

Неравномерность погонных сил по длине валков и полосы

Установлена закономерность распределения погонных сил в многовалковой клети в зависимости от силы деформации, ширины полосы и относительной длины межвалкового контакта. Установлены условия, при которых наблюдается минимальная неравномерность распределения погонных сил.

Ключевые слова: прокатка, погонная сила, модель расчета, полоса, обжатие

В работах [1-6 и других] представлены результаты исследований упругих деформаций и напряжений в контакте рабочего и опорного валков, а также пластических деформаций по ширине контакта полосы и рабочего валка. В этих исследованиях установлено, что закономерности изменения упругих деформаций валков и погонных сил по ширине полосы в значительной степени обусловлены закономерностями распределения абсолютного (относительного) обжатия. В свою очередь, характер изменения обжатия по ширине полосы формируется величинами прогибов валков, их профилировкой, поперечным профилем исходного подката, наличием уширения на кромках полосы, противоизгиба валков и натяжения полосы. Таким образом, если эпюра относительных обжатий по ширине полосы имеет выпуклый вид (максимум по оси полосы), то радиальные упругие деформации валков и погонные силы также будут максимальны по оси (независимо от ширины полосы). Распределение погонных сил по ширине полосы в указанных работах исследовали при помощи точечных месдоз, вмонтированных в тело валка. Нарушение сплошности валка вставками месдоз снижает его прочность и несколько искажает данные по упругим деформациям валков и полосы.

В работах [7, 8] предложен и исследован способ экспериментального определения прогиба и радиального сплющивания валков, который может быть использован в лабораторных и промышленных условиях. Способ основан на определении различия высотных деформаций при прокатке полосы, составленной из двух материалов. Основная полоса шириной B изготовлена из прочного материала (сталь, медь), а вставки – из менее прочного металла (алюминий, свинец). В работах [8, 9] неравномерность распределения межвалковых сил определяли по отпечаткам межвалкового контакта, рассчитывая с помощью выражения

$$n_q = \frac{q_i}{q_0} = \frac{a_i}{a_0}, \quad (1)$$

где a_0 и a_i – длина отпечатка по направлению прокат-

ки по оси полосы и в любом ином продольном сечении; q_0 и q_i – погонные межвалковые силы по оси и в любом ином продольном сечении межвалкового контакта (сила на единицу длины физического межвалкового контакта).

В исследованиях [8, 9] установлено лишь влияние профилировки опорного валка на неравномерность распределения межвалковых сил.

В предлагаемых исследованиях представлены закономерности влияния длины активной образующей опорного валка (пластина 2), ширины деформируемой полосы 4 и силы деформирования (величины обжатия). Исследования выполнены на модели шестивалковой клети (рис. 1), опорные валки кото-

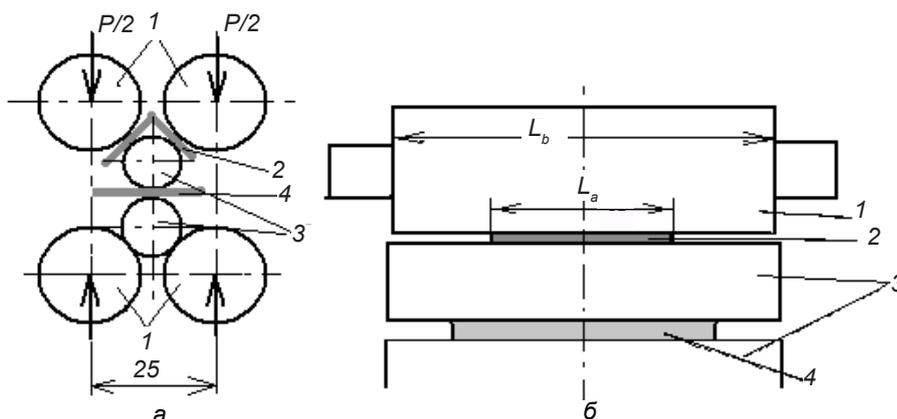


Рис. 1. Схема расположения валков (а) и вид по осям опорного и рабочего валков (б): 1 – опорные валки; 2 – межвалковая пластина; 3 – рабочие валки; 4 – деформируемая полоса

рой установлены в подушках, а рабочие валки располагали между опорными валками. Диаметр опорного валка (мм) $D_{оп} = 22$, а рабочего $D_p = 10$; длина бочек валков $L_b = 100$. Размеры межвалкового контакта фиксировали пластинами 2 различной ширины из упрочненного алюминия толщиной (h_2) 0,5 мм, а размеры контакта рабочих валков с полосой – алюминиевыми отожженными полосами толщиной $h_4 = 1,0$ мм. Полосы 2 имели длину (L_a) 40, 50, 60 и 80 мм и имитировали длину активной образующей опорного валка, а деформируемые полосы 4 представляли прокатываемую полосу, ширина B их была равна 50, 60, 70 и 80 мм. Для каждой ширины B изменяли длину L_a в пределах от 40 до 80 мм. Систему валков нагружали через подушки опорных валков на прессе УПГ 20/2 с силой $P = 8, 16, 20, 28$ кН. Размеры отпечатков измеряли на инструментальном микроскопе с точностью 0,01 мм. Размеры отпечатков

замеряли по длине L_a (со стороны опорного вала) и ширине B полосы 4 в пяти точках: по оси валков, на расстоянии 2 мм от краев и на расстоянии $0,25L_a$ (B). Неравномерность погонных сил в контакте пластины 2 с опорным валком q_i (q_0) определяли по зависимости (1), а на контакте полосы 4 с рабочими валками – по формуле

$$n_p = \frac{p_i}{p_0} = \frac{b_i}{b_0}, \quad (2)$$

где b_0 и b_i – длина отпечатка по направлению прокатки по оси и в любом ином продольном сечении B_i полосы 4; p_0 и p_i – нормальные погонные силы по оси и в любом ином сечении ширины B_i полосы 4 (сила на единицу ширины полосы).

Результаты исследований представлены на рис. 2-4. Из рис. 2 следует, что при $P = 8$ кН, $B/L_b = 0,5$, для $L_a/L_b < 0,65$ распределение погонной силы по ширине полосы близко к равномерному.

При этом в случае $L_a/L_b = 0,4$ (то есть когда $B > L_a$) погонная сила больше на краю полосы и отношение $p_1/p_0 = 1,05$. Увеличение длины активного межвалкового контакта ($L_a/L_b > 0,65$) вызывает увеличение неравномерности распределения погонной силы, которая при $L_a/L_b = 0,8$ максимальна по оси полосы, а отношение $p_1/p_0 \approx 0,77$. При $P = 16$ кН и $B/L_b = 0,5$ погонная сила на полюсу практически не зависит от параметра L_a/L_b , и отношение p_1/p_0 находится в пределах 0,95...1,05. Получение $p_1/p_0 > 1,05$ обусловлено тем, что при $B > L_a$ и небольшой силе деформации P прогиб опорных валков, становится несколько большим, чем рабочих валков, и величина обжатия краевых участков полос 4 оказывается больше, чем по оси рабочих валков.

При всех других условиях деформации максимальная неравномерность погонной силы имеет место при $L_a/L_b = 0,4$, когда $p_1/p_0 \approx 0,3...0,8$. Очевидно, в этом случае краевые участки полосы получают меньшее обжатие вследствие $B > L_a$ и возможного противопологиб рабочих валков.

Из рис. 2 следует, что по мере увеличения длины активной части L_a опорного вала и уменьшения ширины B полосы 4 коэффициент n_p увеличивается, что свидетельствует

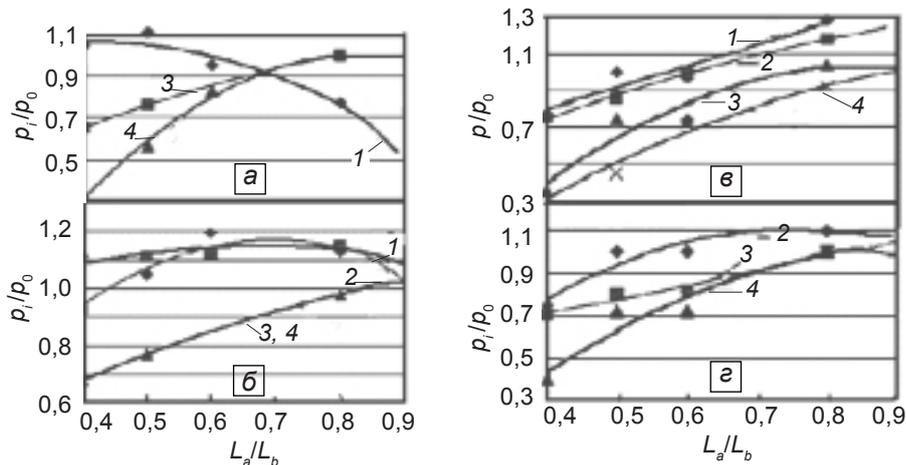


Рис. 2. Изменение p_i/p_0 по длине рабочих валков в зависимости от длины активной образующей опорных валков L_a/L_b при B/L_b : 1 – 0,5; 2 – 0,6; 3 – 0,7; 4 – 0,8 ($P = 8$ (а), 16 (б), 20 (в), 28 (г), кН)

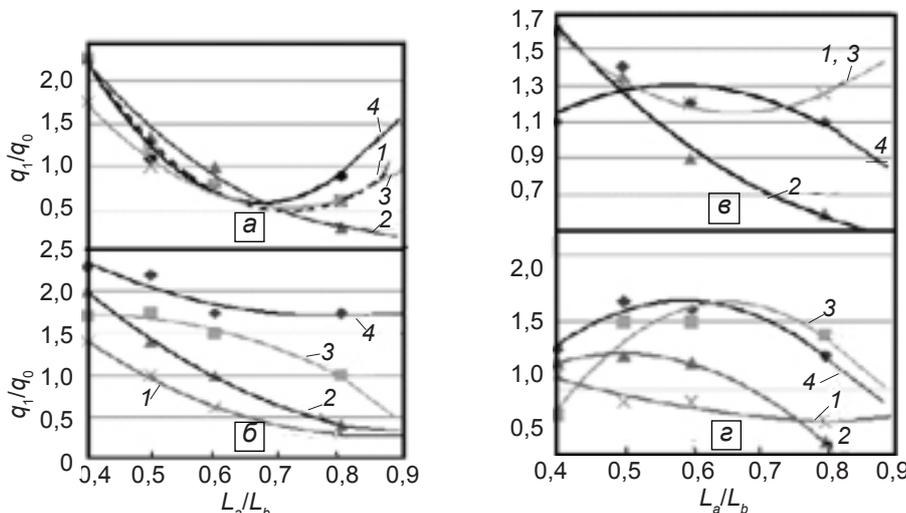


Рис. 3. Изменение q_i/q_0 на межвалковом контакте в зависимости от длины активной образующей опорных валков L_a/L_b при B/L_b : 1 – 0,5; 2 – 0,6; 3 – 0,7; 4 – 0,8 ($P = 8$ (а), 16 (б), 20 (в), 28 (г) кН)

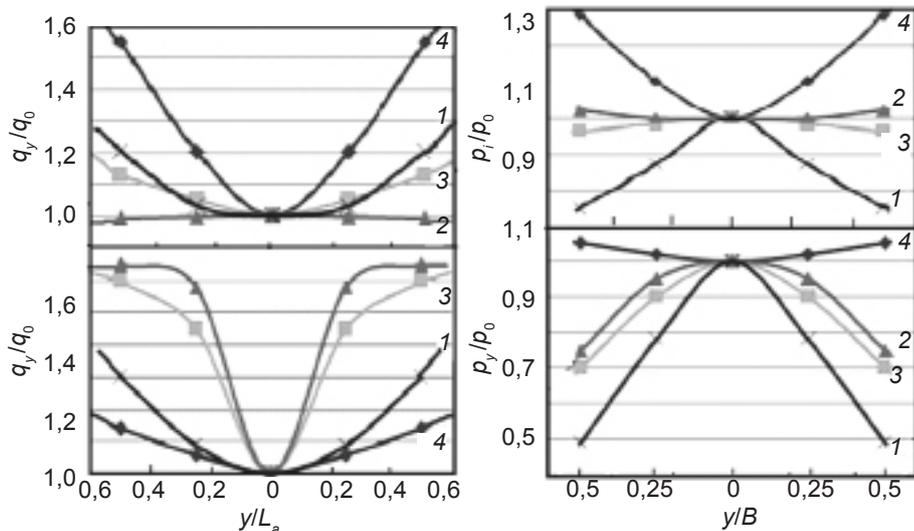


Рис. 4. Изменение неравномерности погонных сил на межвалковом контакте (шкала y/L_a) и на контакте полосы с рабочим валком (шкала y/B) при активной длине бочки опорного вала L_a/L_b : 1 – 0,4; 2 – 0,5; 3 – 0,6; 4 – 0,8 ($P = 20$ при $B/L_b = 0,5$; $P = 28$ при $B/L_b = 0,8$)

о выравнивании погонных сил p_i по ее ширине. Это имеет место при всех значениях силы $P = 8...28$ кН, но более четко указанные зависимости проявляются при большей силе воздействия на валки. Для равномерного распределения погонной силы p_i многовалкового стана наиболее целесообразно обжатие, при котором вертикальная сила $P = 16$ кН, когда коэффициент n_p для $B/L_b = 0,5...0,8$ и $L_a/L_b = 0,4...0,5$ имеет максимальные значения по сравнению с другими случаями нагружения клетки. Из данных рис. 2 также следует, что каждому значению B/L_b и силе P соответствует свое рациональное значение L_a/L_b , при котором имеет место близкое к равномерному распределение погонной силы под полосой 4 и коэффициент $n_p \approx 1,0$. Так, для силы 20...28 кН рациональные отношения L_a/L_b , $n_p \approx 1,0$ имеют следующие значения (табл. 1).

Таблица 1

Соотношение L_a/L_b для силы 20-28 кН

B/L_b	L_a/L_b	B/L_b	L_a/L_b
0,5	0,45...0,53	0,7	0,75...0,82
0,6	0,55...0,6	0,8	0,8...0,85

показано на рис. 3, с увеличением силы деформирования степень неравномерности межвалковых погонных давлений несколько уменьшается. При деформации сравнительно узких полос ($B/L_b \leq 0,6$ и $L_a/L_b = 0,6...0,8$) коэффициент неравномерности $n_q < 1$, что соответствует выпуклой эпюре межвалковых погонных сил. Зависимости для n_p и n_q на рис. 2, 3 аппроксимируются единым выражением

$$n_p(n_q) = a + b \frac{L_a}{L_b} + c \left(\frac{L_a}{L_b} \right)^2, \quad (3)$$

где a, b, c – коэффициенты, значения которых даны в табл. 2.

Минимальная неравномерность распределения межвалковых погонных сил обусловлена совместным влиянием исходных параметров и при различных величинах деформирования коэффициент $n_q \rightarrow 1,0$ (табл. 3)

Из данных таблицы следует, что, можно воздействовать на параметры прогибов валков и, следовательно, на степень неравномерности распределения межвалковых погонных сил, износ опорных валков и качество поперечного профиля полосы, варьируя

Таблица 2

Коэффициенты аппроксимаций экспериментальных зависимостей неравномерностей распределения межвалковых и погонных сил (рис. 2-4)

Параметр B/L_b	$P = 8$ кН			$P = 16$ кН			$P = 20$ кН			$P = 28$ кН			Номер рисунка, n_p, n_q
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	
0,5	0,06	1,78	-0,75	0,78	1,07	-0,78	0,35	1,09	0,68	-0,45	4,2	-2,84	n_p , рис. 2
0,6	–	–	–	–	–	–	0,10	1,88	-0,66	–	–	–	–/–
0,7	0,74	1,62	-2,00	-0,09	3,61	-2,59	0,52	-1,34	2,48	0,53	0,3	0,32	–/–
0,8	1,51	6,00	-3,57	0,22	1,35	-0,50	-0,85	3,53	-1,64	-0,73	3,7	-1,91	–/–
0,5	9,30	-24,60	17,15	4,35	-9,61	5,68	3,34	-5,24	2,27	1,47	-0,8	-0,23	n_q , рис. 3
0,6	10,30	-29,0	21,50	5,32	-1,05	5,45	–	–	–	-0,54	7,2	-7,27	–/–
0,7	6,90	-15,20	8,75	0,93	3,89	-4,77	2,15	-3,25	2,50	–	–	–	–/–
0,8	6,90	-15,20	8,75	4,46	-7,14	4,66	-0,50	0,41	-5,45	-1,40	10,0	-8,90	–/–

Контактные площадки на пластине 2 со стороны опорных валков характеризуют распределение межвалковых сил q_i . Отношение $n_q = q_i/q_0$ показывает степень неравномерности распределения межвалковых сил (q_0 – межвалковая сила по оси валков; q_1 – межвалковая сила на расстоянии 2 мм от кромок пластинок 2). Как следует из рис. 3, коэффициент n_q неравномерности межвалковой силы также является функцией геометрических параметров L_a/L_b и B/L_a , а также силы деформирования P . При небольших значениях P (8 кН) и параметра $L_a/L_b = 0,4...0,5$ вследствие противоизгиба концевых участков рабочих валков за счет действия полосы коэффициент неравномерности n_q межвалковых сил равен $n_q = 1,7...2,6$ (при $L_a < B$), то есть межвалковые силы максимальны на краевых участках активной образующей L_a опорного валка (вогнутая форма эпюры межвалковых сил). Такой же характер эпюр межвалковых сил имеет место и при силах, больших 16 кН, что соответствует результатам исследований [2, 3, 5]. Как

Величины деформирования

P , кН	B/L_b	L_a/L_b	n_q
8	0,5...0,8	0,5...0,6	1
16	0,5	0,5	1
16	0,6	0,6	1
16	0,7	0,8	1
16	0,8	0,4...0,8	> 1
20	0,5	0,4...0,8	> 1
20	0,6	0,4...0,5	> 1
20	0,7...0,8	0,4...0,8	> 1
28	0,5	0,5	1
28	0,6	0,70	1
28	0,7...0,8	0,4...0,8	> 1

Таблица 3

силу прокатки путем изменения коэффициента трения или величины обжатия.

Из рис. 4 следует, что степень неравномерности распределения по длине контакта межвалковых погонных сил (q_1/q_0) и погонных сил между рабочим валком и полосой 4 (p_1/p_0) обусловлены профилировкой опорных валков (L_a/L_b), шириной полосы 4 и силовыми параметрами деформации.

Исследования показывают, что при деформации узкой полосы $B/L_b = 0,5$ для $L_a/L_b = 0,4...0,8$ распределение погонных сил неравномерно. В результате деформации полосы при $B/L_b = 0,5$, $B/L_b \neq L_a/L_b$ ($P = 20$ кН) погонная сила в контакте рабочего валка с полосой 4 минимальна на краевых участках ($B \approx L_a$, кривые 1, 3), поскольку возникают противоизгиб рабочих валков и уменьшение обжатия на краевых участках полосы 4. При этом межвалковые погонные силы q_y на краевых участках длины L_a оказываются несколько больше, чем по оси опорного валка (кривые 1-3). Минимальная неравномерность распределения погонных сил p_y и q_y имеет место при $B \approx L_a$, что соответствует известным исследованиям. При $B/L_b = 0,5$ и $L_a/L_b = 0,8$ ($B < L_a$) наблюдается существенное увеличение погонных давлений p_y и q_y (кривая 4), что обусловлено увеличением прогибов рабочего и опорного валков и защемлением краевых участков на межвалковом контакте и в контакте рабочего валка с полосой 4.

При значительной длине межвалкового контакта – $B/L_b = 0,8$ и $P = 28$ кН (см. рис. 4) – характер неравномерности распределения погонных сил p_y и q_y существенно изменяется. При деформации полос с $B > L_a$

погонные силы p_y на кромках контактов существенно меньше погонных сил по оси валка (кривые 1-3), что связано с большим прогибом валкового узла ($p_1/p_0 < 1$). Наибольшая неравномерность распределения погонной силы p_y имеет место при деформации наиболее широкой полосы при небольшой длине межвалкового контакта ($B/L_b = 0,8$ и $L_a/L_b = 0,4$) и представлена кривой 1. Неравномерность погонной силы p_y минимальна в случае $B/L_b \approx L_a/L_b$ (кривая 4). Характер распределения межвалковых сил при $L_a/L_b \leq 0,6$ (кривые 1-3, рис. 3) практически зеркален подобным зависимостям p_y/p_0 . При этом погонные межвалковые силы q_y на кромках в 1,3...1,67 раза больше, чем по оси валков, что является результатом наличия противоизгиба краевых участков рабочих валков за счет действия на рабочие валки свободных краевых участков полосы при $B > L_a$.

Выводы

На основании экспериментальных исследований установлены закономерности распределения погонных сил (по ширине полосы и длине межвалкового контакта) в многовалковой клети в зависимости от силы деформации, ширины полосы и относительной длины межвалкового контакта. Установлены условия, при которых имеет место минимальная неравномерность распределения погонных сил. Полученные данные могут быть полезны при выборе профилировки опорных валков стана (длины активной образующей бочки).



ЛИТЕРАТУРА

1. Чекмарев А. П. О некоторых вопросах теории прокатки // Теория прокатки. – М.: Металлургиздат, 1962. – С. 31-56.
2. Полухин П. И., Железнов Ю. Д., Полухин В. П. Тонколистовая прокатка и служба валков. – М.: Металлургия, 1967. – 389 с.
3. Полухин В. П. Математическое моделирование и расчет на ЭВМ листовых прокатных станов. – М.: Металлургия, 1972. – 512 с.
4. Железнов Ю. Д. Прокатка ровных листов и полос. – М.: Металлургия, 1971. – 200 с.
5. Контактное взаимодействие металла и инструмента при прокатке / П. И. Полухин, В. А. Николаев, В. П. Полухин и др. – М.: Металлургия, 1974. – 200 с.
6. Целиков А. И., Никитин Г. С., Рокотян С. Е. Теория продольной прокатки. – М.: Металлургия, 1980. – 320 с.
7. Николаев В. А. Упругие деформации листовых валков // Изв. вузов. Чер. металлургия. – 1988. – № 10. – С. 51-58.
8. Николаев В. А. Профилирование и износостойкость листовых валков. – Киев: Техніка, 1992. – 160 с.
9. Николаев В. А. Влияние профилировки валков на неравномерность распределения межвалковых нагрузок // Изв. вузов. Чер. металлургия. – 1982. – № 4. – С. 68-70.

Анотація

Ніколаєв В. О., Жученко С. В.

Нерівномірність погонних сил по довжині валків та полоси

Встановлено залежність розподілу погонних сил у багатовалковій клеті в залежності від сили деформації, ширини штаби та відносної довжини міжвалкового контакту. Встановлено умови, за яких спостерігається мінімальна нерівномірність розподілу погонних сил.

Ключові слова

прокатка, погонна сила, модель розрахунку, полоса, обтиснення

The dependence of linear forces distribution in rolling mill depending on the strength of the deformation band width and relative length rollers contact is established. The conditions of minimal nonuniform distribution of linear forces are identified.

УДК 621.74:669.131.7

Е. В. Филиппенко, В. М. Карпенко, В. П. Самарай*

УО «Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого», Гомель (Белоруссия)

*Киевский международный университет, Киев

Использование статистических методов анализа при мониторинге брака отливок в литейных цехах

Приведены результаты исследования статистических методов контроля качества и их сравнительная теоретико-методическая оценка. Для мониторинга дефектов и брака отливок в литейных цехах разработана методика на основе использования статистических методов, которая апробирована в цехе высокопрочного чугуна. Данная методика позволяет выявлять те причины дефектов и брака, устранение которых при прочих равных условиях приводит к их максимальному снижению.

Ключевые слова: контроль качества, брак отливок, статистические методы, управление качеством, диаграмма Парето

Введение

На современном этапе в условиях обострившейся международной конкуренции единственной возможностью добиться успешного экономического развития является достижение высоких потребительских качеств выпускаемой продукции. Именно поэтому 2010 год был объявлен в Беларуси годом качества [1]. Повышение качества отечественных товаров и услуг имеет первостепенное значение для обеспечения выхода продукции белорусских товаропроизводителей на зарубежные рынки, а также интеграции страны в мировую экономическую систему. Нарастание объемов экспорта возможно только при увеличении выпуска конкурентоспособной продукции и расширении ее номенклатуры. Основной целью Государственной программы, обеспечивающей реализацию политики государства в области качества, является создание условий, способствующих развитию производства конкурентоспособных отечественных товаров, дальнейшему насыщению потребительского рынка качественными безопасными энергоэффективными товарами, внедрению в промышленное производство современных методов и форм управления качеством, оздоровлению окружающей среды, экономии материальных и энергетических ресурсов [2, 3].

Постановка задачи. Цель данной работы – исследование статистических методов анализа брака и аргументированный выбор эффективного статистического метода мониторинга брака для цеха высокопрочного чугуна (ЦВПЧ) РУП «Гомельский завод литья и нормалей» (ГЗЛИН).

Для реализации поставленной цели необходимо:

– исследовать статистические методы контроля качества, провести их сравнительную теоретико-методическую оценку и выявить наиболее эффективный для современной системы управления качеством в литейных цехах ГЗЛИН;

– разработать методику мониторинга качества отливок на основе использования статистических методов и апробировать ее в цехе высокопрочного чугуна ГЗЛИН.

Анализ современного состояния вопроса. В современной специальной литературе рассматривается большое количество способов контроля качества отливок: рентгенокопия, гаммаскопия, магнитная дефектоскопия, ультразвуковой контроль, люминисцентный анализ, статистический контроль и другие [4].

Всю совокупность известных методов можно разбить на две группы: методы, позволяющие выявлять причины брака, – это методы технологического контроля, они широко используются на литейных предприятиях, в том