

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2019, №3, Том 11 / 2019, No 3, Vol 11 <https://esj.today/issue-3-2019.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/51MCVN319.pdf>

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Воеводина М.А. Использование статистических методов обработки результатов эксперимента с целью повышения качества изделий машиностроения // Вестник Евразийской науки, 2019 №3, <https://esj.today/PDF/51MCVN319.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

**For citation:**

Voevodina M.A. (2019). The use of statistical methods of processing the results of the experiment in order to improve quality engineering products. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 3(11). Available at: <https://esj.today/PDF/51MCVN319.pdf> (in Russian)

УДК 669.131.7.001.5

**Воеводина Марина Александровна**

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»

Филиал в г. Абакан, Абакан, Россия

Доцент

Кандидат технических наук

E-mail: v.m.a@list.ru

## Использование статистических методов обработки результатов эксперимента с целью повышения качества изделий машиностроения

**Аннотация.** В статье представлены результаты сравнительного исследования качества отливок – фитинг, используемых при производстве контейнеров. Проведена статистическая обработка данных приемо-сдаточных испытаний и механических свойств стали, выплавляемой на автоматической линии «Disamatik» ОАО «Абаканвагонмаш».

Контейнеры для перевозки грузов изготавливают на многих заводах России и за рубежом, они являются средством международного обмена и должны быть конкурентоспособны. Угловой фитинг является ответственной деталью контейнера, испытывает ударные и вибрационные нагрузки, работает при перепадах температур, возможна его эксплуатация в агрессивных средах. Вышеизложенное свидетельствует о необходимости высокого качества угловых фитингов для обеспечения возрастающих требований нормативно-технической документации и эксплуатации.

Механические свойства стали зависят от ее химического состава и термообработки. Влияние химического состава на механические характеристики оценивали суммарным содержанием легирующих элементов, которое отражает такой показатель как углеродный эквивалент  $C_{\Sigma}$ . По полученным данным построен график корреляционной зависимости между пределом текучести  $\sigma_m$  и углеродным эквивалентом. Несмотря на заметный разброс данных проявляется характер зависимости: предел текучести линейно зависит от углеродного эквивалента, однако величина предела текучести незначительно возрастает в узком интервале значений 324–340 МПа. При этом значения углеродного эквивалента изменяются в достаточно широком интервале величин – от 0,42 до 0,60 масс. %.

В результате исследований выявлены резервы повышения качества отливок, представлены рекомендации для их достижения.

**Ключевые слова:** конкурентоспособность; угловой фитинг; ресурсные испытания; статистическая обработка; полигон распределения элементов

## Введение

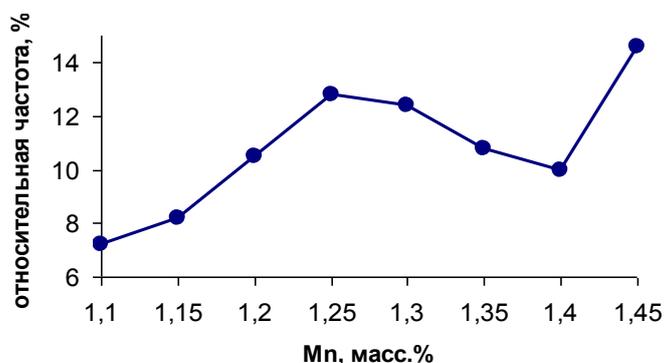
Развитие производства стали, как и любого другого сложного и важного для жизни общества производства, – это решение комплекса научно-технических и социально-экономических задач, тесно связанных с общими задачами черной металлургии и экономики страны в целом. Такая взаимосвязь обусловлена тем, что черная металлургия является одной из важных отраслей экономики России.

Активное участие каждой отрасли, отдельных предприятий и производств в накоплении валового национального продукта с меньшими затратами ресурсов должно выражаться в уменьшении себестоимости продукции и повышении ее качества. Повышение качества продукции, особенно надежности и долговечности готовых изделий, является основным способом снижения ресурсоемкости национального продукта [1–3].

Контейнеры для перевозки грузов изготавливают на многих заводах России и за рубежом, они являются средством международного обмена и должны быть конкурентоспособны. Угловой фитинг является ответственной деталью контейнера, испытывает ударные и вибрационные нагрузки, работает при перепадах температур, возможна его эксплуатация в агрессивных средах. Вышеизложенное свидетельствует о необходимости высокого качества угловых фитингов для обеспечения возрастающих требований нормативно-технической документации и эксплуатации. Проведенные ресурсные испытания двух отечественных контейнеров и одного контейнера производства Бежицкого сталелитейного завода (БСЗ, г. Брянск) массой брутто 24 т выявили необходимость дальнейшего повышения качества отечественных фитингов, в трех из которых возникли трещины в процессе испытаний. Фитинги, получаемые в цехе Бежицкого сталелитейного завода, при прочих равных условиях были бездефектными. В связи с изложенным возникла необходимость провести сравнительные исследования стали и фитингов производства ОАО «Абаканвагонмаш» [4].

Для оценки качества стали, предназначенной для отливки – фитинг, выполнили статистическую обработку данных приемо-сдаточных испытаний химического состава и механических свойств нормализованной стали 20ГЛ, выплавляемой на автоматической линии «Disamatik» ОАО «Абаканвагонмаш». Аналогичные исследования проведены на 100 плавках стали 20ФЛ и 100 плавках стали 20ГЛ БСЗ, имеющего большой опыт в производстве стального литья [5].

В результате обработки данных были получены основные статистические характеристики рядов распределения: минимальные, максимальные и среднеарифметические значения параметров, которые представлены на рис. 1–9.

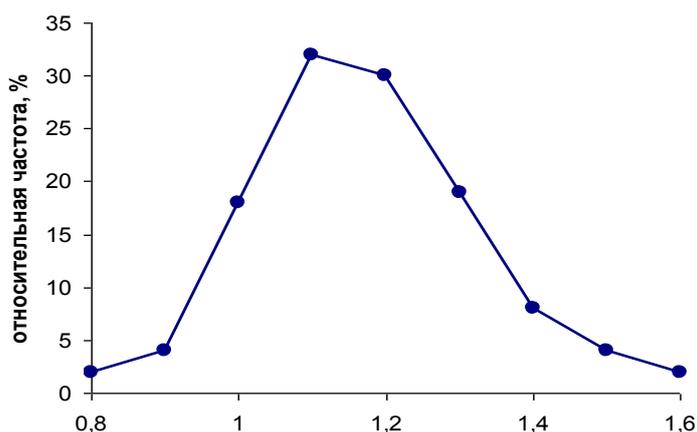


*Рисунок 1. Полигон распределения содержания марганца в стали фитингов «Абаканвагонмаш»*

В результате исследования установлено, что по содержанию углерода, марганца, серы и фосфора все плавки соответствуют марочному составу для верхнего предела содержания

элементов по ГОСТ 20527-82 «Фитинги угловые крупнотоннажных контейнеров». Минимальное содержание углерода составляет 0,13 %, максимальное – 0,23 %, среднее значение – 0,18 %. Минимальное значение содержания марганца составляет 1,08 %, максимальное – 1,5 %,  $\bar{X} = 1,31$  %.

Характер кривой относительного распределения марганца (рис. 1), а именно, поднятая правая ветвь дает основание предположить цензурированную выборку данных приемо-сдаточных испытаний. Очевидно, что часть плавков со значением  $Mn$  выше 1,5 % с целью соответствия стандарту на фитинги учтена в интервале до 1,5 % (1,5 % – верхний предел содержания марганца по ГОСТ 20527-82 «Фитинги угловые», но находящийся в пределах допускаемых значений по ГОСТ 977-88 («Отливки стальные»). В связи с этим резко возрастает количество плавков с содержанием  $Mn$  в интервале 1,4–1,5 % (23 % всех плавков) и кривая распределения принимает несвойственную ей форму, т. е. нарушается закон нормального распределения.

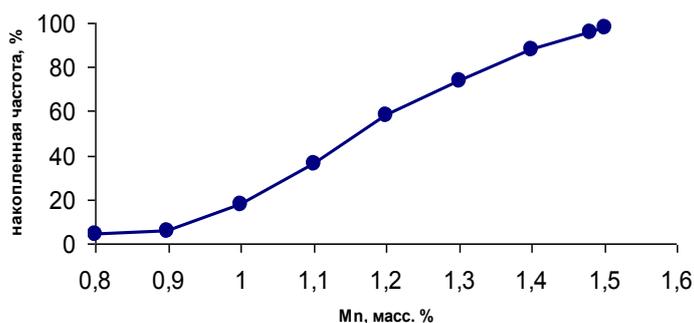


**Рисунок 2.** Полигон распределения содержания марганца в стали производства БСЗ

Для сравнения на рис. 2 представлена кривая распределения марганца, построенная по результатам химического анализа и механических испытаний стали 20ГЛ, выплавляемой на Бежицком сталелитейном заводе. Как видно, кривая имеет традиционную форму умеренно асимметричного распределения:  $Mn_{max} = 16$  %,  $Mn_{min} = 0,8$  %,  $\bar{Mn} = 1,22$  %.

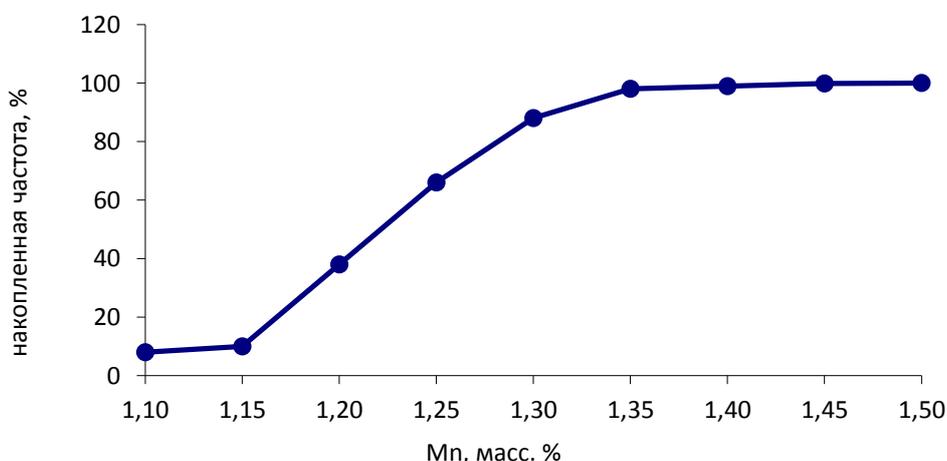
Сравнение кривых распределения накопленных частот содержания марганца в стали фитингов России (рис. 3) и в стали БСЗ (рис. 4) также выявляет нарушение закона нормального распределения в первом случае.

Содержание фосфора и серы не превышает 0,04 масс. % в обоих случаях. Однако среднее значение содержания серы 0,019 масс. % представляется достаточно высоким.

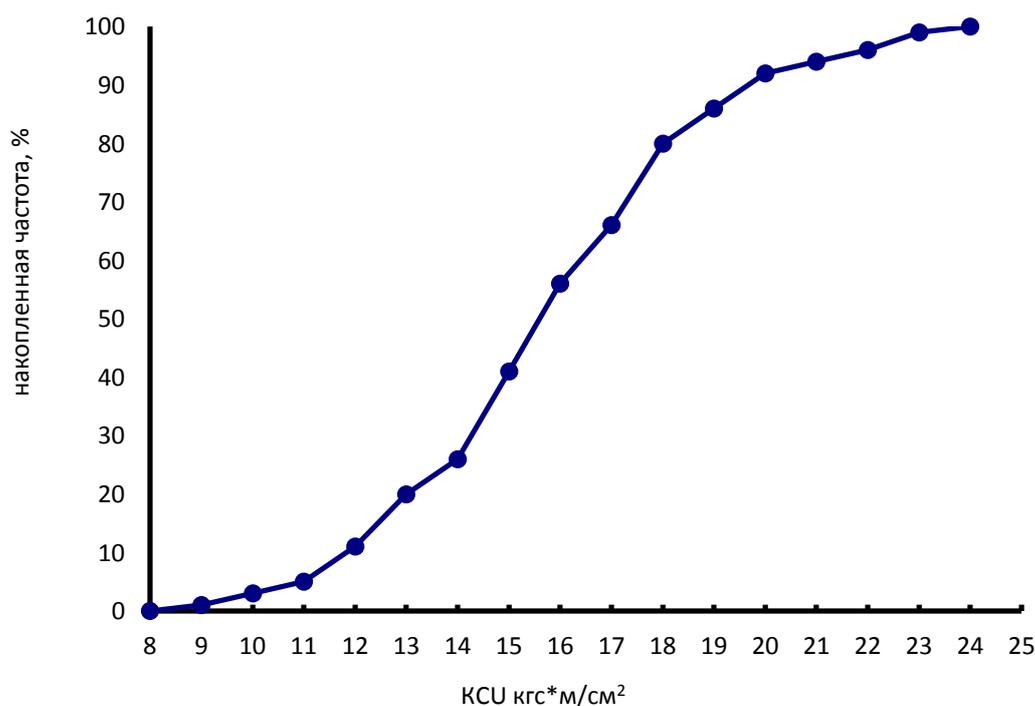


**Рисунок 3.** Распределение накопленных частот содержания марганца в стали производства России

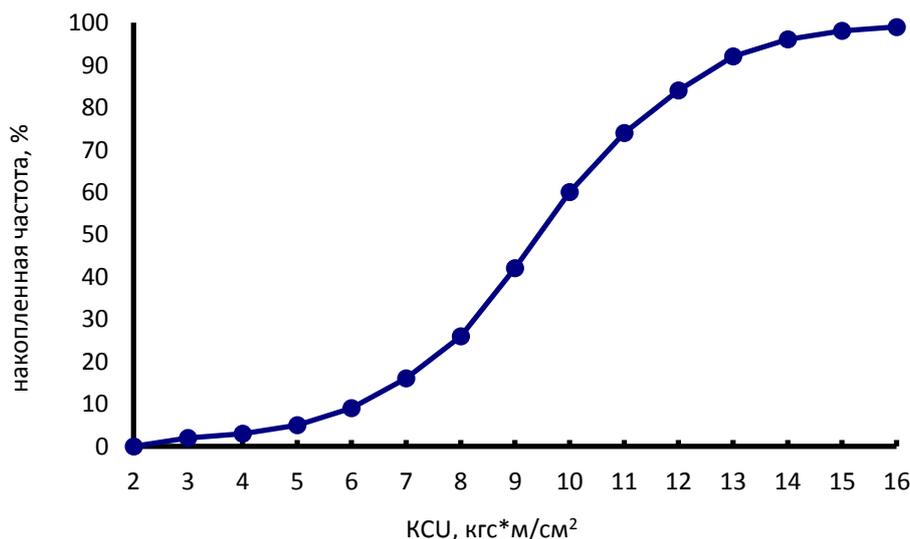
Анализ механических свойств стали показал, что пределы текучести и прочности соответствуют ГОСТ 20527-82, т. е. значение предела текучести составляет не менее 280 МПа, предел прочности – не менее 441 МПа, ударная вязкость при температуре 20 °С не менее 490 кДж/м<sup>2</sup>. Значения ударной вязкости при температуре -40 °С должны быть не менее 294 кДж/м<sup>2</sup>, однако три плавки (0,7 %) имеют значения ударной вязкости, не удовлетворяющие требованиям стандарта: 196, 255, 265 кДж/м<sup>2</sup>. При этом химический состав указанных плавок не имеет отклонений от стандарта. У большинства плавок значения ударной вязкости при температуре -40 °С находятся в интервале от 1313 до 1539 кДж/м<sup>2</sup>, т. е. соответствуют ГОСТ (рис. 5а,б).



*Рисунок 4. Распределение накопленных частот содержания марганца в стали производства БСЗ*



*Рисунок 5а. Распределение значений ударной вязкости при температуре 20 °С в стали фитингов*



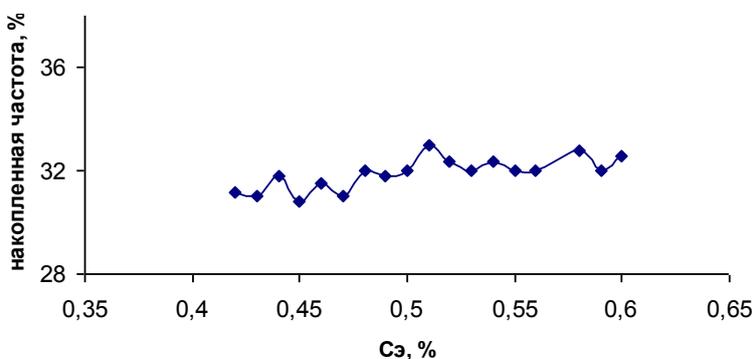
**Рисунок 5б.** Распределение значений ударной вязкости при температуре  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  в стали фитингов

Как известно, механические свойства стали зависят от ее химического состава и термообработки. Влияние химического состава на механические характеристики оценивали суммарным содержанием легирующих элементов, которое отражает такой показатель как углеродный эквивалент  $C_{\Sigma}$ . В данной работе он вычислен по формуле:

$$C_{\Sigma} = C + Mn/4,$$

где  $C$  и  $Mn$  – массовые доли углерода и марганца, в масс. % [6].

По полученным данным построен график корреляционной зависимости между пределом текучести  $\sigma_m$  и углеродным эквивалентом рис. 6. Несмотря на заметный разброс данных проявляется характер зависимости: предел текучести линейно зависит от углеродного эквивалента, однако величина предела текучести незначительно возрастает в узком интервале значений 324–340 МПа [7]. При этом значения углеродного эквивалента изменяются в достаточно широком интервале величин – от 0,42 до 0,60 масс. %, т. е. почти в полтора раза и в данном случае можно говорить о том, что повышение углеродного эквивалента практически не влияет на предел текучести стали.



**Рисунок 6.** Зависимость предела текучести от углеродного эквивалента стали фитингов

Если обратиться к классическим исследованиям в области металловедения и термической обработки металлов, в частности к монографии Э. Гудремона по специальным сталям [8], можно видеть заметное влияние содержания углерода и марганца на пределы прочности и текучести стали. На рис. 7 и 8 представлены зависимости предела текучести от

содержания углерода и марганца. На графиках наблюдается устойчивая тенденция повышения в стали этих элементов.

Построенная корреляционная зависимость между углеродным эквивалентом и пределом текучести стали 20ФЛ, выплавляемой на БСЗ (100 плавок, взятые для сравнения), также дает основание сделать вывод о том, что с повышением углеродного эквивалента заметно возрастает величина предела текучести стали. В данном случае (рис. 9) при повышении  $C_{\Sigma}$  с 0,22 до 0,42 масс. % величина предела текучести возрастает с 260 до 353 МПа.

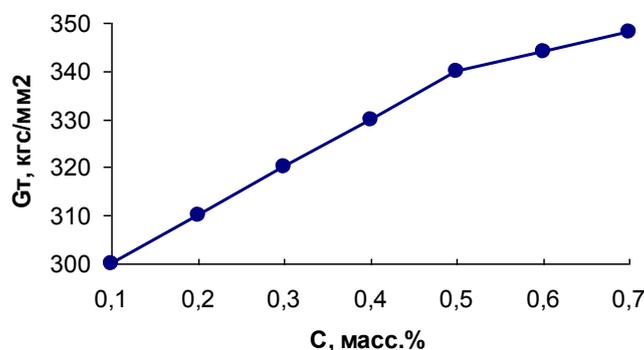


Рисунок 7. Зависимость предела текучести от содержания углерода

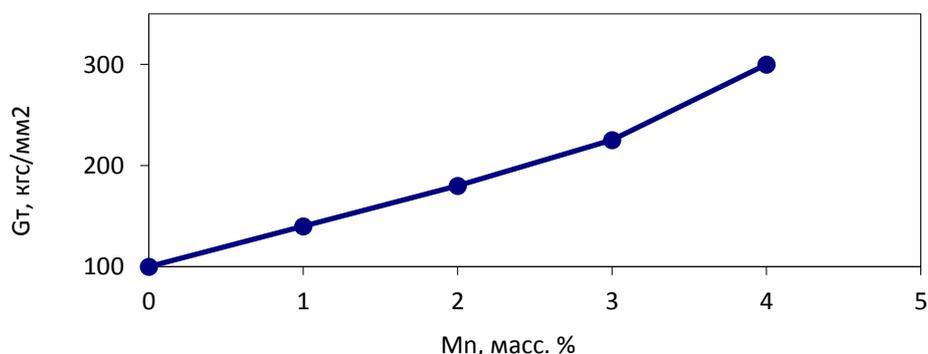


Рисунок 8. Зависимость предела текучести от содержания марганца

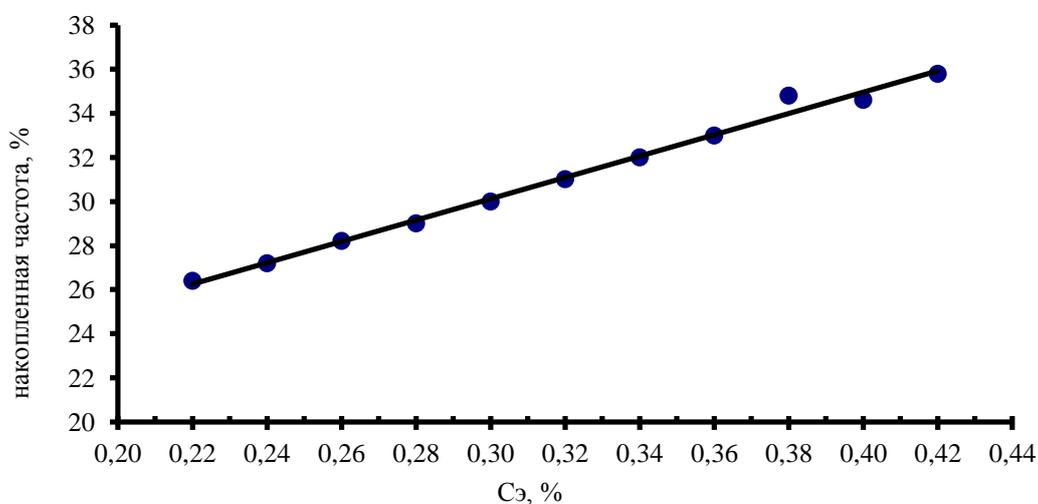


Рисунок 9. Зависимость предела текучести от углеродного эквивалента стали марки 20ФЛ производства БСЗ

Таким образом, выявленное нарушение нормального распределения марганца, высокое содержание фосфора в стали и практически отсутствие зависимости предела текучести от

химического состава отливок свидетельствуют о нарушениях технологического процесса производства стали.

Провели также сравнительные исследования химического состава и механических свойств фитингов, изготовленных на разных заводах. В соответствии с программой работ были вырезаны два фитинга с трещиной из контейнера производства ОАО «Абаканвагонмаш» и один фитинг из контейнера БСЗ (без трещины), прошедших ресурсные испытания, из которых были изготовлены образцы для испытаний на растяжение, на ударный изгиб, пробы для металлографических исследований и химического анализа.

Как следует из данных, в фитингах, изготовленных в г. Абакан содержание марганца 1,25–1,35 масс. % выше, чем в фитинге БСЗ; содержание вредных примесей значительно ниже: фосфора 0,017 масс. % против 0,045 масс. %, серы 0,012–0,01 масс. % против 0,015 масс. %.

Структура фитинга БСЗ бейнитно-перлитная, с долей перлита 30–40 %; ферритной фазы не более 10 %. Такая структура обладает пониженной ударной вязкостью.

Сталь фитингов, изготовленных в Абакане, имеет ферритно-перлитную структуру плюс бейнит. Доля перлитной фазы в структуре меньше, чем в фитинге БСЗ и составляет 15–20 %. Такая структура обладает хорошим комплексом механических свойств, включая ударную вязкость при положительных и отрицательных температурах. Образец из абаканского фитинга по прочности и пластичности равнозначен брянскому, а по ударной вязкости вплоть до температуры  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$  значительно его превосходит.

Однако из «Акта по результатам ресурсных испытаний универсальных крупнотоннажных контейнеров типоразмера ИСС при соударениях контейнерных платформ» известно, что при испытаниях на трех фитингах «Абаканвагонмаш» появились трещины, а на фитингах контейнера БСЗ трещин не обнаружено, хотя смяты отверстия опоры штырей крепления на платформе. По повреждаемости фитинговых узлов отечественные контейнеры значительно превосходят фитинг БСЗ. Из пяти испытанных фитингов  $KCU^{-60} < 294\text{ кДж/м}^2$  – три фитинга. Полученная низкая ударная вязкость объясняется микроструктурой фитингов: сорбит закалки полученный, очевидно, в результате медленного охлаждения либо феррито-перлитная структура с заметно выраженной оторочкой ферритных колоний. Различаются структуры размерами ферритного зерна и перлитной фазой. Структуры имеют пониженную ударную вязкость и по строению типичны для охлаждения из межкритического интервала температур (между критическими точками  $A_{c1}$  и  $A_{c3}$ , что свидетельствует о недогреве отливки до температуры нормализации. Разная степень дисперсности структурных составляющих при этом связана с тремя факторами: температурой максимального нагрева (под критическую точку  $A_{c3}$  или в середине температурного интервала  $A_{c1}$ – $A_{c3}$  временем пребывания (выдержки) при температуре максимального нагрева и скоростью охлаждения отливки, т. е. зависит от технологических параметров режима термообработки.

Таким образом, анализ механических свойств и структур фитингов показал следующее:

- нестабильность структурного состава, связанную с отклонением в режимах термообработки деталей;
- хороший уровень свойств отливок при получении смешанной структуры, состоящей из феррита, перлита и бейнита.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Еланский Г.Н., Кудрин В.А. Строение и свойства жидкого металла -технология – качество. М.: Metallurgy, 1984. – 342 с.
2. Лифиц И.М. Теория и практика оценки конкурентноспособности товаров и услуг. – М.: Юрайт. – 2001. – с. 14–20.
3. Павлова Н.Н. Маркетинговый подход в оценки конкурентноспособности товара. – Маркетинг в России и за рубежом. – 2004. – №4. – с. 3–6.
4. Романов О.М. Износостойкость материалов, применяемых для работы в условиях ударно-абразивного износа / О.М. Романов, Е.В. Рожкова, Л.Я. Козлов // Реферативный сб. ЦНИИТЭИТЯЖМАШ. – М.: 1981. – № 14 – с. 19.
5. Статистическая обработка данных в учебно-исследовательских работах / П.А. Волкова, А.Б. Шипунов. – М.: Экспресс. – 2008. – 60 с.
6. Радионова И.Г., Шапошников Н.Г., Эндель Н.И., Могутнов Б.М., Жиленко С.В., Стрижакова Т.И. Условия образования нитридной и сульфидной фаз в сталях для глубокой вытяжки // Проблемы черной металлургии и материаловедения. – 2008. – №4. – с. 52–58.
7. Лейкин. И.М., Литвиненко Д.А., Рудченко А.В. Производство и свойства низколегированных сталей. – М. – Metallurgy. – 1972. – 256 с.
8. Гудремон Э. Специальные стали: пер. с нем. / Э. Гудремон. – 2-е изд., сокр. и перераб. – М.: Metallurgy. Т.1 – 1966. – 734 с.

**Voevodina Marina Aleksandrovna**

Siberian federal university  
Abakan branch, Abakan, Russia  
E-mail: v.m.a@list.ru

## **The use of statistical methods of processing the results of the experiment in order to improve quality engineering products**

**Abstract.** The article presents the results of a comparative study of the quality of castings – fitting used in the production of containers. Statistical processing of data of acceptance tests and mechanical properties of the steel smelted on the automatic line "Disamatik" of JSC Abakanvagonmash is carried out.

Containers for transportation of goods are manufactured at many factories in Russia and abroad, they are a means of international exchange and must be competitive. The corner fitting is a responsible part of the container, experiences shock and vibration loads, works at temperature changes, it is possible to operate in aggressive environments. The above indicates the need for high quality corner fittings to meet the increasing requirements of regulatory and technical documentation and operation.

Mechanical properties of steel depend on its chemical composition and heat treatment. The influence of the chemical composition on the mechanical characteristics was estimated by the total content of alloying elements, which reflects such an indicator as the carbon equivalent. According to the obtained data, a graph of the correlation between the yield point and the carbon equivalent is plotted. Despite the noticeable spread of data, the nature of the dependence is manifested: the yield strength is linearly dependent on the carbon equivalent, but the yield strength increases slightly in the narrow range of values 324–340 MPa. In this case, the carbon equivalent values vary in a fairly wide range of values – from 0.42 to 0.60 mass. %.

As a result of researches reserves of improvement of quality of castings are revealed, recommendations for their achievement are presented.

**Keywords:** competitiveness; angular fitting; resource tests; statistical treatment; ground of distributing of elements