



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2022-2-97-103>
УДК 621.81

Поступила 14.03.2022
Received 14.03.2022

РАЗРАБОТКА ОСНОВНЫХ ТРЕБОВАНИЙ К АВТОМАТИЗИРОВАННОМУ УЧАСТКУ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ КОЛЬЦЕРАСКАТНОГО КОМПЛЕКСА

В. Е. АНТОНЮК, С. Г. САНДОМИРСКИЙ, Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь, ул. Академическая, 12. E-mail: sand_work@mail.ru
С. О. НИКИФОРОВИЧ, В. В. РУДЫЙ, ОАО «БЕЛАЗ» – управляющая компания холдинга «БЕЛАЗ-ХОЛДИНГ», г. Жодино, Беларусь, ул. 40 лет Октября
Н. П. ТИМОШЕНКО, Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь, ул. Академическая, 12

Рассмотрены термические печи и вспомогательное оборудование для основных термических обработок (нормализация, отжиг, изотермический отжиг, улучшение), которым необходимо подвергнуть изделия после кольцераскатки для создания у кольцевых заготовок механических свойств и структуры, улучшающих обрабатываемость резанием. Разработаны основные требования к термическим печам, оптимальным для автоматизированного участка термической обработки кольцевых заготовок после кольцераскатки. Показано, что для выполнения всех заданных видов термической обработки целесообразно использовать однотипное термическое оборудование, имеющее одинаковый межремонтный ресурс и сроки обслуживания. Это позволяет в одинаковые сроки проводить остановку автоматизированной линии и одновременное обслуживание всех компонентов линии. Использование шахтных печей для термической обработки в автоматизированной линии термической обработки нецелесообразно, так как практически нет опыта встраивания их в такие линии.

Ключевые слова. Кольцевая заготовка, термическая обработка, нормализация, отжиг, изотермический отжиг, улучшение, термическое оборудование.

Для цитирования. Антонюк, В. Е. Разработка основных требований к автоматизированному участку термической обработки кольцераскатного комплекса / В. Е. Антонюк, С. Г. Сандомирский, С. О. Никифорович, В. В. Рудый, Н. П. Тимошенко // *Литье и металлургия*. 2022. № 2. С. 97–103. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2022-2-97-103>.

DEVELOPMENT OF BASIC REQUIREMENTS FOR AN AUTOMATED HEAT TREATMENT SITE OF A RING-ROLLING COMPLEX

V. E. ANTONYUK, S. G. SANDOMIRSKI, Joint Institute of Mechanical Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, 12, Akademicheskaya str. E-mail: sand_work@mail.ru
S. O. NIKIFOROVICH, V. V. RUDYI, OJSC “BELAZ” – Management Company of Holding “BELAZ-HOLDING”, Zhodino, Belarus, 40 let Ocyabrya str.
N. P. TIMOSHENKO, Joint Institute of Mechanical Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, 12, Akademicheskaya str.

Thermal furnaces and auxiliary equipment for the main thermal treatments (normalization, annealing, isothermal annealing, improvement) are considered, to which products must be subjected after ring rolling to create mechanical properties and structures in annular workpieces that improve the machinability by cutting. The basic requirements for thermal furnaces optimal for an automated section of heat treatment of annular blanks after ring rolling have been developed. It is shown that to perform all the specified types of heat treatment, it is advisable to use the same type of thermal equipment that has the same overhaul life and service life. This makes it possible to stop the automated line at the same time and simultaneously provide service for all components of the line. The use of shaft furnaces for heat treatment in an automated heat treatment line is not appropriate, since there is practically no experience of embedding them in such lines.

Keywords. Annular blank, heat treatment, normalization, annealing, isothermal annealing, improvement, thermal equipment.

For citation. Antonyuk V. E., Sandomirski S. G., Nikiforovich S. O., Rudyi V. V., Timoshenko N. P. Development of basic requirements for an automated heat treatment site of a ring-rolling complex. *Foundry production and metallurgy*, 2022, no. 2, pp. 97–103. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2022-2-97-103>.

Белорусский автомобильный завод создает уникальный кольцераскатный комплекс для производства кольцевых заготовок с наружным диаметром от 350 до 3000 мм и массой до 3000 кг из разных марок сталей, включая специальные стали 20X2H4A, 40XMΦA, 42CrMo4 [1]. Номенклатура кольцевых заготовок имеет более 100 наименований, годовая программа составляет около 200 000 шт.

Современные возможности кольцераскатки позволяют получить высокую окончательную точность кольца и улучшить физико-механические свойства материала [2, 3], а с целью создания у кольцевых заготовок механических свойств и структуры, улучшающих обрабатываемость резанием, их необходимо термически обработать. Поэтому в состав комплекса, кроме автоматизированной линии кольцераскатки, войдет и автоматизированный участок термической обработки кольцевых заготовок.

В основе такой термической обработки (нормализации, отжига, изотермического отжига, улучшения) лежат процессы нагрева и охлаждения [4]. Нагревательные, охладительные устройства и другое вспомогательное оборудование являются наиболее распространенным оборудованием цехов по производству и обработке материалов [5–12]. При проектировании оборудования термических цехов основное внимание должно уделяться внедрению технологии, повышающей качество выпускаемой продукции и ускоряющей цикл термической обработки. Необходимо систематически совершенствовать оборудование, механизировать и автоматизировать процессы, создавая поточные линии.

Максимальный экономический эффект от автоматизации может быть получен, когда в процессе проектирования технологического агрегата предусматривается его механизация, создаются резервы ресурсов управления и технологический процесс строится с учетом использования достижений науки управления – кибернетики. Расчеты показывают, что капитальные затраты на автоматизацию объектов окупаются в 3–4 раза быстрее, чем капитальные затраты на строительство новых производственных агрегатов. В конкурентной борьбе выигрывает тот, кто изготавливает изделия в соответствии с международными стандартами качества и с меньшей себестоимостью, чем другие.

В связи с высокими требованиями к уровню автоматизации возникает необходимость выбора оборудования автоматизированного участка термической обработки колец после кольцераскатки с возможностью гибкой переналадки и оптимальными затратами на обслуживание в эксплуатации.

Цель статьи – разработка основных требований к термическим печам, оптимальным для автоматизированного участка термической обработки кольцевых заготовок после кольцераскатки.

В термических печах реализуют режимы нагрева и охлаждения при заданном законе изменения температуры поверхности металла. Эти режимы предполагают корректировку температуры печной атмосферы во времени.

Автоматизированный участок термической обработки кольцевых заготовок должен включать следующие операции:

1. Идентификацию и учет поступивших с участка кольцераскатки кольцевых заготовок, передачу этой информации на пульт управления автоматизированной линии термической обработки.
2. Формирование оптимальной садки для проведения термической обработки с укладкой кольцевых заготовок на поддоны для дальнейшей транспортировки в печь.
3. Перемещение садки или кольцевых заготовок на позицию загрузки в печь.
4. Автоматизированную загрузку садки в печь.
5. Нагрев и выдержку садки в печи по разработанным циклограммам (в режиме время-температура) термической обработки деталей.
6. Автоматизированную выгрузку садки из печи и ее перемещение на стенд охлаждения.
7. Охлаждение садок или кольцевых заготовок на стендах согласно разработанным циклограммам до температуры 60 °С.
8. Автоматизированный контроль геометрических и структурных параметров кольцевых заготовок.
9. Автоматизированное перемещение охлажденных садок или кольцевых заготовок на стенды накопителя.

Тип печи для термической обработки выбирают с учетом всего перечня подвергаемых обработке деталей и следующих **основных требований**: простота конструкции и надежность в эксплуатации; высокое качество термической обработки; минимальное потребление энергии; экономичная эксплуатация, выполнение требований экологического характера [5–7, 10].

Анализ термических печей проводили по нескольким критериям: виду энергии (пламенные и электрические); периодичности действия (периодического или непрерывного действия); способу загрузки (камерные, шахтные, с выдвигаемым подом, колпаковые и т. д.); назначению (закалочные, нормализационные и т. п.).

Общие сведения по выбору типа печи или агрегата в зависимости от вида термической обработки приведены в табл. 1, 2.

Учитывая поштучное производство при кольцеракатке изделий разных размеров из различных сталей, для термической обработки изделий после нее целесообразно использовать печи периодического действия.

Таблица 1. Процессы термической обработки, проводимые в печах периодического действия

Тип печи	Характер загрузки	Процесс			
		отжиг	нормализация	нагрев под закалку	отпуск
Камерные	Разнообразные изделия	+	+	+	+
Шахтные		+	+	+	+
Колпаковые	Отливки, бунты проволоки, рулоны ленты, листы, прутки, крупные сварные изделия	+	+	–	+
Камерные с выкатным подом	Стальные и чугунные отливки, сварные конструкции, рулоны ленты и бунты проволоки	+	+	–	+
Элеваторные	Стальные и чугунные отливки, изделия из алюминиевых сплавов, крупные изделия	+	+	+	+
Проходные с передвижной камерой (с двумя подинами)	Средние и крупные изделия	+	–	–	–

Примечание. Знаком «+» отмечено применение печей для проведения указанных процессов.

Таблица 2. Процессы термической обработки, проводимые в печах непрерывного действия

Тип печи	Процесс		
	отжиг	изотермический отжиг	нормализация
Конвейерные	+	–	+
Роликово-конвейерные	+	+	+
Толкательные	+	+	+
Барабанные	+	–	–
С пульсирующим подом	+	–	+
Карусельные	+	–	–
Протяжные	+	–	+
Ручьевые	+	–	+
С шагающим подом	+	–	+
Туннельные	–	–	+

Примечание. Знаком «+» отмечено применение печей для проведения указанных процессов.

Камерные печи для термической обработки имеют близкие по значению длину, ширину и высоту рабочего пространства с одинаковой во всех его точках температурой. Преимущества камерных термических печей – в универсальности при создании разных температурно-временных условий и возможности использования при сложных режимах термообработки, например, типа отжига, где нельзя использовать проходные печи.

К недостаткам камерных термических печей следует отнести большие потери теплоты при периодических загрузках-выгрузках и в некоторых случаях невозможность использования в условиях поточного производства.

Камерная печь с неподвижным подом – это печь, в которой загрузка и выгрузка деталей происходят за счет механических устройств, расположенных за пределами печи (рис. 1).

Камерные печи с неподвижным подом имеют меньшие потери теплоты по сравнению с печами с выкатным (выкатным) подом. Но загрузка камерных печей с неподвижным подом осложнена для крупных деталей. Для их загрузки требуется использование мощной напольной загрузочной машины с перемещением по рельсам вдоль ряда печей. При количестве печей не более двух нет смысла иметь громоздкую загрузочную машину, а целесообразнее использовать печи с выкатным (выкатным) подом.

Для загрузки камерных печей с неподвижным подом обычно используют напольные рельсовые (рис. 2) и подвесные (рис. 3) манипуляторы.

*a**б*

Рис. 1. Камерная печь с неподвижным подом:
a – компании Sistem Tehnik [12]; *б* – компании Industrie-Ofen-Bau [13]

*a**б*

Рис. 2. Напольный рельсовый манипулятор для загрузки камерных печей с неподвижным подом:
a – компании BOSIO [14]; *б* – компании SECO WARWICK [15]

*a**б*

Рис. 3. Подвесной манипулятор для загрузки камерных печей с неподвижным подом:
a – компании GF ELNI [14]; *б* – компании LUBROTEKNA [17]

Камерная печь с выдвижным (выкатным) подом – это печь, в которой загрузка и выгрузка деталей производится на под, выкатываемый за пределы стен и свода печи (рис. 4). Их используют для термической обработки крупных деталей сложной конструкции, установка которых на под печи требует наличия специальных технологических устройств. Использование этих печей целесообразно, если масса садки велика и детали в садке укладываются с использованием специальных технологических проставок. Для загрузки камерной печи с выдвижным (выкатным) подом в составе автоматизированной линии термической обработки целесообразно использование подвесных манипуляторов (рис. 5).



Рис. 4. Камерная печь с выдвижным (выкатным) подом: *а* – компании REPKON [18]; *б* – компании GF ELNI [16]



Рис. 5. Загрузка камерной печи с выдвижным (выкатным) подом подвесным манипулятором REPKON [18]

Шахтные печи для термической обработки используют для проведения разных видов термообработки (закалка, отпуск, отжиг, нормализация) в воздушной среде. Шахтные печи обеспечивают равномерное распределение температуры во всем объеме камеры.

Шахтные ретортные печи используют для термической обработки в атмосфере защитного газа или реакционных газов.

На рис. 6, 7 показаны соответственно газовая шахтная ретортная печь для закалки и газовая шахтная ретортная печь для высокого и низкого отпуска крупногабаритных колец при температуре 750–1000 °С в атмосфере воздуха и атмосфере азота с рабочим диаметром нагревательной камеры 3,0 м и максимальной садкой 10,0 т.

Шахтные закалочные баки (рис. 8) используют для закалки в масле.

Шахтные устройства для мойки (рис. 9) используют после закалки в масле.

Проведенный анализ термических печей и вспомогательного оборудования для основных термических обработок (нормализация, отжиг, изотермический отжиг, улучшение), которым необходимо подвергнуть изделия после кольцераскатки для создания у кольцевых заготовок механических свойств и структуры, улучшающих обрабатываемость резанием, позволяет сделать следующие выводы.



Рис. 6. Газовая шахтная ретортная печь модели PGGAt-300.160-950-100 компании SECO WARWICK [15]



Рис. 7. Газовая шахтная ретортная печь модели PGG-300.160-750-100 компании SECO WARWICK [15]

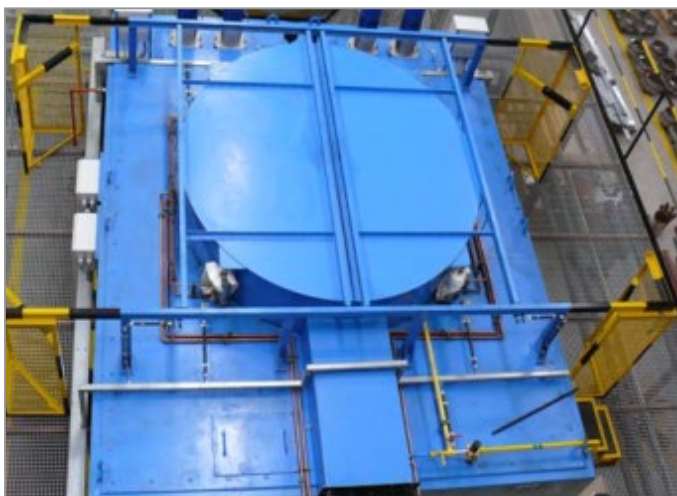


Рис. 8. Шахтный закалочный бак модели QPO-300.160E компании SECO WARWICK [15]



Рис. 9. Шахтные устройства для мойки модели MKV-300.160E компании SECO WARWICK [15]

1. Для выполнения всех заданных видов термической обработки целесообразно использовать однотипное термическое оборудование, имеющее одинаковый межремонтный ресурс и сроки обслуживания, что позволяет в одинаковые сроки проводить остановку автоматизированной линии и одновременное обслуживание всех компонентов линии.

2. Камерные печи с неподвижным подом требуют минимальных затрат на обслуживание, имеют наибольший межремонтный интервал. Для их загрузки целесообразно использовать напольные рельсовые манипуляторы. Для сокращения величины выдвигания загрузочного устройства целесообразно использовать рабочее пространство камерной печи с одинаковой шириной и длиной для размещения одного поддона.

3. Камерные печи с выдвигным подом позволяют более технологично загружать детали сложной конфигурации. Но это не существенно при термической обработке однотипных кольцевых заготовок. Использование камерных печей с выдвигным подом в автоматизированной линии увеличивает стоимость оборудования, но не дает существенных преимуществ по сравнению с печами с неподвижным подом.

4. Проходные роликовые печи и камерные печи с роликовым подом имеют небольшой межремонтный срок, требуют периодической замены роликов из жаропрочных марок сталей. Системы охлаждения роликов требуют систематического обслуживания. Поэтому использование таких печей в автоматизированной линии термической обработки нецелесообразно.

5. Практически нет опыта встраивания шахтных печей в автоматизированные линии. Поэтому использование таких печей в автоматизированной линии термической обработки нецелесообразно.

ЛИТЕРАТУРА

1. ОАО «БЕЛАЗ» построит современный комплекс кольцераскатки в Орше [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.belta.by/economics/view/belaz-postroit-sovremennyj-koltseraskatnyj-kompleks-v-orshe-434867-2021/> – Дата доступа: 09.03.22.
2. **Антонюк, В.Е.** Кольцераскатка в условиях автоматизированного производства / В.Е. Антонюк, П.А. Пархомчик, В.В. Рудый. Мн.: Беларуская навука, 2021. 245 с.
3. **Антонюк, В.Е.** Задачи технологического обеспечения автоматизированного кольцераскатного комплекса / В.Е. Антонюк, С.Г. Сандомирский, В.В. Рудый // Механика машин, механизмов и материалов. 2021. № 2 (55). С. 43–54.
4. **Лахтин, Ю.М.** Материаловедение / Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева. М.: Машиностроение. 1980. 493 с.
5. **Эйсмондт, Ю.Г.** Оборудование термических цехов: учеб. пособ. в 3-х т. / Ю.Г. Эйсмондт, В.А. Хотинов, М.В. Майсурдзе. Т. 1. Основное термическое оборудование. Екатеринбург: УрФУ, 2015. 257 с.
6. **Мордасов, Д.М.** Оборудование и автоматизация процессов производства и обработки материалов / Д.М. Мордасов, Д.О. Завражин. Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. 96 с.
7. **Кисленков, В.В.** Оборудование термических цехов / В.В. Кисленков. СПб: СПбГПУ, 2011. 142 с.
8. **Гусовский, В.Л.** Методики расчета нагревательных и термических печей / В.Л. Гусовский, А.Е. Лифшиц. М.: Теплотехник, 2004. 400 с.
9. Расчет нагревательных и термических печей: справ. / С.Б. Василькова и др. М.: Металлургия, 1983. 480 с.
10. **Сатановский, Л.Г.** Нагревательные и термические печи в машиностроении / Л.Г. Сатановский, Ю.А. Мирский. М.: Металлургия, 1971. 384 с.
11. **Долотов, Г.П.** Оборудование для термических цехов и лабораторий испытания металлов / Г.П. Долотов, Е.А. Кондаков. М.: Машиностроение, 1988. 336 с.
12. <http://mashmex.ru/mehanika-mashinostroenie.html/> – Дата доступа: 09.03.22.
13. <https://www.sistemteknik.com/> – Дата доступа: 09.03.22.
14. <http://www.unserebroschuere.de/IOB/WebView/> – Дата доступа: 09.03.22.
15. SECO/WARWICK [Электронный ресурс] / <https://www.secowarwick.com/wp-content/uploads/2017/03/Steel-Reheat-Furnaces2.pdf> – Дата доступа: 09.03.22.
16. <https://www.gfelti.com/en> – Дата доступа: 09.03.22.
17. <https://www.directindustry.com/prod/gadda-group/product-50762-1774969.html>.
18. <https://www.repkon.com.tr/en> – Дата доступа: 09.03.22.

REFERENCES

1. <https://www.belta.by/economics/view/belaz-postroit-sovremennyj-koltseraskatnyj-kompleks-v-orshe-434867-2021>.
2. **Antonyuk V.E., Parhomchik P.A.** *Kol'ceraskatka v usloviyah avtomatizirovannogo proizvodstva* [Ring rolling in automated production]. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2021. 245 p.
3. **Antonyuk V.E., Sandomirski S.G., Rudy V.V.** *Zadachi tekhnologicheskogo obespecheniya avtomatizirovannogo kol'ceraskatnogo kompleksa* [Tasks of technological support of the automated ring rolling complex]. *Mekhanika mashin, mekhanizmov i materialov = Mechanics of machines, mechanisms and materials*, 2021, no. 2 (55), pp. 43–54.
4. **Lahtin Yu. M., Leont'eva V.P.** *Materialovedenie* [Material Science]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1980, 493 p.
5. **Ejsmond't Yu. G., Hotinov V.A., Majsuradze M.V.** *Oborudovanie termicheskikh cehov* [Equipment of thermal shops]. Ekaterinburg, UrFU Publ., 2015, Vol. 1, 257 p.
6. **Mordasov D.M., Zavrazhin D.O.** *Oborudovanie i avtomatizaciya processov proizvodstva i obrabotki materialov* [Equipment and automation of production processes and processing of materials]. Tambov, Izdatel'stvo FGBOU VO «TGTU» Publ., 2016, 96 p.
7. **Kislenkov, V.V.** *Oborudovanie termicheskikh cehov* [Equipment of thermal shops]. Sankt Peterburg, SPbGPU Publ., 2011, 142 p.
8. **Gusovskij V.L., Lifshic A.E.** *Metodiki rascheta nagrevatel'nyh i termicheskikh pechej* [Calculation methods for heating and thermal furnaces]. Moscow, Teplotekhnika Publ., 2004, 400 p.
9. **Vasil'kova S.B., Genkina M.M., Gusovskij V.L., Lifshic A.E., Masalovich V.G., Perimov A.A., Spivak E.I., Tymchak V.M.** *Raschyot nagrevatel'nyh i termicheskikh pechej* [Calculation of heating and thermal furnaces]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1983, 480 p.
10. **Satanovskij L.G., Mirskij Yu.A.** *Nagrevatel'nye i termicheskie pechi v mashinostroenii* [Heating and thermal furnaces in mechanical engineering]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1971, 384 p.
11. **Dolotov G.P., Kondakov E.A.** *Oborudovanie dlya termicheskikh cehov i laboratorij ispytaniya metallov* [Equipment for thermal shops and metal testing laboratories]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1988, 336 p.
12. <http://mashmex.ru/mehanika-mashinostroenie.html>.
13. <https://www.sistemteknik.com>.
14. <http://www.unserebroschuere.de/IOB/WebView>.
15. <https://www.secowarwick.com/wp-content/uploads/2017/03/Steel-Reheat-Furnaces2.pdf>.
16. <https://www.gfelti.com/en>.
17. <https://www.directindustry.com/prod/gadda-group/product-50762-1774969.html>.
18. <https://www.repkon.com.tr/en>.