

Література

1. Schwarz, M. V. Holz Härteprüfung mit dem Falhärteprüfer [Текст] / M. V. Schwarz, K. Buos // Maschinenbau. – 1928. – Vol. 12. – P. 403.
2. А. С. № 14853 СССР. G01N03/42 [Текст] / Бурученко С. И. – 1930.
3. А. С. № 157145 СССР. G01N03/42 [Текст] / Шипилина Н. Л. – 1963.
4. Розенгауз, Б. Ф. К измерению торцевой твердости древесины [Текст] / Б. Ф. Розенгауз // Сборник трудов УЛТИ. – 1956. – № 1.
5. А. С. № 4081 СССР. G01N03/40 [Текст] / А. Г. Пуппе. – 1930.
6. ГОСТ 16483.17-81 (СТ СЭВ 2366-80 и ИСО 3350-75). Древесина. Метод определения статической твердости [Текст]. – М., 1983.
7. Пат. № 2323428 RU. Способ определения статической твердости древесины. МПК G01N3/42 [Текст] / Памфилов Е. А., Шевелева Е. В., Комиссаров А. П.; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Брянская государственная инженерно-технологическая академия". – заявл. 08.09.2006; опубл. 27.04.2008, Бюл. № 12.
8. ГОСТ 24622-91 (ИСО 2039/2-87). Пластмассы. Определение твердости. Твердость по Роквеллу [Текст]. – М., 1993.
9. Пат. № 12460 UA. Индентор. МПК G01N3/42 [Текст] / Котречко О. О.; заявник та патентовласник Національний аграрний університет. – № u200506505; заявл. 01.07.2005; опубл. 15.02.2006, Бюл. № 2.
10. Пат. № 90564 UA. Спосіб визначення статичної твердості деревини за Котречком. МПК G01N3/40 [Текст] / Котречко О. О.; заявник та патентовласник Національний університет біоресурсів і природокористування України. – № a201110631; заявл. 11.03.2013; опубл. 10.06.2014, Бюл. № 11.
11. Пат. № 83113 UA. Индентор для визначення твердості пластмас. МПК G01N 3/42 [Текст] / Котречко О. О.; заявник та патентовласник Національний університет біоресурсів і природокористування України. – № u201303076; заявл. 12.03.2013; опубл. 27.08.2013, Бюл. № 16.
12. Пат. № 100471 UA. Метод визначення твердості пластмас по Котречку. МПК G01N3/00 [Текст] / Котречко О. О.; заявник та патентовласник Національний університет біоресурсів і природокористування України. – № a201109936; заявл. 10.08.2011; опубл. 25.12.2012, Бюл. № 24.

*Рекомендовано до публікації д-р техн. наук, професор Чаусов М. Г.
Дата надходження рукопису 13.02.2017*

Котречко Олексій Олексійович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра надійності техніки, Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, Україна, 03041
E-mail: oleksiyykotrechko@gmail.com

УДК 621.74

DOI: 10.15587/2313-8416.2017.99442

МОНИТОРИНГ КАЧЕСТВА ОТЛИВОК ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

© Ю. В. Орендарчук, Д. В. Мариненко, С. В. Борисенко, И. О. Лоек, В. С. Ананьин

Проведен мониторинг размерной точности отливки «втулка», изготавливаемой в условиях автоматизированного литейного производства. Установлены реальные возможности существующего технологического процесса по обеспечению заданных требований качества к размерной точности. Выявлены систематические погрешности и проанализированы их причины. Описанная процедура, как пример, может быть рекомендована для использования в системах автоматизированного проектирования литейного производства

Ключевые слова: автоматизированное проектирование, технологии литейного производства, отливка, размерный анализ, размерная точность

1. Введение

Вопросы создания систем автоматизированного проектирования (САПР) технологий литейного производства являются особо актуальными на протяжении уже нескольких десятилетий. Это связано с активным внедрением информационных технологий во всех сферах жизни, включая промышленность [1, 2]. Основой для таких систем служит математическое и алгоритмическое обеспечение [3, 4], позволяющее формализовать технологические задачи всех переделов литейного производства, которые, как известно, относятся к числу трудно формализуемых по причине наличия многоуровневой неопре-

деленности [5]. Более того, в программах подготовки инженеров-литейщиков предусмотрены специальные учебные курсы, в том числе с элементами систем поддержки принятия решений [6]. Так или иначе, готовым продуктом таких работ являются системы, позволяющие эффективно управлять качеством отливок.

2. Анализ литературных данных

Разные исследователи по-разному подходят к исследованию качества в литейном производстве, как правило, в зависимости от номенклатуры отливок и применяемых технологий литья. Так, работы [7, 8]

посвящены управлению качеством отливок для двигателей внутреннего сгорания (ДВС), авторы [9, 10] исследуют влияние технологических режимов литья для энергетического и электромашиностроения. В работах [11, 12] приоритет отдан использованию математических методов для прогнозирования внутренних дефектов в отливках и управления процессами плавки по критерию максимизации качества литья. Поиску принципиально новых компонентов формовочных смесей, как основному фактору получения качественной поверхности отливок, посвящены работы [13, 14], а в работе [15] показаны принципы использования для управления качеством литья теории статистических игр. Такие подходы к управлению качеством позволяют сделать вывод о сложности данной проблемы, причем они проявляются по-разному, в зависимости от технологии литья, конструкции и материала отливок.

3. Цель и задачи исследования

Целью исследования являлся мониторинг качества отливок из чугуна марки СЧ25 ГОСТ1412-85, получаемых серийно, по размерной точности.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- провести размерный анализ партии отливок серийных плавов;
- выполнить статистическую обработку полученных данных размерного анализа;
- оценить возможности существующих технологий обеспечить требуемое качество по размерной точности.

4. Экспериментальные данные и методика их обработки

В качестве объекта проведения эксперимента была использована выборка отливок, изготовленных на основе технологии литейной формы, представленной на рис. 1. Материал отливок – серый чугун с пластинчатым графитом марки СЧ25 ГОСТ1412-85, назначение – машиностроение. Отливка «втулка» изготавливалась в песчаные разовые литейные формы, получаемые на встряхивающе-прессовых машинах марки 254М. Стержни изготавливались в разъемных стержневых ящиках вручную, после изготовления высушивались до получения требуемых прочностных характеристик. Чугун получали в индукционных плавильных печах, модифицируя расплав модификатором ФС75 в количестве 0,3 % от массы расплава на дно ковша фракцией 1–10 мм. Химический состав сплава – С=(3,1–3,4) %, Si=(2,0–2,4) %, Mn=(0,5–0,8) %.

Размерный анализ проводился для внутреннего диаметра с номинальным размером 54 мм и ширины ступицы по отливке 96 мм, с учетом припуска по 4 мм на сторону. Внутренний диаметр на отливке с учетом поля допуска $\varnothing 54^{+0,15}_{-0,12}$, наружный размер ступицы на отливке с учетом поля допуска $96^{+0,5}_{-0,5}$.

Выборочные статистические характеристики – математическое ожидание размера и среднее квадратическое отклонение – рассчитывались с помощью встроенного редактора в среде электронных таблиц Excel. Гистограммы распределения размеров представлены на рис. 2, 3.

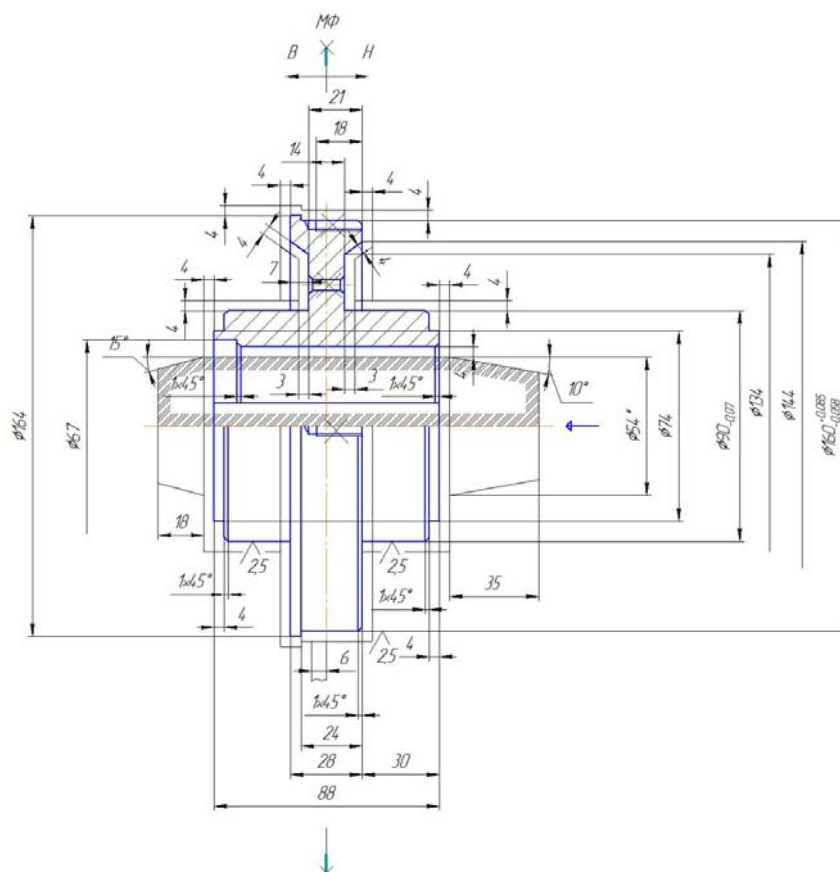


Рис. 1. Технология отливки «втулка»

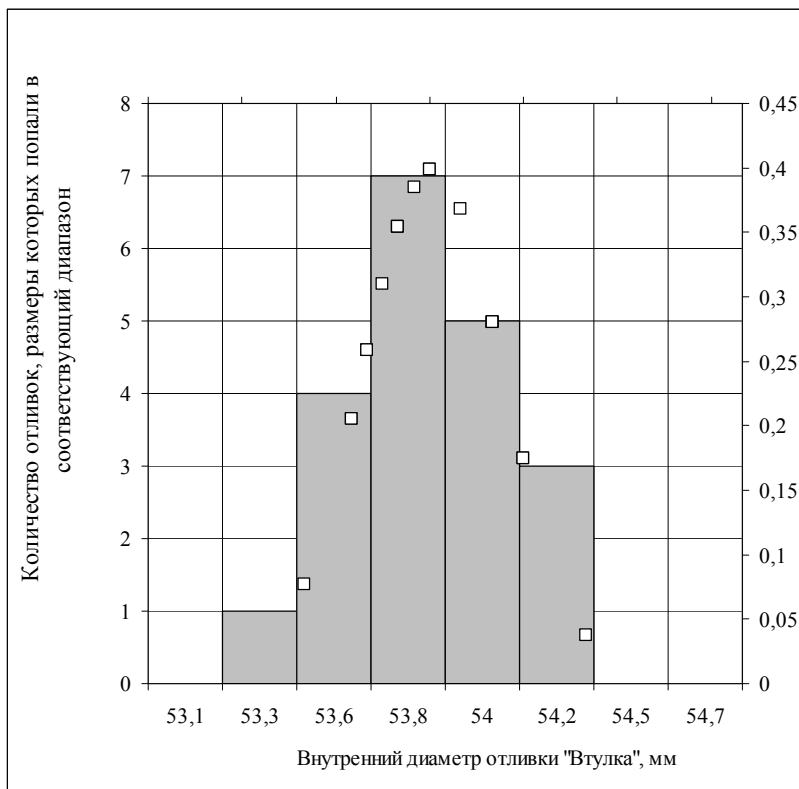


Рис. 2. Гистограмма распределения размеров по внутреннему диаметру

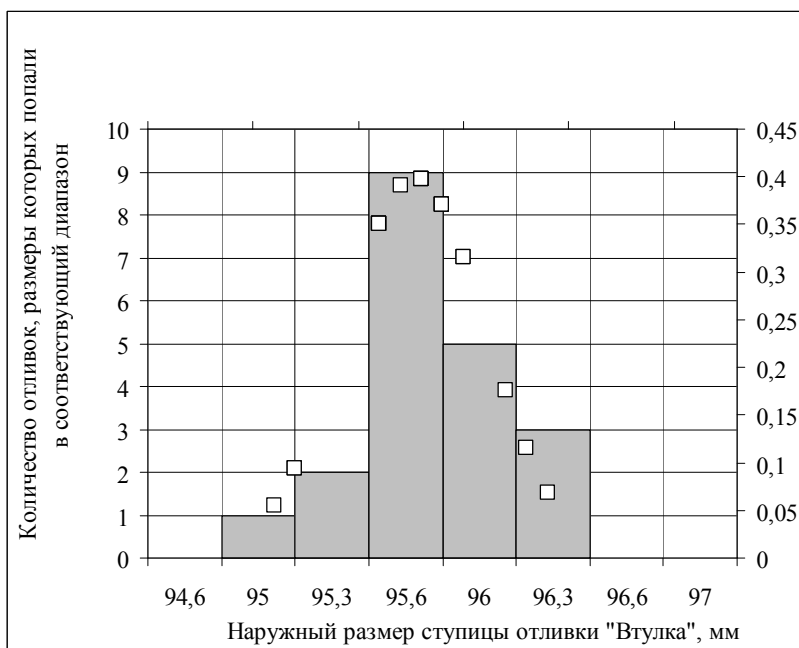


Рис. 3. Гистограмма распределения размеров по ширине ступицы

Как видно из рис. 2, 3, есть основания считать, что распределения размеров подчинены закону нормального распределения. Для визуализации данного вывода на рис. 2, 3 приведены точки кривой плотности нормального распределения (соответствующая шкала значений приведена справа на оси ординат). И хотя более точный ответ на вопрос о соответствии закона распределения нормальному может дать статистическая проверка соответствующей гипотезы, например на основе критерия Пирсона, визуальные расчетные данные и опыт экспертов

могут быть взяты за основу при утверждении о соответствии полученных данных закону нормального распределения.

5. Обсуждение результатов исследования и оценка возможностей реального технологического процесса требованиям качества по размерной точности

С учетом вывода о законе нормального распределения, теоретическая плотность вероятности распределения размера внутреннего диаметра имеет вид

$$\varphi(x) = \frac{1}{0,2256\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x_i - 54,004)^2}{2 \times 0,2256^2}\right),$$

а теоретическая плотность вероятности распределения наружного размера ступицы имеет вид

$$\varphi(x) = \frac{1}{0,336\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x_i - 95,8385)^2}{2 \times 0,336^2}\right).$$

Реально возможные поля допусков, обеспечиваемые технологическим процессом, могут быть определены вычитанием из значений математического ожидания размеров нижнего и верхнего полей допусков. Однако особо необходимо отметить наличие систематической погрешности. Она определяется как разность между рассчитанным математическим ожиданием и размером по модели (номинальным размером). В данном случае систематическая погрешность

на размере внутреннего диаметра составляет 54,004–54=+0,004 мм, а на наружном размере ступицы составляет 95,8385–96=–0,1615 мм. Это означает, что необходимо внести соответствующие коррективы в технологическую оснастку.

6. Выводы

Проведенный мониторинг размерной точности отливки «втулка» позволил установить реальные возможности существующего технологического процесса по обеспечению заданных требований качества к размерной точности. Установлено, что процесс содержит систематические погрешности, причиной которых может быть износ литейной оснастки в процессе эксплуатации. Устранение этой погрешности путем соответствующих коррективов в оснастку даст возможность повысить размерную точность. При этом особая важность этого связана с изготовлением отливок в условиях автоматизированного производства.

Литература

1. Носенко, Т. И. Адаптивное автоматизированное синхронизирующее проектирование системы "отливка-песчаная форма" НТИ [Текст] / Т. И. Носенко, Т. В. Лысенко, А. Л. Становский // Збірник наукових праць Одеської національної морської академії. – 2008. – № 13. – С. 82–88.
2. Кострова, Г. В. Методы самосинхронизации динамических процессов САПР литейного производства КГВ [Текст] / Г. В. Кострова, Т. В. Лысенко, А. А. Бондарь // Труды Одесского политехнического университета. – 2009. – № 2 (32). – С. 7–10.
3. Дёмин, Д. А. Типизация математического описания в задачах синтеза оптимального регулятора технологических параметров литейного производства [Текст] / Д. А. Дёмин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – Т. 1, № 4 (67). – С. 43–56. doi: 10.15587/1729-4061.2014.21203
4. Дёмин, Д. А. Адаптивное моделирование в задаче поиска оптимального управления термовременной обработкой чугуна [Текст] / Д. А. Дёмин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – Т. 6, № 4 (66). – С. 31–37. – Режим доступа: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/19453/17110>
5. Дёмин, Д. А. Нечеткая кластеризация в задаче построения моделей «состав – свойство» по данным пассивного эксперимента в условиях неопределённости [Текст] / Д. А. Дёмин // Проблемы машиностроения. – 2013. – № 6. – С. 15–23.
6. Лысенко, Т. В. Идентификация лица, выполнившего решение, при дистанционной подготовке специалистов-литейщиков [Текст] / Т. В. Лысенко, А. А. Коряченко, В. П. Доценко // Научный Вестник Донбасской государственной машиностроительной академии. – 2010. – № 1. – С. 132–137.
7. Акимов, О. В. Повышение качества литых деталей ДВС: учет технологических аспектов автоматизированного литейного производства [Текст] / О. В. Акимов, О. С. Коваль, А. А. Пуляев, Е. П. Дымко, Т. А. Егоренко, С. В. Высоцкий // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – Т. 6, № 1 (78). – С. 56–62. doi: 10.15587/1729-4061.2015.56039
8. Акимов, О. В. Анализ погрешностей формообразования отливок колес турбин турбокомпрессоров для наддува ДВС на этапе изготовления их восковых моделей [Текст] / О. В. Акимов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2003. – № 3 (3). – С. 16–24. – Режим доступа: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte_2003_3_4
9. Чибичик, О. А. Анализ технологического процесса заливки роторов электродвигателя и возможные пути его усовершенствования [Текст] / О. А. Чибичик // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2007. – Т. 6, № 1 (30). – С. 55–60.
10. Акимов, О. В. Совершенствование технологических процессов изготовления литых деталей роторов для повышения эксплуатационных характеристик тягового электропривода [Текст] / О. В. Акимов, О. А. Чибичик, А. В. Редькина // Проблемы машиностроения. – 2013. – Т. 16, № 5. – С. 7–12.
11. Пономаренко, О. И. Компьютерное моделирование процессов кристаллизации как резерв повышения качества поршней ДВС [Текст] / О. И. Пономаренко, Н. С. Тренёв // Технологический аудит и резервы производства. – 2013. – Т. 6, № 2 (14). – С. 36–40. – Режим доступа: <http://journals.uran.ua/tarp/article/viewFile/19529/17205>
12. Дёмин, Д. А. Применение искусственной ортогонализации в поиске оптимального управления технологическими процессами в условиях неопределённости [Текст] / Д. А. Дёмин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – Т. 5, № 9 (65). – С. 45–53. – Режим доступа: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/18452/16199>
13. Берлизова, Т. В. Влияние фурфурилоксипропилциклокарбонатов (ФОПЦК) с различными добавками на свойства холоднотвердеющих смесей на жидком стекле [Текст] / Т. В. Берлизова, О. И. Пономаренко, А. М. Каратеев, Д. А. Литвинов // Компрессорное и энергетическое машиностроение. – 2013. – № 3. – С. 26–29.
14. Пономаренко, О. И. Влияние жидких отвердителей с разными добавками на свойства жидкостекольных смесей [Текст] / О. И. Пономаренко, Н. С. Евтушенко, Т. В. Берлизова // Литейное производство. – 2011. – № 4. – С. 21–24.

15. Дёмин, Д. А. Управление качеством в литейном производстве: технологические аспекты в выборе оптимальных стратегий технического перевооружения [Текст] / Д. А. Дёмин // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Новые решения в современных технологиях. – 2014. – № 7 (1050). – С. 42–52.

*Рекомендовано до публікації д-р техн. наук, професор Хорошилов О. М.
Дата надходження рукопису 27.02.2017*

Орендарчук Юлія Владимировна, аспірант, кафедра литейного виробництва, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», ул. Кирпичева, 2, г. Харків, Україна, 61002

Мариненко Дмитрій Витальевич, кафедра литейного виробництва, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», ул. Кирпичева, 2, г. Харків, Україна, 61002
E-mail: litvo11@kpi.kharkov.ua

Борисенко Сергей Владимирович, кафедра литейного виробництва, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», ул. Кирпичева, 2, г. Харків, Україна, 61002

Лоєк Ирина Олеговна, кафедра литейного виробництва, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», ул. Кирпичева, 2, г. Харків, Україна, 61002

Ананьин Владислав Сергеевич, кафедра литейного виробництва, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», ул. Кирпичева, 2, г. Харків, Україна, 61002

УДК 663.1.047

DOI: 10.15587/2313-8416.2017.98978

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ЗАМОРОЖУВАННЯ КЛІТИННОЇ СУСПЕНЗІЇ

© **І. А. Буртна, Ж. І. Остапенко, Л. І. Ружинська**

В роботі розглядається математичне моделювання процесу заморожування клітинної суспензії перед сублімаційним сушінням. Вплив умов проведення технологічної операції заморожування можна оцінити розподіленням температур мікробної суспензії в процесі заморожування.

Математична модель дозволяє визначити розподіл температур при заморожуванні, а також швидкість заморожування в залежності від властивостей середовища, що заморожується, умов відведення теплової енергії та геометрії області, в якій протікає процес

Ключові слова: клітинна суспензія, мікробна маса, математичне моделювання, сублімаційне сушіння, температура, швидкість заморожування

1. Вступ

В біотехнологічних та фармацевтичних виробництвах для зневоднення мікробної маси використовують сублімаційне сушіння. Сублімаційне сушіння, як технологічний процес, складається з декількох операцій, важливішими з яких є операції заморожування мікробної суспензії та її висушування при низьких температурах в умовах вакууму. Якість готового продукту визначається кількістю життєздатних клітин мікроорганізмів на одиницю маси або об'єму, кінцевою вологістю, біоактивністю, тощо, і залежить від способу, температури, швидкості заморожування, та умов проведення сублімаційного сушіння. Найбільш важливим питанням при виборі технологічного обладнання та температур для проведення процесів заморожування клітинних суспензій перед сублімаційним сушінням є швидкість заморожування, або швидкість переміщення границі розділу рідкої та мерзлої фази суспензії. Швидкість

заморожування впливає на ріст кристалів льоду, які при певних умовах, можуть руйнувати клітини. Для визначення розподілу температур в клітинній суспензії в процесі заморожування та швидкості переміщення границі розділу рідкої і мерзлої фази в залежності від умов проведення процесу та властивостей суспензії необхідно розробити математичну модель процесу заморожування.

2. Літературний огляд

Математична модель процесу заморожування клітинної суспензії перед сублімаційним сушінням найбільш відповідає процесу заморожування вологого ґрунту або спокійної води у водоймі [1, 2]. Математична модель складається з диференціальних рівнянь нестационарної теплопровідності для мерзлого та талого шарів початкових умов, граничних умов першого роду на зовнішніх границях та граничних умов четвертого роду на рухомій границі розділу шарів. Границя розді-