

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

УДК 621.771

Полякова М.А., Ширяева Е.Н., Звягина Е.Ю.

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ СТАЛЬНОГО ЛИСТА КАК ОСНОВА ВЫБОРА МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Аннотация. Представлены результаты системного анализа технологического процесса производства горячекатаного стального листа. Показано, что системный анализ обеспечивает эффективный способ поиска основ математического моделирования многомерных технологических процессов. Представлена подробная схема процесса горячей прокатки стального листа, определяющая его входные и выходные параметры. Для технологической операции представлены потоки материалов, энергии и информации. Предлагается анализировать процесс горячей прокатки как совокупность целевых функций, которые позволят достичь характеристикам стального листа требуемого уровня механических свойств. Предложенный подход, основанный на системном анализе, позволяет выявить тенденции дальнейшего развития горячей прокатки. Показаны различия технологической и технической систем. В статье приведен анализ существующих подходов к определению технических и технологических систем согласно действующим стандартам, что позволяет установить их особенности. Отмечается, что оценку надежности технологических систем производят по критериям качества, производительности, а также используют критериальный подход. В зависимости от цели оценки надежности используют расчетный, опытно-статистический, регистративный или экспертный метод оценки. Оценка надежности различных видов технических систем основывается на определении показателей сохраняемости, безотказности, долговечности и ремонтпригодности.

Ключевые слова: горячая прокатка, стальной лист, техническая система, технологическая система, надежность, оценка.

Технологической системой (по ГОСТ 27.004-85 [1]) считается совокупность функционально взаимосвязанных средств технологического оснащения, предметов производства и исполнителей для выполнения в регламентированных условиях производства заданных технологических процессов или операций. К предметам производства относятся материал, заготовка, полуфабрикат и изделие, находящиеся в соответствии с выполняемым технологическим процессом в стадии хранения, транспортирования, формообразования, обработки, сборки, ремонта, контроля и испытаний. На рис. 1 представлена классификация технологических систем.



Рис. 1. Виды технологических систем

Как известно, целью функционирования любой технологической системы является продукция с заданным уровнем свойств. Любая технологическая

система состоит из большого количества элементов: оборудование, станки, инструменты и др., которые связаны между собой потоками материалов, энергии и информации. Технологическая система состоит из ряда последовательных технологических операций, в ходе осуществления которых происходит преобразование исходного полупродукта в готовое изделие. Одним из примеров технологической системы является процесс горячей прокатки стального листа. Используя системный анализ, можно построить структурную схему данного процесса, позволяющую установить входные и выходные параметры как технологической системы в целом, так и каждой отдельной технологической операции (рис. 2). Для получения горячекатаного стального листа с заданными свойствами необходимо обеспечить сквозной проход потока материала, энергии и информации от входа в технологическую систему к ее выходу.

Сложность взаимодействия потоков в технологической системе обуславливает большое количество факторов, которые необходимо учитывать в процессе производства стального горячекатаного листа [3]. При этом следует учитывать, что горячекатаный лист может использоваться, во-первых, в качестве подката при производстве стальной полосы холодной прокаткой, во-вторых, освоены технологические приемы, позволяющие получать горячекатаный лист со свойствами холоднокатаного и, в-третьих, горячекатаный лист может использоваться как товарная продукция, например, для производства труб большого диаметра. Таким образом, изменяя параметры соответствующих потоков на выходе из одной технологической системы, можно получать металлопродукцию с необходимым комплексом свойств для определенного функционального назначения.

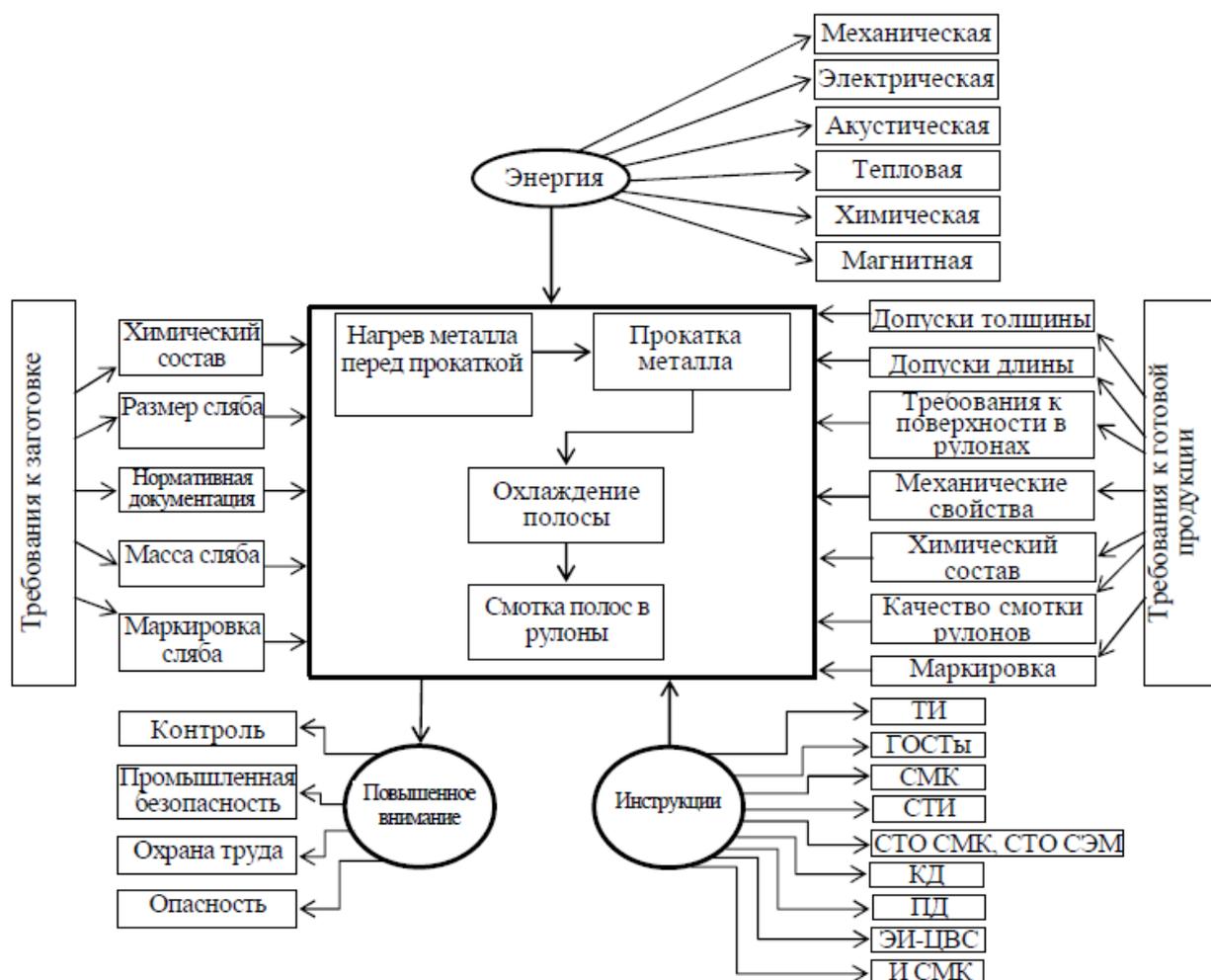


Рис. 2. Структурная схема технологической системы «горячая прокатка стальной полосы» [9]

Основной формо- и свойствообразующей технологической операцией данной технологической системы является операция «прокатка металла», которую также можно считать технологической системой. При этом прокатка металла будет являться подсистемой по отношению к технологической системе «горячая прокатка». Рассмотрим особенности взаимодействия потоков в технологической подсистеме «прокатка металла» (рис. 3). Входным потоком материала будет являться нагретый сляб, химический состав и размеры которого являются информационными потоками данной подсистемы. Режим прокатки определяется в результате контроля входных параметров заготовки. После контроля параметров исходной заготовки формируется следующий поток информации, состоящий из скорости прокатки, величины зазора между валками, температурного режима прокатки.

При подаче потоков энергии (механическая энергия, электрическая энергия, вода) непосредственно протекает процесс прокатки, в результате которого получается готовая полоса с заданными свойствами. Прокатанная полоса будет являться выходным потоком материала, а ее свойства - выходными потоками инфор-

мации. Существование любой технологической системы предусматривает наличие обратной связи, т.е. управления. Перед тем, как отправить полученный горячекатаный лист в следующие подсистемы (охлаждение, смотка), необходимо произвести контроль параметров полосы: толщина и ширина раската, температура конца прокатки. Если при контроле выявляется какое-либо несоответствие, то производится корректировка режимов прокатки, иными словами, изменяется поток информации до получения необходимых параметров.

В состав любой технологической системы входят различные технические системы. Под технической системой (по ГОСТ Р 57194.1-2016) понимается целостная совокупность конечного числа взаимосвязанных материальных объектов, имеющая последовательно взаимодействующие сенсорную и исполнительную функциональные части, модель их предопределенного поведения в пространстве равновесных устойчивых состояний и способная при нахождении хотя бы в одном из них (целевом состоянии) самостоятельно в штатных условиях выполнять предусмотренные ее конструкцией потребительские функции [4].

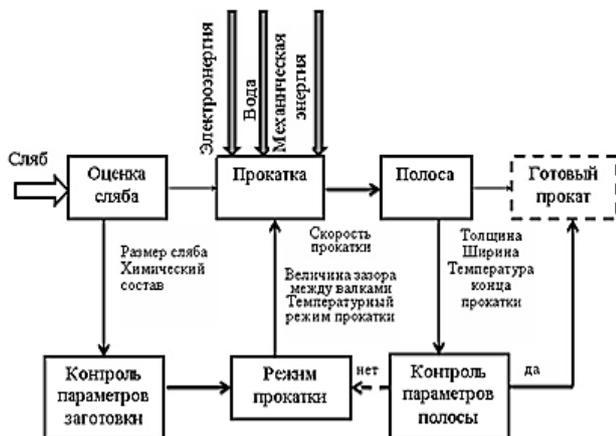


Рис. 3. Структурная схема подсистемы «прокатка металла» технологической системы «горячая прокатка стальной полосы»:

- поток материала - поток энергии;
- направление движения металла;
- поток информации;
- поток информации при несоответствии заданным требованиям

Эффективность и работоспособность функционирования любой технологической и технической системы определяется ее надежностью. Понятие «надежность» используется как характеристика технологических и технических систем. Надежность является одним из ключевых понятий в технике. Вопросы обеспечения надежности машин и механизмов являются объектом исследования многих научных школ. От надежности объектов техники в значительной степени зависит безопасность машин и оборудования. В действующем в настоящее время Техническом регламенте Таможенного союза «О безопасности машин и оборудования» установлены минимально необходимые требования безопасности машин и (или) оборудования при разработке (проектировании), изготовлении, монтаже, наладке, эксплуатации, хранении, транспортировании, реализации и утилизации в целях защиты жизни или здоровья человека, имущества, охраны окружающей среды, жизни и здоровья животных, предупреждения действий, вводящих в заблуждение потребителей [5]. Однако сложность конструкций используемых машин и оборудования, большое разнообразие по сферам и целям применения делает актуальной задачу по выбору метода оценки надежности, позволяющего получать точную и достоверную информацию об уровне надежности исследуемого объекта [6-11].

В настоящее время методы определения надежности строго регламентированы в соответствующих стандартах. На рис. 4 представлены методы определения надежности технологических систем.



Рис. 4. Методы оценки надежности технологических систем

Для оценки показателей надежности технологической системы по параметрам качества изготавливаемой продукции в зависимости от вида и целей оценки используют следующие методы согласно ГОСТ 27.202-83 [12]:

- расчетные методы, основанные на использовании математических моделей изменения параметров качества изготавливаемой продукции или параметров технологического процесса с учетом физики отказов (качественной природы процессов износа, старения, температурных деформаций и т.п.) и имеющихся априорных данных о свойствах технологических систем данного класса;

- опытно-статистические (измерительные) методы, которые основаны на использовании данных измерений параметров качества изготавливаемой продукции, полученных в результате специального выборочного обследования технологической системы и (или) специальных испытаний технологической системы и ее элементов;

- регистрационные методы основаны на анализе информации, регистрируемой в процессе управления предприятием;

- экспертные методы, основанные на использовании результатов опроса экспертной группы, располагающей информацией о надежности данной технологической системы, и факторах, влияющих на качество изготавливаемой продукции;

- метод квалитетов основан на сравнении требуемых значений параметров ТС с их предельными возможными значениями, установленными в справочной и нормативно-технической документации (НТД) в зависимости от квалитетов (классов) точности применяемых средств технологического оснащения и предметов производства.

Методы, используемые для оценки показателей надежности по параметрам производительности в зависимости от вида технологической системы согласно ГОСТ 27.204-83, те же, что и по показателям качества, но их сущность отличается [13]:

- расчетные методы основаны на использовании математических моделей изменения производительности системы и ее элементов, построенных с учетом структуры системы, моделей надежности средств

технологического оснащения и подсистем, функций распределения факторов (событий), влияющих на производительность системы и алгоритмов управления производительностью в различных производственных ситуациях;

– опытно-статистические (измерительные) методы основаны на использовании данных, полученных в результате специального выборочного обследования технологической системы и (или) специальных испытаний и ее элементов;

– регистрационные методы основаны на анализе информации, регистрируемой в процессе управления предприятием по нормативно-технической документации;

– экспертные методы основаны на использовании результатов опроса экспертной группы, располагающей информацией о надежности данной технологической системы и факторах, влияющих на ее производительность.

Для оценки надежности технологических систем по критериям развития техники необходимо рассматривать единый набор критериев, определяющих развитие техники. Эти критерии можно разделить на следующие группы: функциональные, технологические, экономические и антропологические. Каждая система критериев специально разрабатывается и обосновывается в зависимости от вида технологической системы, ее особенностей с учетом уровня развития аналогичных технологических систем.

Методы оценки надежности технических систем регулируются соответствующими стандартами: ГОСТ 27.002-2015 [14], ГОСТ Р 51901-2002 [15] и ГОСТ Р 51901.5-2005 (МЭК 60300-3-1:2003) [16].

В ГОСТ 27.002-2015 определены показатели, которые составляют сущность основных свойств надежности: безотказность, сохраняемость, ремонтнопригодность и долговечность (рис. 5).



Рис. 5. Свойства технической системы

Стандарт ГОСТ Р 51901.5-2005 (МЭК 60300-3-1:2003) «Менеджмент риска. Руководство по применению методов анализа надежности» входит в группу стандартов по анализу и оценке рисков и дополняет ГОСТ Р 51901-2002 «Управление надежностью. Анализ риска технологических систем». В настоящем стандарте содержится краткий обзор часто использу-

емых методов анализа надежности, а также описываются основные методы и указываются их преимущества и недостатки, входные данные и другие условия использования. Показатели надежности согласно данным нормативным документам хорошо известны, а особенности их применения для той или иной технической системы широко освещены в научной литературе [17-23 и др.].

Таким образом, анализ подходов к оценке надежности технологических и технических систем показывает, что выбор метода в значительной степени зависит от цели проведения исследования, вида и сложности технологической или технической системы, выбираемых показателей надежности. Эти вопросы актуальны с точки зрения качества получаемой информации о степени надежности анализируемой системы.

Список литературы

1. ГОСТ 27.004-85 Надежность в технике (ССНТ). Системы технологические. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 1985, 9 с.
2. Ширяева Е.Н. Проектирование процесса горячей прокатки на основе системного анализа: XVII Всероссийская конференция-конкурс студентов и аспирантов горно-геологического, нефтегазового, энергетического, машиностроительного и металлургического профиля: тез. докл. / Санкт-Петербургский горный университет. 2019. С. 284.
3. Румянцев М.И. Некоторые результаты развития и применения методологии улучшения листопрокатных технологических систем //Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2017. Т. 15. №1. С. 45-55.
4. ГОСТ Р 57194.1-2016. Трансфер технологий. Общие положения. М.: Стандартинформ, 2016, 12 с.
5. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности машин и (или) оборудования». Утвержден Решением Комиссии Таможенного союза от 18 октября 2011г. № 823.
6. Базовский И. Надежность. М.: Мир, 1965. 374 с.
7. Надежность в машиностроении: справ. / под ред. В.В. Шашкина, Г.П. Карзова. СПб.: Политехника, 1992. 719 с.
8. Надежность технических систем: справ. / Ю.К. Беляев [и др.]; под ред. И.А. Ушакова. М.: Радио и связь, 1985. 608 с.
9. Справочник по надежности / Ю.Г. Епишин, Б.А. Смирнин, Б.Р. Левин; под ред. Б.Р. Левина. М.: Мир, 1969. Т. 1. 339 с.
10. Справочник по надежности / П.К. Горохов, Б.Е. Бердичевский; под ред. Б.Е. Бердичевского. М.: Мир, 1970. Т. 2. 304 с.
11. Ф.С. Соловейчик, Б.Е. Бердичевский Справочник по надежности. / М.: Мир, 1970. Т. 3. 376 с.
12. ГОСТ 27.202-83. Надежность в технике. Технологические системы. Методы оценки надежности по параметрам качества изготавливаемой продукции. М.: Стандартинформ, 1983. 66 с.

13. ГОСТ 27.204-83. Надежность в технике. Технологические системы. Технические требования к методам оценки надежности по параметрам производительности. М.: Стандартинформ, 1984, 28 с.
14. ГОСТ 27.002-2015. Надежность в технике (сснт). Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2016. 28 с.
15. ГОСТ Р 51901-2002. Управление надежностью. Анализ риска технологических систем. М.: Стандартинформ, 2002. 29 С.
16. ГОСТ Р 51901.5-2005 (МЭК 60300-3-1:2003). Менеджмент риска. Руководство по применению методов анализа надежности. М.: Стандартинформ, 2005. 48 с.
17. Капур К., Ламберсон Л. Надёжность и проектирование систем. М.: Мир, 2010. 604 с.
18. Кубарев А.И. Теоретические основы и практические методы оценки надёжности технологических систем. М.: Знание, 2009. 90 с.
19. Белов П.Г. Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере М.: Академия, 2003. 512 с.
20. Ллойд Д. Надежность: Организация исследований, методы, математический аппарат: [пер. с англ.]. М.: Сов. радио, 1980. 686 с.
21. Барлоу Р., Прошан Ф. Математическая теория надёжности. М.: Сов. радио, 2009. 488 с.
22. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надёжности. М.: Наука, 2010. 524 с.
23. Зотова Л.В. Критерий эффективной долговечности и надёжности техники. М.: Экономика, 2011. 102 с.

Сведения об авторах

Полякова Марина Андреевна – д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры технологий обработки материалов, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: m.polyakova@magtu.ru

Ширяева Елена Николаевна – старший преподаватель кафедры машин и технологий обработки давлением и машиностроения, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: e.shyraeva@mail.ru

Звягина Елена Юрьевна – канд. техн. наук, ст. преподаватель кафедры машин и технологий обработки давлением и машиностроения, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: e.zvyagina@magtu.ru

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

SYSTEM ANALYSIS OF STEEL SHEET HOT ROLLING PROCESS AS THE BASICS FOR CHOICE THE DETERMINATION METHOD OF TECHNOLOGICAL SYSTEM DEPENDABILITY

Polyakova Marina Andreevna – Dr. Sci. (Eng.), Professor Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: m.polyakova@magtu.ru

Shiriaeva Elena Nikolaevna – Assistant Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: e.shyraeva@mail.ru

Zvyagina Elena Yuryevna – Caund. Sci.(Eng.), Assistant Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: e.zvyagina@magtu.ru

Abstract. *The results of system analysis of steel sheet hot rolling process are presented. It is shown that system analysis ensures the effective way for choosing the mathematical simulation of multidimensional technological processes. The detailed scheme of steel sheet hot rolling process is figured which determines its both input and output parameters. For the hot rolling technological operation flows of material, energy, and information are shown. It is proposed to analyze the hot rolling process as a totality of target functions which makes it possible to gain the required level of steel sheet mechanical properties. The proposed approach based on system analysis enables to reveal tendencies in hot rolling process development. Differences between technological and technical systems are detected. Analysis of the existing approaches of technical and technological systems definitions in accordance with current standards is presented which allows to state their peculiarities. It is noted that estimation of dependability is carried out using criteria of quality, productivity as well as criteria approach can also be used. Depending on the aim of dependability estimation the calculating, experimental-statistical, registration or expert method are applied. Estimation of different technical systems dependability is based on the identification of such indicators as maintainability, reliability, durability, and its and maintenance support performance.*

Keywords: hot rolling, steel sheet, technical system, technological system, dependability, evaluation

Ссылка на статью:

Полякова М.А., Ширяева Е.Н., Звягина Е.Ю. Системный анализ горячей прокатки стального листа как основа выбора метода определения надежности технологической системы // Теория и технология металлургического производства. 2019. №4 (31). С. 39-44.
Polyakova M.A., Shiryaeva E.N., Zvyagina E.Yu. System analysis of steel sheet hot rolling process as the basics for choice the determination method of technological system dependability. *Teoria i tehnologia metallurgiceskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2019, vol. 31, no. 4, pp.39-44.