89	19,06	18,48	18,49	17,82	17,82
	2	18,95	18,66	18,26	17,45	18,60	17,91	17,97	17,50	19,08	18,84	18,84
	3	18,70	17,91	17,54	17,96	17,94	18,59	18,99	17,90	18,61	17,90	17,90
	4	17,90	17,90	18,42	17,49	18,33	18,78	18,18	18,79	17,95	17,99	17,99
	X_{cp}	18,54	18,25	18,16	17,82	18,44	18,54	18,55	18,17	18,53	18,14	18,14
	R	1,05	0,76	0,88	0,91	0,96	0,98	1,09	1,29	1,13	1,02	1,02



Рис. 6. Контрольная карта средних арифметических для размера 17,9^{+0,9}

Fig. 6. Control card of arithmetic averages for size 17.9^{+0.9}



Рис. 7. Контрольная карта рассеивания для размера $17,9^{+0,9}$

Fig. 7. Dispersion control card for size $17,9^{+0,9}$

Анализ размера 336 min (рис. 8, табл. 2)

Выделены размеры, выходящие за поле допуска

Среднее арифметическое для выборок

$$X_{cp} = 336,49.$$

Средний размах $R_{cp} = 0,74$.

Контрольные границы для среднего арифметического

Верхняя контрольная граница:

$$UCLx_{cp} = X_{cp} + A_2 R_{cp} =$$

$$= 336,49 + 0,729 \cdot 0,74 = 337,04.$$

Нижняя контрольная граница:

$$CLx_{cp} = X_{cp} - A_2 R_{cp} =$$

$$= 336,49 - 0,729 \cdot 0,74 = 335,95.$$

Верхняя контрольная граница для размаха:

$$UCLR_{cp} = D_4 R_{cp} = 2,282 \cdot 0,74 = 1,7,$$

где $A_2 = 0,729$, $D_4 = 2,282$ – коэффициенты, зависящие от объема выборки.

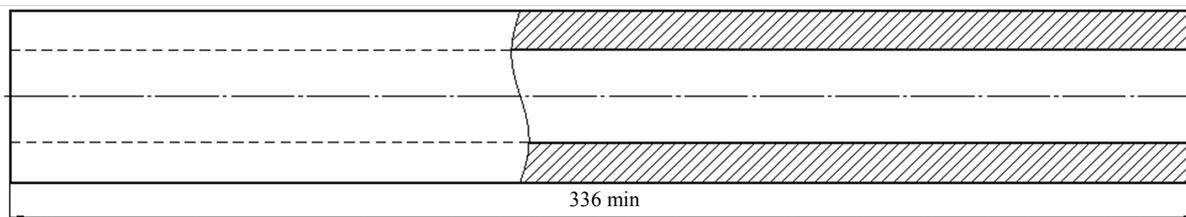


Рис. 8. Длина заготовки

Fig. 8. Billet length

Таблица 2. Контрольные измерения габаритного замера заготовки (размер 336 min)

Table 2. Control measurements of the overall measurement of the work piece (size 336 min)

	№	Количество измерений									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Номер детали	1	336,80	336,00	336,40	336,10	336,60	336,80	337,00	336,40	335,70	336,50
	2	336,00	336,00	336,90	336,30	336,60	335,80	336,60	336,50	336,10	336,40
	3	336,80	336,60	336,10	336,60	336,10	337,00	336,20	336,80	336,40	336,20
	4	336,60	336,50	336,00	337,00	336,10	336,60	336,60	336,10	336,60	336,60
	X_{cp}	336,55	336,28	336,35	336,50	336,35	336,55	336,60	336,45	336,20	336,43
	R	0,80	0,60	0,90	0,90	0,50	1,20	0,80	0,70	0,90	0,40

Окончание табл. 2

Table 2 (continued)

		Количество измерений										
		№	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Номер детали	1	336,30	336,30	336,10	336,10	336,00	336,90	336,30	336,90	336,60	337,00	
	2	336,90	336,90	336,80	336,60	336,80	336,70	337,00	335,80	336,20	336,40	
	3	336,00	336,80	336,00	336,60	336,80	336,60	336,40	336,70	336,60	336,80	
	4	336,80	336,50	336,70	336,40	336,90	337,00	336,50	336,40	336,90	336,50	
	X_{cp}	336,50	336,63	336,40	336,43	336,63	336,80	336,55	336,45	336,58	336,68	
	R	0,90	0,60	0,80	0,50	0,90	0,40	0,70	1,10	0,70	0,60	

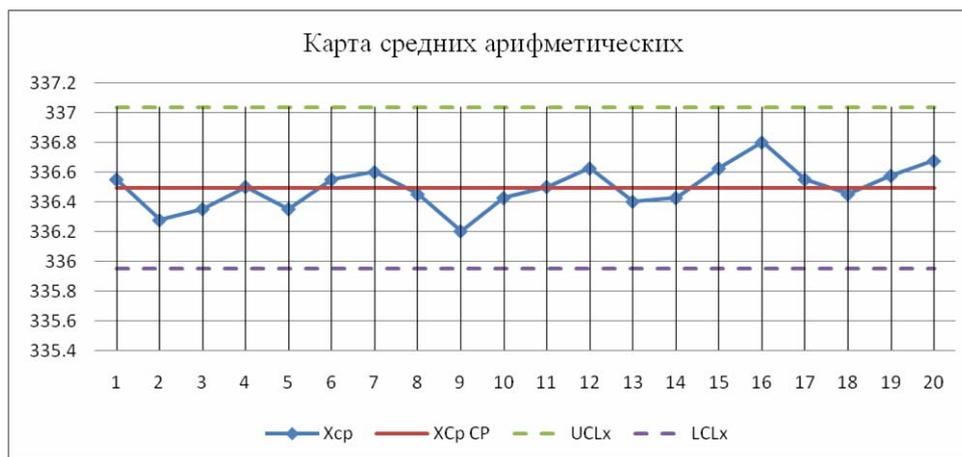


Рис. 9. Контрольная карта средних арифметических для размера 336 min

Fig. 9. Control card of arithmetic averages for size 336 min



Рис. 10. Контрольная карта рассеивания для размера 336 min

Fig. 10. Dispersion control card for size 336 min

Анализ размера 33,3_{-0,6} (рис. 11, табл. 3)

Выделенные в таблице 3 темным цветом ячейки содержат значения, вышедшие за поле допуска. Из 80 проверенных заготовок 31 % получились с браком. Из них 20 % «убитых» и 11 % «недоделанных» заготовок.

X_{cp} – средний объем выборки (анализ уровня настройки процесса).

R – размах выборки (анализ рассеяния значений показателя качества).

По полученным данным построена карта средних арифметических и карта рассеивания (рис. 12, 13).

Выделены размеры, выходящие за поле допуска

Среднее арифметическое для выборок

$$X_{cp\text{cp}} = 33,05.$$

Средний размах $R_{cp} = 0,7$.

Контрольные границы для среднего арифметического

$$LCLx_{cp} = X_{cp,cp} - A_2 R_{cp} = 33,05 - 0,729 \cdot 0,7 = 32,54.$$

Верхняя контрольная граница:

Верхняя контрольная граница для размаха:

$$UCLx_{cp} = X_{cp,cp} + A_2 R_{cp} = 33,05 + 0,729 \cdot 0,7 = 33,56.$$

$$UCLR_{cp} = D_4 R_{cp} = 2,282 \cdot 0,7 = 1,6,$$

Нижняя контрольная граница:

где $A_2 = 0,729$, $D_4 = 2,282$ – коэффициенты, зависящие от объема выборки.

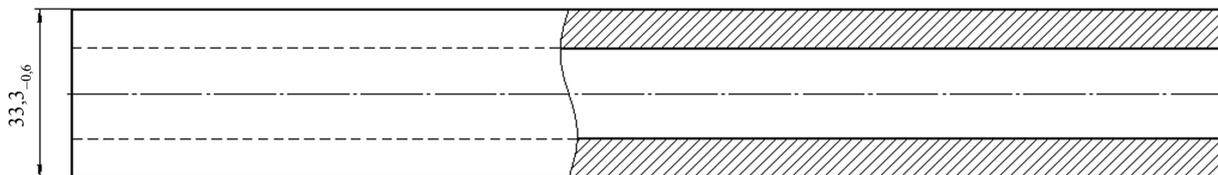


Рис. 11. Наружный диаметр заготовки

Fig. 11. The outer diameter of the work piece

Таблица 3. Контрольные измерения наружного диаметра заготовки (размер 33.3_{-0.6})

Table 3. Control measurements of the outer diameter of the work piece (size 33.3_{-0.6})

		Количество измерений										
		№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Номер детали	1	33,30	33,59	32,76	32,91	32,43	33,48	33,75	32,57	33,20	33,46	
	2	32,73	33,79	32,98	33,09	33,18	32,77	32,97	33,06	33,04	33,02	
	3	33,14	33,28	32,81	32,77	32,80	33,13	32,79	32,73	32,38	32,93	
	4	33,39	33,07	32,35	32,60	33,56	33,05	33,25	32,72	32,99	33,57	
	X_{cp}	33,14	33,43	32,73	32,84	32,99	33,11	33,19	32,77	32,90	33,25	
	R	0,66	0,72	0,63	0,49	1,13	0,71	0,96	0,49	0,82	0,64	
		Количество измерений										
		№	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Номер детали	1	33,73	33,09	32,63	32,53	33,11	33,07	32,56	32,67	33,37	33,29	
	2	32,80	33,36	33,17	33,14	33,05	32,80	32,95	32,98	32,70	33,01	
	3	32,90	33,13	32,83	33,22	33,12	33,06	33,56	33,03	33,09	33,05	
	4	33,66	33,00	32,61	33,30	32,52	33,51	32,84	33,34	33,62	33,18	
	X_{cp}	33,27	33,15	32,81	33,05	32,95	33,11	32,98	33,01	33,20	33,13	
	R	0,93	0,36	0,56	0,77	0,60	0,71	1,00	0,67	0,92	0,28	



Рис. 12. Контрольная карта средних арифметических для размера 33.3_{-0.6}

Fig. 12. Control card of arithmetic averages for size 33.3_{-0.6}



Рис. 13. Контрольная карта рассеивания для размера $33,3_{-0,6}$

Fig. 13. Dispersion control card for size $33.3_{-0,6}$

Анализ результатов в явном виде свидетельствует о нестабильности процессов в части контрольных размеров геометрии исследуемых заготовок, что отражается на качестве продукции и на количестве брака [16]. Исходя из анализа полученных карт изготовления заготовок доковки можно сделать предположение, что причинами брака является значительный разброс контролируемых геометрических размеров заготовок, что может быть вызвано следующими факторами [17–19]:

- ухудшение качества материала заготовок;
- износ оправки;
- износ ковочной машины;
- износ контрольных калибров;
- человеческий фактор (усталость рабочего, ухудшение навыков).

Ранее проведенные исследования [20] однородности материала заготовок стволов акустическими и электромагнитными методами показали высокую чувствительность измеряемых информативных параметров ультразвуковых волн, скоростей волн и рассчитанных на их основе упругих модулей к неоднородностям материала в отдельных сечениях по длине заготовок стволов, что может быть обусловлено нарушениями технологических процессов обработки. Показано, что скорости продольной и поперечной волн различны в разных сечениях заготовок, что вызвано неоднородностью остаточных напряжений и структуры металла вследствиековки и обжатия. Например, разброс скорости продольных волн по длине заготовки достигает 36 м/с (5907...5943 м/с). Наблюдались также отклонения измеренных значений электропроводности по длине и окружности заготовок до 5 %, а также неравномерность значений коэрцитивной силы до 0,7 А/см по окружности заготовок.

Выявлено, что в процессе производства в брак отправляется много заготовок после развертки внутреннего диаметра канала ствола. Для устранения брака было предложено ввести новые развертки.

а также неравномерность значений коэрцитивной силы до 0,7 А/см по окружности заготовок.

Выводы

Проанализированы отклонения размеров по указанным сечениям на заготовках ружейных стволов доковки изделия, проверены 3 размера на заготовках доковки. На основании результатов измерений рассчитаны верхние и нижние контрольные границы, построены графики изменения размеров в выборках.

Анализ размера 17,9 доковки показал, что из 80 проверенных заготовок 28 % оказались с браком. При анализе размера 336 min получено, что из 80 проверенных заготовок 4 % имеют брак. Анализ размера 33,3 показал, что из 80 проверенных заготовок 31 % оказались с браком.

Согласно полученным результатам исследования для улучшения качества продукции и уменьшения брака при производстве следует реализовать перечень следующих мероприятий:

- пересмотреть материал, поставляемый на производство и улучшить качество его приема неразрушающими методами контроля;
- модернизировать или заменить текущее оборудование на современное;
- повысить квалификацию рабочего персонала и уменьшить влияние человеческого фактора на процесс;
- ввести развертку с базированием по обработанной поверхности ствола.

Библиографические ссылки

1. Михайлов Л. Е., Изметинский Н. Л. Ижевские охотничьи ружья. Ижевск : Удмуртия, 1982. 260 с.
2. Вагнер Г. Какой ствол лучше // Российский оружейный журнал «Калашников». 2013. № 2. 78 с.
3. Писарев С. А., Чирков Д. В. О системности процессов проектирования и конструирования оружия, подготовки оружейников, опосредованно связанных с обеспечением военной безопасности страны // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2018. № 7-8 (121-122). С. 3–10.
4. Бирюков А. Б., Иванова А. А. Современное состояние и направления развития технологии непрерывной разливки круглой заготовки // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2020. Т. 76, № 6. С. 573–585. DOI 10.32339/0135-5910-2020-6-573-585
5. Бахтадзе Г. Э., Голнев В. С. Влияние настрела на возможность идентификации гладкоствольного огнестрельного оружия по следам на снарядах // Вестник Самарской гуманитарной академии. Серия: Право. 2020. № 1(24). С. 104–115.
6. Сакен Толганай Мараткызы, Есенкулова Жаухар Жургеновна. Анализ зарубежных стандартов на статистические методы в менеджменте производительности процессов для разработки и внедрения в соответствии с законодательством Республики Казахстан // Точная наука. 2019. № 48. С. 12–14.
7. Власкин Г. А. Диверсификация ОПК как приоритетное направление построения высокотехнологичной отечественной промышленности // Вестник ИЭ РАН. 2019. № 5. С. 97–113. DOI: 10.24411/2073-6487-2019-10061
8. Мешков С. А., Кутцов П. В., Иванова О. Ю. Обеспечение качества продукции на промышленном предприятии // Петербургский экономический журнал. 2022. № 3-4. С. 69–74.
9. Гайнуллина И. А., Хисамова Э. Д. Контроль качества по стадиям жизненного цикла продукции // Вестник науки. 2019. Т. 1, № 6(15). С. 106–115. EDN YJEPJC.
10. Григорьева Е. Ю., Денисова Я. В. Применение статистических методов для повышения контроля качества выпускаемой продукции // Вестник Технологического университета. 2019. Т. 22, № 6. С. 118–122. EDN NIKVCN.
11. Спиридонова А. А., Хомутова Е. Г. Риск-ориентированный подход в системе менеджмента качества промышленного предприятия: проблема выборки методов управления рисками // Организатор производства. 2017. Т. 25, № 2. С. 92–100. DOI: 10.2506/1810-4894-2017-25-2-92-100
12. Розенталь О. М. Методы риск-менеджмента в обеспечении контроля качества продукции // Методы менеджмента качества. 2019. № 7. С. 22–29. EDN IYMBGT.
13. Морозова А. Е., Юраков Н. С., Юракова Т. Г. Применение контрольных карт Шухарта для статистического контроля качества деталей // Современные материалы, техника и технологии. 2018. № 6(21). С. 68–72.
14. Вавилова М. И., Курносоев А. О., Мельников Д. А. Статистическая обработка результатов выходного контроля препрега стеклопластика для оценки стабильности его производства // Труды ВИАМ. 2017. № 9(57). С. 10. DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-9-10-10. EDN ZFAYEB.
15. Шарапкина Т. П., Глухова Т. В. Нормативно-техническое обеспечение средств и методов качества // Качество. Инновации. Образование. 2021. № 3 (173). С. 37–41.
16. Аксенова Ж. А. Контрольные карты Шухарта как инструмент управления качеством готовой продукции // Экономика и предпринимательство. 2019. № 7 (108). С. 1184–1188.
17. Носов В. В. Контроль качества заготовок для горячего проката // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2017. № S5-2. С. 247–255.
18. Оценка перспектив упрочняющей обработки поверхности канала ствола / В. Ф. Пегашкин, А. А. Пыстогоев, Г. Е. Трекин, Г. И. Астафьев // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2019. № 1 (106). С. 104–107.
19. Загайнов М. А., Костенко Е. А. Применение окончательных видов обработки для чистки каналов стволом после выстрела // Spirittime. 2020. № 8-1 (32). С. 34–36.
20. Акустические и электромагнитные свойства заготовок стволов гражданских ружей / В. В. Муравьев, О. В. Муравьева, Т. Р. Вагапов [и др.] // Интеллектуальные системы в производстве. 2023. Т. 21, № 1. С. 59–70. DOI: 10.22213/2410-9304-2023-1-59-70. EDN KBBVGW.

References

1. Mikhailov L.E., Izmetinsky N.L. (1982) *Izhevskie ohotnichьи ruzhья* [Izhevsk hunting rifles]. Izhevsk : Udmurtia Publ., 1982, 260 p. (in Russ.).
2. Wagner G. (2013) [Which trunk is better]. *Rossijskij oruzhejnyj zhurnal «Kalashnikov»*, 2013, no. 2, 78 p. (in Russ.).
3. Pisarev S.A., Chirkov D.V. (2018) [On the consistency of the processes of designing and constructing weapons, training gunsmiths, indirectly related to ensuring the military security of the country]. *Voprosy oboronnoj tehniki. Serija 16: Tehnicheskie sredstva protivodejstvija terrorizmu*, 2018, no. 7-8, pp. 3-10 (in Russ.).
4. Biryukov A.B., Ivanova A.A. (2020) [The current state and directions of development of the technology of continuous casting of round billets]. *Chernaja metallurgija. Bjulleten' nauchno-tehnicheskoy i jekonomicheskoy informacii*, 2020, vol. 76, no. 6, pp. 573-585 (in Russ.). DOI: 10.32339/0135-5910-2020-6-573-585
5. Bakhtadze G.E., Golenev V.S. (2020) [The influence of the barrel on the possibility of identifying smooth bore fire arms by traces on shells]. *Vestnik Samarskoj gumanitarnoj akademii. Serija: Pravo*, 2020, no. 1, pp. 104-115 (in Russ.).

6. Saken Tolganai Maratkyzy, Yesenkulova Zhauhar Zhurgenova (2019) [Analysis of foreign standards for statistical methods in process performance management for development and implementation in accordance with the legislation of the Republic of Kazakhstan]. *Tochnaja nauka*, 2019, no. 48, pp. 12-14 (in Russ.).

7. Vlaskin G.A. (2019) [Diversification of the defense industry as a priority direction of building a high-tech domestic industry]. *Vestnik IJe RAN*, 2019, no. 5, pp. 97-113 (in Russ.). DOI: 10.24411/2073-6487-2019-10061

8. Meshkov S.A., Kuptsov P.V., Ivanova O.Yu. (2022) [Product quality assurance at an industrial enterprise]. *Peterburgskij jekonomicheskij zhurnal*, 2022, no. 3-4, pp. 69-74 (in Russ.).

9. Gainullina I.A., Hisamova E.D. (2019) [Quality control by stages of the product life cycle]. *Vestnik nauki*, 2019, vol. 1, no. 6, pp. 106-115 (in Russ.). EDN YJEPJC.

10. Grigorieva E.Yu., Denisova Ya.V. (2019) [The use of statistical methods to improve the quality control of products]. *Vestnik Tehnologicheskogo universiteta*, 2019, vol. 22, no. 6, pp. 118-122 (in Russ.). EDN NIKVCN.

11. Spiridonova A.A., Khomutova E.G. (2017) [Risk-oriented approach in the quality management system of an industrial enterprise: the problem of sampling risk management methods]. *Organizator proizvodstva*, 2017, vol. 25, no. 2, pp. 92-100 (in Russ.). DOI: 10.2506/1810-4894-2017-25-2-92-100

12. Rosenthal O.M. (2019) [Methods of risk management in ensuring product quality control]. *Metody menedzhmenta kachestva*, 2019, no. 7, pp. 22-29 (in Russ.). EDN IYMBGT.

13. Morozova A.E., Rakov N.S., Yurakova T.G. (2018) [Application of Shuhart control cards for statisti-

cal quality control of parts]. *Sovremennye materialy, tehnika i tehnologii*, 2018, no. 6, pp. 68-72 (in Russ.).

14. Vavilova M.I., Kurnosov A.O., Melnikov D.A. (2017) [Statistical processing of the results of the output control of a fiberglass prepreg to assess the stability of its production]. *Trudy VIAM*, 2017, № 9, pp. 10 (in Russ.). DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-9-10-10. EDN ZFAYEB.

15. Sharashkina T.P., Glukhova T.V. (2021) [Regulatory and technical support of quality tools and methods]. *Kachestvo. Innovacii. Obrazovanie*, 2021, no. 3, pp. 37-41 (in Russ.).

16. Aksenova Zh.A. (2019) [Shuhart control cards as a tool for quality management of finished products]. *Jekonomika i predprinimatel'stvo*, 2019, no. 7, pp. 1184-1188 (in Russ.).

17. Nosov V.V. (2017) [Quality control of blanks for hot rolled products]. *Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten' (nauchno-tehnicheskij zhurnal)*, 2017, no. S5-2, pp. 247-255 (in Russ.).

18. Pegashkin V.F., Pystogov A.A., Trekin G.E., Astafyev G.I. (2019) [Evaluation of prospects for strengthening the surface treatment of the bore]. *Izvestija Rossijskoj akademii raketnyh i artillerijskih nauk*, 2019, no. 1, pp. 104-107 (in Russ.).

19. Zagainov M.A., Kostenko E.A. (2020) [Application of the final types of treatment for cleaning the barrel channels after a shot]. *Spirittime*, 2020, № 8-1, pp. 34-36 (in Russ.).

20. Murav'ev V.V., Murav'eva O.V., Vagapov T.R. (2023) [Acoustic and electromagnetic properties of blanks of barrels of civilian guns]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*, 2023, vol. 21, no. 1, pp. 59-70 (in Russ.). DOI: 10.22213/2410-9304-2023-1-59-70. EDN KBBVGW.

Technological Process Stability Assessment Based on the Results of Weapon Barrel Blank Dimension Control

V.V. Murav'ev, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU; Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Izhevsk, Russia
T.R. Vagapov, Post-graduate, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

The technological process of barrel manufacturing begins with the operation of stitching the rods to create a channel in the workpiece. Due to the effect of significant mechanical loads on the workpiece, inhomogeneities occur in cross-section in the form of deviations in diameter. To ensure the stability of the process, it is necessary to analyze the quality indicators in the manufacture of blanks.

Product quality improvement consists in the continuous improvement of technological processes, the evaluation criteria of which are quality indicators, for example, according to the geometric dimensions of products. The company gains competitive advantage when the indicators remain stable over time and meet all the stated requirements in the regulatory documentation. process stability is defined as an indicator that ensures the constancy of the probability distributive law of its parameters for a certain period of time.

Currently, there is no quality indicator of products or services that have absolute stability. The variability of the indicator is influenced by a fairly wide range of different indicators: the difference in the mechanical characteristics of the source material and workpieces, the wear of technical equipment (fixtures, equipment, tools), changes in environmental conditions, the level of qualification of working personnel, etc. Depending on the degree of influence of these factors, there will be instability in the values of quality indicators.

To determine the reasons for the quality indicator spreading, studies were conducted on the example of blanks of rifle barrels. In the course of the study, the method of Shuhart control charts was used to determine the causes of deviations unambiguously. This method made it possible to construct a time schedule for changing the parameters of the process of obtaining barrel blanks before forging to carry out statistical control of its stability.

The values of the critical geometric dimensions of the barrel blanks before forging were measured. Deviations of the obtained values from the required parameters were found, which indicates a violation and instability of the process of manufacturing the barrel blanks.

Keywords: rifle barrel blanks, control maps, geometric parameters, product quality.

Получено 23.08.2023

Образец цитирования

Муравьев В. В., Вагапов Т. Р. Оценка стабильности технологического процесса по результатам контроля размеров заготовок оружейных стволов // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2023. Т. 26, № 3. С. 53–66. DOI: 10.22213/2413-1172-2023-3-53-66.

For Citation

Murav'ev V.V., Vagapov T.R (2023) [Technological Process Stability Assessment Based on the Results of Weapon Barrel Blank Dimension Control]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2023, vol. 26, no. 3, pp. 53-66 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2023-3-53-66.