



УДК 621.914

ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ

С.Н.САНИН¹, Н.А.ПЕЛИПЕНКО²

¹ Белгородский государственный технологический университет им. В.Г.Шухова, Белгород, Россия

² Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия

Рассмотрены преимущества и перспективы применения мобильных станкороботов при изготовлении крупногабаритных деталей в горно-рудной, цементной и атомной отраслях промышленности, а также важность использования сварных конструкций для сокращения производственных затрат. Представлены схемы чистовой механической обработки сварных крупногабаритных деталей типа тел вращения с использованием мобильных станкороботов, оснащенных ленточно-шлифовальным инструментом, укрупненное описание технологического процесса изготовления крупногабаритной обечайки сварной конструкции. Сделан вывод о необходимости внимания к вопросам применения в промышленности безрамной технологии производства, особенно при станочной обработке крупногабаритных деталей, причем применение небольших мобильных станкороботов является продуктивным подходом и носит перспективный характер. Предлагаемые в статье технологические подходы позволяют снять ограничение на габаритные размеры и массу изготавливаемых деталей, которые предлагается изготавливать непосредственно на месте будущей эксплуатации. Эффективность данной технологии подтверждается как теоретическими изысканиями, так и практическими данными авторов. Отмечено, что выпуск отечественной станкоинструментальной промышленностью мобильных универсальных и специальных станкороботов позволит вывести машиностроение страны на новый, качественный мировой уровень.

Ключевые слова: мобильный станкоробот, крупногабаритные детали, ленточное шлифование, сварные конструкции, безрамная технология, тяжелое машиностроение

Как цитировать эту статью: Санин С.Н. Инновационная технология изготовления крупногабаритных изделий / С.Н.Санин, Н.А.Пелипенко // Записки Горного института. 2018. Т. 230. С. 185-189. DOI: 10.25515/PMI.2018.2.185

Введение. Применение в горной, атомной промышленности и промышленности строительных материалов крупногабаритных технологических агрегатов связано со значительными издержками как на этапах становления производства, так и при эксплуатации применяемого оборудования. Разработка оптимальных производственных технологий и методов восстановления изношенных деталей является актуальным вопросом тяжелого машиностроения [1, 3, 5-7]. В работах [4, 11, 13] были рассмотрены особенности технологии восстановительной механической обработки крупногабаритных деталей, масса которых превышает 60000 кг, а размер – 6000 мм. Была создана теория, позволяющая расширить возможности применения небольших станков для обработки крупногабаритных деталей.

Постановка проблемы. В статье предлагается распространить практические результаты, достигнутые ранее, полностью на всю технологию производства крупногабаритных деталей, включая нулевые операции. Эту возможность можно реализовать при условии создания нового поколения металлообрабатывающего оборудования – мобильных станкороботов. Создание станкороботов [14] позволяет существенно расширить технологическую вооруженность предприятий, включая предприятия горно-рудного и атомного машиностроения.

Стоимость изготовления крупногабаритных деталей в значительной степени связана с теми затратами, которые несет предприятие-изготовитель при приобретении и эксплуатации своих основных средств и оборудования. Как правило, при производстве крупногабаритных деталей машин применяются уникальные станки, занимающие огромные производственные площади. Для перемещения деталей в таких цехах применяют мощные грузоподъемные механизмы. Все это накладывает свой отпечаток на требования к конструкции цехового здания, устройству его фундамента, несущих опор и перекрытий, а следовательно, и на стоимость этих зданий.

Многие крупногабаритные детали, такие как бандажки вращающихся печей или венцовые шестерни, невозможно транспортировать к месту эксплуатации в целом виде, поэтому они производятся разборными, а трудоемкость их последующей сборки значительно повышается из-за появления значительных деформаций вследствие релаксации напряжений, которые приходится устранять на месте сборки. Для других деталей, таких как корпуса атомных реакторов, которые по известным требованиям должны поставляться сразу в целом виде, так как вне заводских условий обеспечить требуемое качество их сварных швов гарантировать не удастся, существуют объективные ограничения в габаритных размерах.

Методология. Существует решение, которое позволит отказаться от применения уникального оборудования при производстве практически любых крупногабаритных деталей типа тела вращения, включая детали типа колец, обечаек и зубчатых колеса. Решением является производство таких деталей на территории потребителя с использованием мобильного оборудования и безрамной технологии. В ряде случаев это оборудование может полностью заменить собой уникальное оборудование цехов тяжелого машиностроения, что также приведет к экономическим преимуществам нового производства.

Несомненно, применяемые на сегодняшний день технологии механической обработки при восстановлении изношенных и разрушенных рабочих поверхностей крупногабаритных деталей остаются далекими от совершенства, так как связаны со значительной долей ручного труда по настройке и наладке применяемого оборудования и, как следствие, с высокой степенью риска для здоровья работников, низкой производительностью труда и длительными простоями восстанавливаемого технологического оборудования. После некоторого усовершенствования эти технологии способны не только поднять на новый уровень качество проводимых ремонтов, но и стать применимыми в качестве основных методов механической обработки при производстве крупногабаритных изделий. Применение станкороботов призвано решить указанные проблемы.

В зависимости от конкретной решаемой задачи, вида изготавливаемой детали или обрабатываемой поверхности должен быть сформулирован ряд требований, определяющих технические характеристики применяемого мобильного станкоробота. Для станкоробота, предназначенного для механической обработки поверхностей катания бандажей вращающихся печей, требования будут следующими:

1. Мобильный станкоробот должен обеспечивать требуемую точность формообразования, т.е. траектории движения исполнительных органов станкоробота, осуществляющих процессы резания, должны быть программно управляемыми [13, 14]. Станкоробот должен работать в широком диапазоне температур, учитывая протяженность обрабатываемых поверхностей, износ режущего инструмента, появление погрешностей, связанных с базированием обрабатываемой детали и самого станкоробота, а также погрешностей формы исходной поверхности бандаж. Все эти факторы станкоробот должен иметь возможность измерить и учесть в процессе работы, чтобы правильно скорректировать траектории перемещения своих рабочих органов для обеспечения заданных форм обрабатываемых поверхностей бандажей.

2. Мобильный станкоробот должен обладать массой и габаритными размерами, с одной стороны обеспечивающими высокую прочность, жесткость и виброустойчивость, а с другой транспортабельность по автомобильным и железным дорогам, исключая необходимость получения специальных разрешений, сложные сборочно-разборочные операции и сопровождение автомобилями ГИБДД. Так, например, допустимая ширина транспортного средства согласно нормативам равна 2,5 м, длина 20 м для автопоезда или 12 м для грузового автомобиля.

3. Мобильный станкоробот должен обеспечивать оперативное разворачивание в рабочее положение и не менее оперативный перевод в транспортное положение. Следовательно, эти процессы должны быть механизированы и автоматизированы.

4. Мобильный станкоробот должен быть применимым как для механической обработки новых бандажей при их изготовлении, так и для обработки изношенных бандажей, демонтированных с цементной печи или без демонтажа.

Обсуждение. Важным аспектом новой технологии является полный отказ от литейных методов производства заготовок для крупногабаритных деталей и переход к сварным конструкциям [4]. Такая технология предполагает подготовку и раскрой листового или полосового проката, его гибку, сварку и последующее искусственное старение. Примеры конструктивного оформления сварных деталей представлены на рис.1.

Предложенная [4] технология позволяет после сборки изделия обойтись без черновых методов механической обработки по-

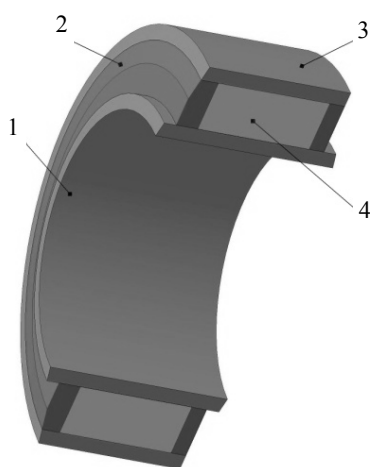


Рис.1. Конструкция сварного пустотозаполненного бандаж сварной конструкции для вращающейся печи

- 1 – внутреннее кольцо; 2 – боковое кольцо; 3 – наружное кольцо; 4 – бетонный наполнитель

верхностей и сразу перейти к чистовым методам. В работах [2, 8-10, 12] предложено использовать для механической обработки крупногабаритных деталей шлифование и даны рекомендации по оптимизации этого процесса. Однако в работе [11] показано, что оптимальным методом чистовой обработки поверхностей крупногабаритных вращающихся деталей является бесцентровое шлифование абразивной лентой при поперечном направлении главного движения режущего инструмента.

Применяемый режущий инструмент в свою очередь накладывает свои требования к конструкции мобильных станкороботов. В отличие, например, от токарного резца, контакт которого с обрабатываемой поверхностью можно считать точечным, абразивная лента взаимодействует с поверхностью детали по поверхности большой площади, форма которой зависит от формы режущей части абразивной ленты (отрезок прямой, плоскость, цилиндр). В этом случае на рабочий орган станкоробота воздействует сложная совокупность поперечных моментов.

Разработанная авторами конструкция мобильного станкоробота позволяет выполнять механическую обработку бандажей и обечаек как по наружной поверхности, так и по внутренней, а также по торцам. Причем схема базирования обрабатываемой детали может быть как классической, по торцу и отверстию (рис.2), так и бесцентровой (рис.3). Независимо от применяемой схемы базирования, мобильный станкоробот должен обеспечивать требуемую точность формообразования.

Кинематическая схема станкоробота (рис.4) для шлифования бандажей представляет собой последовательную структуру, обеспечивающую не только оптимальный доступ рабочего органа станкоробота к обрабатываемым поверхностям, но и необходимую подвижность, способную за счет движения звеньев станкоробота компенсировать неопределенность базирования обрабатываемой детали, самого станкоробота и прочие погрешности, изменяющиеся динамически. Применение механизмов параллельной структуры в

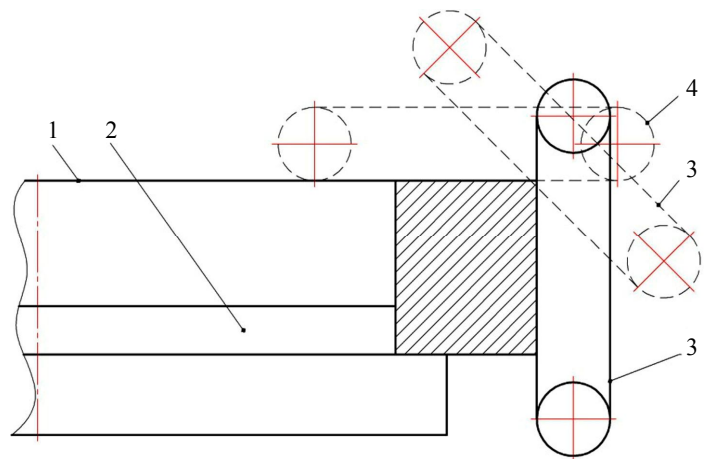


Рис.2. Схема ленточного шлифования при базировании бандажа на фундаменте или специальном стенде
1 – бандаж; 2 – фундамент или специальный стенд; 3, 4, 5 – расположение инструмента при шлифовании торца, фаски и поверхности катания бандажа соответственно

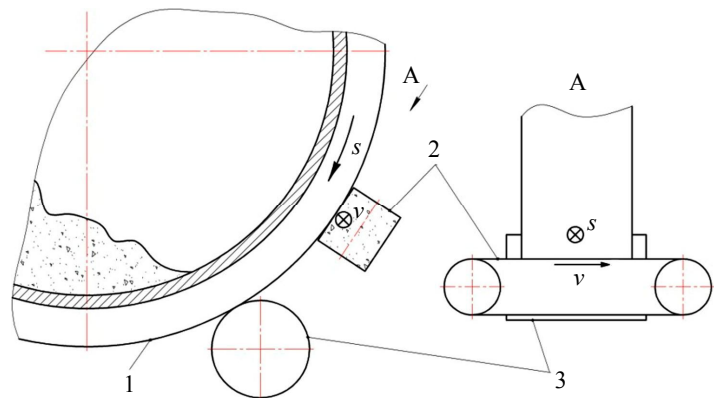


Рис.3. Схема ленточного шлифования бандажа на вращающейся печи
1 – бандаж; 2 – режущий инструмент; 3 – опорный ролик

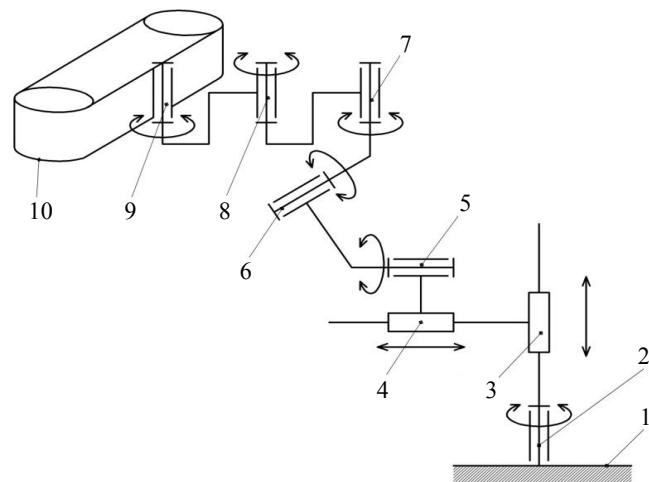


Рис.4. Кинематическая схема мобильного станкоробота для шлифования поверхностей катания бандажей вращающихся агрегатов

1 – стойка; 2 – привод поворотных установочных перемещений;
3 – привод вертикальных установочных перемещений;
4 – привод радиальных установочных перемещений; 5 – привод наклона инструмента в поперечной плоскости; 6 – привод наклона инструмента в продольной плоскости; 7-9 – приводы настроечного движения инструмента; 10 – шлифовальный инструмент станкоробота

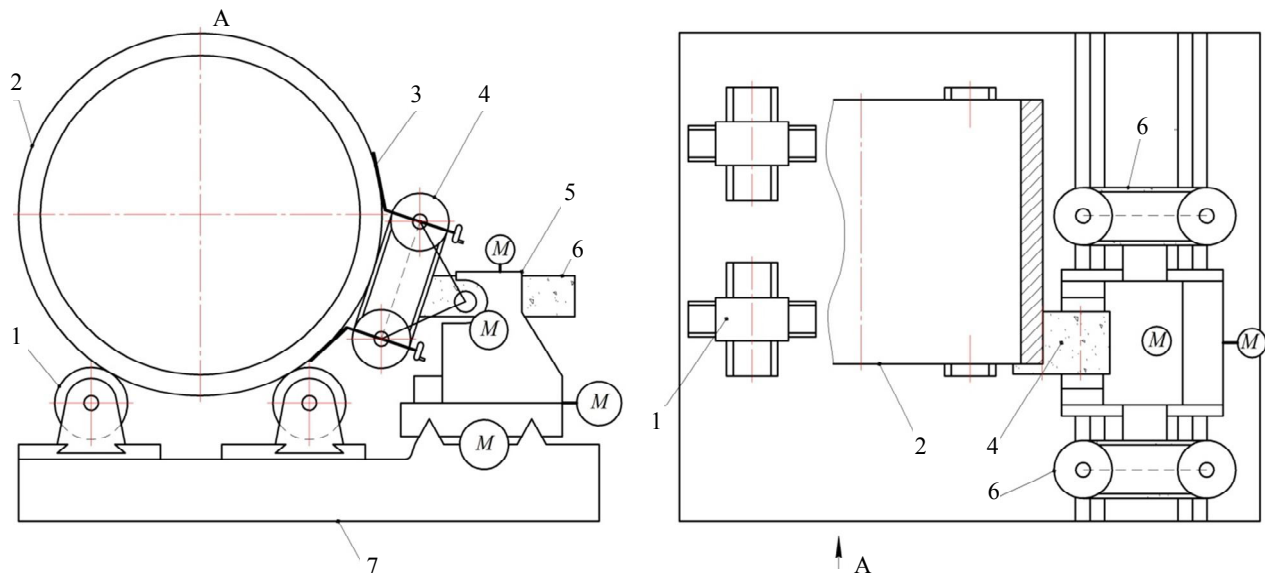


Рис.5. Схема применения станкоробота при шлифовании обечайек и корпусов

1 – регулируемая опора с роликом; 2 – обечайка; 3 – органы контроля неопределенности базирования; 4 – шлифовальный инструмент для наружной поверхности; 5 – суппорт; 6 – шлифовальные инструменты для торцовых поверхностей; 7 – мобильная платформа

разработанном станкороботе допускается для повышения жесткости конструкции, однако накладывает определенные ограничения на величины наладочных и компенсирующих перемещений.

Перспективной представляется возможность применения мобильных станкороботов при механической обработке поверхностей длинных обечайек и корпусов атомных реакторов. При этом фактически схемы механической обработки (рис.5) мало отличаются от схем обработки бандажей. Разница кроется лишь в протяженности обрабатываемых поверхностей и необходимости применения дополнительной оснастки, позволяющей выполнять механическую обработку внутренних поверхностей на разной глубине или наружных ступенчатых поверхностей.

Таким образом, укрупненно технологию производства обечайек для крупногабаритных агрегатов можно свести к следующим пунктам:

- отрезка заготовки из листового (полосового) проката, разделка кромок;
- гибка заготовки на вальцах с подогревом;
- установка распорных элементов и сварка сомкнувшихся кромок заготовки в кольцо;
- искусственное старение обечайки;
- установка обечайки в приспособление с выверкой;
- ленточное шлифование наружной, при необходимости внутренней и торцовых поверхностей обечайки для придания заданных параметров точности и качества.

Для снижения себестоимости крупногабаритных изделий и их деталей наиболее рациональным решением является перенос производственного процесса к потребителю, т.е. на территорию предприятия, использующего в своем производственном цикле эти крупногабаритные изделия. В качестве материала для получения их заготовок наилучшим образом подходит листовой или полосовой прокат, который можно подвергнуть гибке на вальцах. Технологичность проката является причиной, позволяющей полностью отказаться от процессов литья, для организации которого требуются значительные объемы основных средств производства.

Термическую обработку сваренной обечайки можно выполнить на установке, включающей подвижные газовые или микроволновые нагреватели и защитный купол. Условий, созданных в такой импровизированной печи, будет достаточно для нагрева изделия до температуры 650-700 °С и медленного охлаждения.

Все оборудование, необходимое для реализации указанной технологии, должно быть мобильным. Вальцы, купольная печь, ленточно-шлифовальный станкоробот должны легко монтироваться и демонтироваться, а в транспортном положении вписываться в габаритные размеры транспортного средства. Прокат для изготовления заготовок может быть раскроен заблаговременно и доставлен к месту сборки в подготовленном виде.



Итогом внедрения такой мобильной системы станет существенное снижение капитальных затрат на приобретение и обслуживание тяжелого станочного, печного и прочего технологического и вспомогательного оборудования, строительство уникальных цеховых зданий, транспортировку негабаритных изделий. Кроме того, изготовление обечаек на месте эксплуатации значительно снизит риск возникновения деформаций, связанных с транспортировкой и погрузочно-разгрузочными работами.

Универсальность предложенной технологии может способствовать ее распространению на другие отрасли промышленности, а производительность выполнения работ приведет к значительному сокращению сроков реализации новых технологических проектов.

Выводы

1. Большой объем теоретических исследований, множественных промышленных апробаций и изобретений, разработанных и выполненных авторами, показал, что новая парадигма технологических представлений, касающихся станочной обработки крупногабаритных деталей с помощью небольших станкороботов, является продуктивной и носит перспективный характер.

2. Новая технология позволяет снять ограничение на габаритные размеры и массу изготавливаемых деталей.

3. Высокая технологическая и экономическая эффективность предлагаемой технологии подтверждена практикой.

4. Освоение станкоинструментальной промышленностью мобильных универсальных и специальных станкороботов позволит вывести машиностроение нашей страны на новый качественный мировой уровень.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бондаренко В.Н. Комплексный подход к ремонтной обработке поверхностей катания цементных печей / В.Н.Бондаренко, А.А.Кудеников, М.В.Куденикова // Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова. 2011. № 5. С. 274-277.
2. К исследованию режимов ленточного шлифования поверхностей качения бандажей и роликов технологических барабанов / И.В.Шрубченко, В.Ю.Рыбалко, Л.В.Мурьгина, Н.А.Щетинин // Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова. 2013. № 3. С. 77-81.
3. Мурьгина Л.В. Математическая модель оптимизации ленточно-абразивной обработки базовых поверхностей опор технологических барабанов / Л.В.Мурьгина, И.В.Шрубченко // СТИН. 2012. № 3. С. 31-34.
4. Пелипенко Н.А. Технология прецизионного формообразования крупногабаритных пустотозаполненных колец диаметром более 4000 мм / Н.А.Пелипенко, С.Н.Санин // Тяжелое машиностроение. 2016. № 5. С. 34-39.
5. Рыбалко В.Ю. Оптимизация режимов ленточного шлифования поверхностей бандажей по гарантированному обеспечению заданного уровня шероховатости / В.Ю.Рыбалко, Л.В.Мурьгина, И.В.Шрубченко // Молодежь и научно-технический прогресс: Сб. докл. Междунар. науч.-практич. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых; Губкинский филиал БГТУ им. В.Г.Шухова. Губкин, 2012. С. 47-51.
6. Стативко А.А. Обеспечение процесса формообразования при бесцентровой обработке бандажей цементных печей // Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова. 2003. № 7. С. 64-66.
7. Шрубченко И.В. Контактные проявления погрешности формы и расположения в технологических барабанах / И.В.Шрубченко, А.В.Хургасенко, М.С.Гончаров // Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова. 2016. № 2. С. 81-86.
8. Dynamics analysis and simulation of roll grinder components / Y.Qingni, L.Jian, P.Weiji, Y.Qingyun // Manufacturing Technology. 2014. N 14 (4). P. 600-607.
9. Cherpchurov M.S. Getting Flat Surfaces in Turning / M.S.Cherpchurov, A.V.Tyurin, M.Eu.Zhukov // World Applied Sciences Journal. 2014. Vol. 30. N 10. P. 1208-1213.
10. Investigation of the Cutting Forces in Creep-Feed Surface Grinding Process / M.Gostimirović, D.Rodić, P.Kovač, D.Jesić, N.Kulundžić // Journal of Production Engineering. 2015. Vol. 18. N 1. P. 21-24.
11. Introduction to Theory of Transverse Centerless Grinding of Large Cylindrical Surfaces / N.A.Pelipenko, S.N.Sanin, A.A.Afanasjev, T.A.Dujun, A.A.Gunkin // Research Journal of Applied Sciences. 2014. N 9. P. 696-699.
12. Optimization of cutting conditions for the processing of bandages of rotary cement kilns at a special stand / I.V.Shrubchenko, A.V.Hurtasenko, M.N.Voronkova, L.V.Murygina // World Applied Sciences Journal. 2014. Vol. 31. N 9. P. 1593-1600.
13. Theoretical Basis of the Principle of Roundness Ensuring Under Centreless Machining of Large Capacity Parts / N.A.Pelipenko, S.N.Sanin, A.A.Pikalova, T.A.Dujun, A.A.Gunkin // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2014. N 5(5). P. 1748-1758.
14. Tratar J. Robot Milling Of Welded Structures / J.Tratar, J.Kopač // Journal of Production Engineering. 2013. Vol. 16. N 2. P. 29-32.

Авторы: С.Н.Санин, канд. техн. наук, доцент, *osup-sns@yandex.ru* (Белгородский государственный технологический университет им. В.Г.Шухова, Белгород, Россия), Н.А.Пелипенко, д-р техн. наук, профессор, *pelipenkona@mail.ru* (Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия).

Статья принята к публикации 19.12.2017.