

МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НАПЛАВЛЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ НА ОСНОВЕ СИСТЕМНОГО И ПРОЦЕССНОГО ПОДХОДОВ

Н. Н. Малущин, В. Е. Громов, Д. А. Романов, Л. П. Башченко

Сибирский государственный индустриальный университет (Россия, 654007, Кемеровская обл. – Кузбасс, Новокузнецк, ул. Кирова, 42)

Аннотация. На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований с использованием графического метода анализа причинно-следственных связей (диаграмма Исикавы) разработана модель комплексного управления качеством изготовления наплавленных деталей машин и механизмов. Предлагается усовершенствовать диаграмму путем применения системного и процессного подходов к менеджменту качества, изложенных в международных стандартах ИСО 9000:2008. Предложено при рассмотрении диаграммы факторные показатели рассматривать как систему взаимосвязанных процессов, а результат выполнения этих процессов как систему основных показателей качества продукции. По уровню подробности рассмотрения процессов предложено их классифицировать: процессы верхнего уровня; детальные процессы; элементарные процессы (операции, не требующие более детального описания). При этом главные причины, влияющие на качество, предлагается рассматривать как процессы верхнего уровня, вторичные причины – как детальные процессы, а причины третьего порядка – как элементарные процессы. Предложена модель управления качеством изготовления наплавленных деталей машин и механизмов (на примере технологического процесса изготовления наплавленных рабочих валков холодной прокатки), построенная на основе диаграммы Исикавы с использованием метода расслоения 5М, который учитывает факторы, зависящие от человека, машины, материала, метода, измерения. К детальным процессам отнесены проблемы, связанные с предотвращением образования холодных трещин и эффективным использованием свойств высоколегированного наплавленного металла. Модель апробирована при решении проблемы повышения качества и долговечности наплавленных прокатных валков с использованием комплексных технологий упрочнения (плазменная наплавка, термообработка, азотирование, ультразвуковая поверхностная упрочняющая обработка).

Ключевые слова: модель, управление качеством, системный и процессный подход, плазменная наплавка, прокатные валки, способы наплавки, наплавочные материалы, диаграмма Исикавы

Для цитирования: Малущин Н.Н., Громов В.Е., Романов Д.А., Башченко Л.П. Модель управления качеством изготовления наплавленных деталей на основе системного и процессного подходов // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2021. № 4 (38). С. 3–11.

THE MODEL OF QUALITY MANAGEMENT OF PRODUCTION OF THE DEPOSITED DETAILS ON THE BASIS OF SYSTEM AND PROCESS APPROACHES

N. N. Malushin, V. E. Gromov, D. A. Romanov, L. P. Bashchenko

Siberian State Industrial University (42 Kirova Str., Novokuznetsk, Kemerovo Region – Kuzbass 654007, Russian Federation)

Abstract. Based on the theoretical and experimental studies carried out using the graphical method of analyzing cause-and-effect relationships (Isikava diagram), a model of integrated quality management of manufacturing of surfaced machine parts and mechanisms has been developed. It is proposed to improve the diagram of the application of system and process approaches to quality management, as described in the international standards ISO 9000:2008. When considering the diagram, it is proposed to consider factor indicators as a system of interrelated processes, and the result of these processes as a system of basic indicators of product quality. According to the level of detail of the consideration of processes, it is proposed to classify them: top-level processes; detailed processes; elementary processes (operations that do not require a more detailed

description). At the same time, the main reasons affecting quality are proposed to be considered as top-level processes, secondary reasons as detailed processes, and third-order reasons as elementary processes. A model of manufacturing quality management of deposited parts of machines and mechanisms is proposed (on the example of the technological process of manufacturing deposited working rolls of cold rolling), built on the basis of the Isika diagram using the 5M stratification method, which takes into account factors depending on the person, machine, material, method, measurement. The detailed processes include problems related to the prevention of the formation of cold cracks and the effective use of the properties of high-alloyed deposited metal. The model has been tested in solving the problem of improving the quality and durability of surfaced rolling rolls using complex hardening technologies (plasma surfacing, heat treatment, nitriding, ultrasonic surface hardening treatment).

Keywords: model, quality management, system and process approach, plasma surfacing, rolling rolls, surfacing methods, surfacing materials, ishikawa diagram

For citation: Malushin N.N., Gromov V.E., Romanov D.A., Bashchenko L.P. The model of quality management of production of the deposited details on the basis of system and process approaches. *Bulletin of SibSIU*. 2021, no. 4 (38), pp. 3–11. (In Russ.).

Введение

Из всех существующих способов восстановления и повышения износостойкости деталей самого разнообразного назначения наибольшее распространение получила наплавка [1 – 11]. Объем наплавочных работ в России непрерывно возрастает. В работе [11] академик Б.Е. Патон отмечал, что: «Наплавка является одной из важнейших составных частей сварочного производства В общих объемах наплавочных работ весьма велика доля восстановительной наплавки – 75 – 80 %.... Обобщение публикаций за последние годы позволяет сделать вывод о важности расширения сферы применения наплавки». К сожалению, до настоящего времени превалирует традиционный подход к решению вопросов восстановления изношенного или разрушенного рабочего слоя с помощью наплавки. Для наплавки применяют наплавочные материалы, аналогичные материалам, из которых была изготовлена рабочая деталь, и используют не самое современное оборудование и технологии. В то же время имеются современные наплавочные материалы, оборудование и технологии, позволяющие получать наплавленный рабочий слой с более высокими эксплуатационными характеристиками.

Процессы сварки и наплавки относятся международными стандартами к категории специальных, так как качество этих процессов трудно проверить. Качество не может быть проверено в изделии, оно должно быть создано в нем. Даже самое обширное и сложное неразрушающее испытание не улучшает качество изделия. Чтобы в производстве и последующей эксплуатации изделия не возникало серьезных проблем, необходимо обеспечивать управление производством наплавленных изделий от стадии проектирования, выбора материалов до изготовления и по-

следующего контроля. Так, например, неправильный выбор материала как основного, так и наплавленного, может привести к возникновению различных проблем, таких как появление трещин в сварных соединениях. Чтобы обеспечить надежное и эффективное производство наплавленных деталей, управляющий персонал должен понимать и оценивать источники потенциальных неприятностей и выполнять соответствующие процедуры для управления ими.

Целью настоящей работы является разработка и создание модели управления качеством изготовления наплавленных деталей машин и механизмов на всех этапах жизненного цикла на основе системного и процессного подходов.

Результаты и обсуждение

В результате многолетних исследований, направленных на решение проблемы повышения качества и долговечности наплавленных деталей машин и механизмов, создана и предлагается модель управления качеством изготовления наплавленных деталей, построенная на основе диаграммы Исикавы [12 – 16]. Модель рассмотрена на примере изготовления качественных наплавленных прокатных валков плазменной наплавкой активного рабочего слоя теплостойкими сталями высокой твердости, так как от надежности и работоспособности рабочих валков в целом зависит производительность прокатного стана и качество выпускаемой прокатной продукции. Модель разработана для конкретного частного случая, однако ее основные положения можно использовать при анализе процессов изготовления любых наплавленных деталей.

В теории управления качеством любую деятельность, в том числе изготовление наплавленных деталей, принято рассматривать как процесс, которым необходимо управлять на всех

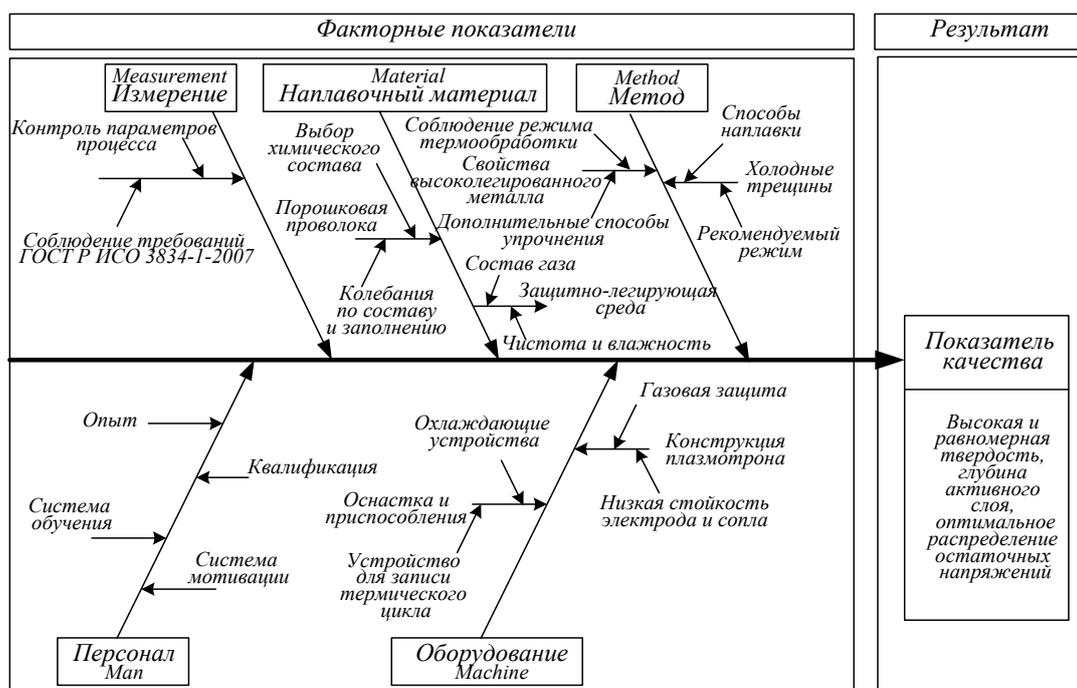


Рис. 1. Модель управления качеством изготовления наплавленных деталей

Fig. 1. Model of manufacturing quality management of deposited parts

этапах жизненного цикла продукции. Результат процесса зависит от многочисленных факторов, между которыми существуют отношения типа причина – следствие. Причинно-следственная диаграмма позволяет выявить наиболее существенные факторы (причины), влияющие на конечный результат (следствие). В работе предлагается усовершенствовать причинно-следственную диаграмму, применив к менеджменту качества системный и процессный подходы, изложенные в международных стандартах ИСО 9000:2008. Системный подход позволяет выявить и разработать систему взаимосвязанных процессов, влияющих на достижение заданной цели и понять взаимосвязи между процессами системы. Применение процессного подхода позволяет более эффективно достигать желаемого результата, приводит к снижению затрат, предотвращению ошибок, контролю за отклонениями, сокращению времени изготовления продукции и более предсказуемым выходам. Предлагается при рассмотрении причинно-следственной диаграммы факторные показатели рассматривать как систему взаимосвязанных процессов, а результат выполнения этих процессов как систему основных показателей качества продукции. Применяя классификацию процессов по уровню подробности рассмотрения, будем их классифицировать как процессы верхнего уровня (1), детальные процессы (2), элементарные процессы (операции, не требующие более детального описания) (3).

При этом главные причины, влияющие на качество и показанные на диаграмме Исикавы, предлагается рассматривать как процессы верхнего уровня, вторичные причины – как детальные процессы, а причины третьего порядка – как элементарные процессы.

Учитывая изложенное выше, в работе предложена модель управления качеством изготовления наплавленных деталей машин и механизмов (на примере технологического процесса изготовления рабочих валков холодной прокатки), построенная на основе диаграммы Исикавы с использованием метода расслоения 5М [12]. В методе расслоения 5М учитываются факторы, зависящие от человека (man), машины (machine), материала (material), метода (method), измерения (measurement). Модель управления качеством наплавленных деталей представлена на рис. 1.

Для обеспечения требуемого конечного результата при изготовлении наплавленных деталей с применением плазменной наплавки необходимо рассмотреть систему взаимосвязанных процессов верхнего уровня, к которым относятся: 1 – методы наплавки; 2 – наплавочные материалы; 3 – наплавочное оборудование; 4 – измерения; 5 – персонал.

К детальным процессам среди первого процесса верхнего уровня отнесены проблемы, связанные с предотвращением образования холодных трещин и эффективным использованием

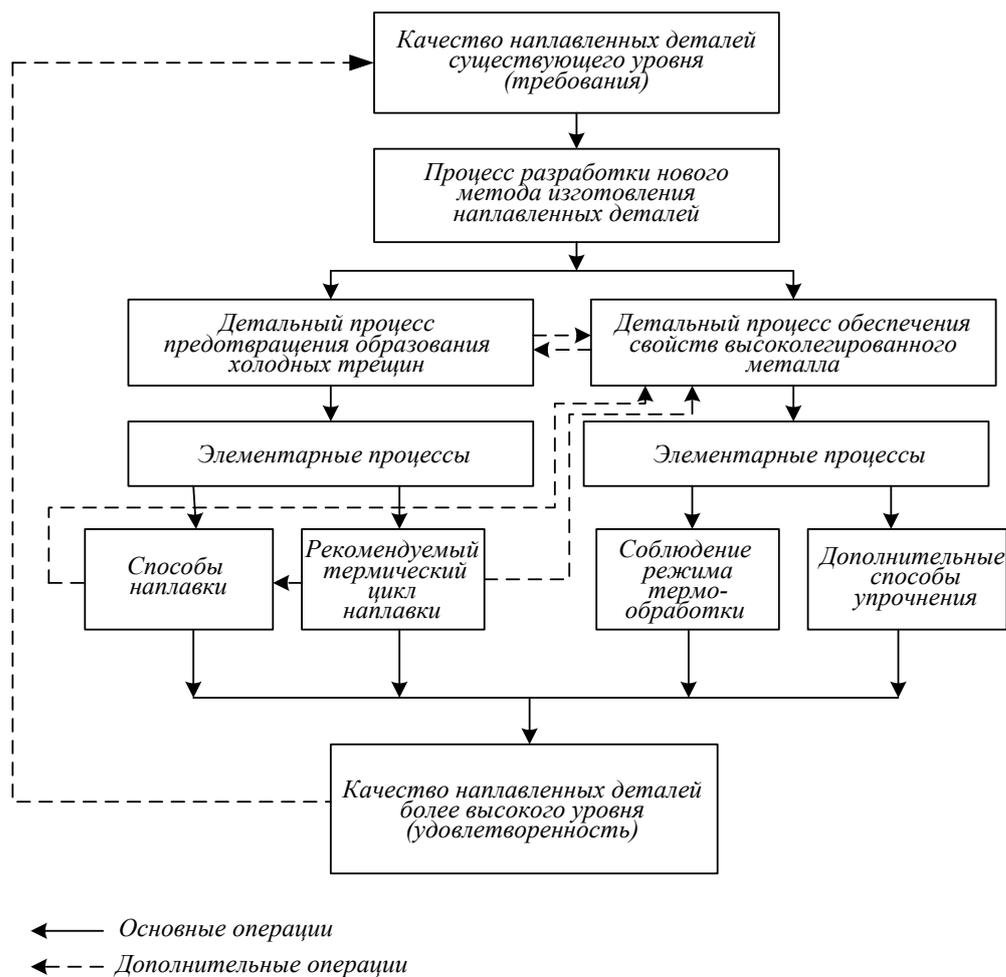


Рис. 2. Процесс разработки нового метода изготовления наплавленных деталей

Fig. 2. The process of developing a new method of manufacturing deposited parts

свойств высоколегированного наплавленного металла. Процесс разработки качественных наплавочных материалов включает в себя такие детальные процессы, как разработка и создание порошковых наплавочных проволок высокого качества и применение эффективной защитно-легирующей среды. При рассмотрении третьего процесса верхнего уровня (создание и разработка надежного и высокопроизводительного наплавочного оборудования) необходимо разработать детальные процессы, связанные с работой плазматрона и созданием необходимой оснастки и приспособлений. К процессам верхнего уровня отнесены также процессы, связанные с измерением и контролем качества, а также связанные с влиянием на качество человеческого фактора, для чего необходимы детальные процессы разработки и создания систем мотивации и обучения персонала.

Результат выполнения этих процессов рассмотрен как система основных показателей качества продукции на примере изготовления рабочих валков холодной прокатки. При выборе

результативного показателя, определяющего качество изготовления наплавленного прокатного валка, следует руководствоваться в основном условиями их эксплуатации. Рабочие валки холодной прокатки в процессе эксплуатации подвергаются значительным статическим и динамическим нагрузкам. Материал рабочих валков и технология их изготовления должны обеспечивать соответствие требованиям ГОСТ 3541 – 74: твердость бочек 95 – 102 HSD и шеек 30 – 55 HSD; глубина активного слоя должна составлять не менее 5 % радиуса бочки; валки должны иметь высокую износостойкость; высокое качество поверхности после обработки (валки перед эксплуатацией полируют, поэтому на поверхности недопустимы любые дефекты (мелкие трещины и единичные поры); оптимальное распределение и минимальная величина остаточных напряжений по всему сечению валка [6, 7]. При выборе результативного показателя качества следует учитывать также общие положения ГОСТ Р ИСО 3834-1 – 2007 «Требования к качеству выполнения сварки плавлением металлических материа-

лов. Часть 1. Критерии выбора соответствующего уровня требований».

Достижение желаемого результата качества рассмотрено более подробно на примере решения проблем, связанных только с двумя процессами верхнего уровня: методами наплавки и наплавочными материалами, которые в результате процедуры экспертного оценивания процессов отнесены к наиболее значимым процессам.

Как видно из диаграммы (правая верхняя ветвь), для обеспечения качественной наплавки теплостойкими сталями высокой твердости на более высоком уровне, чем существующий ранее уровень, прежде всего необходимо разработать принципиально новые методы наплавки. Взаимосвязь процессов верхнего уровня, детальных и элементарных процессов рассмотрена на примере разработки нового метода изготовления наплавленных деталей (рис. 2). При разработке и создании нового метода изготовления наплавленных деталей на первом этапе необходимо решить проблему предотвращения холодных трещин, разработав для этого новые способы наплавки, обеспечивающие определенный термический цикл. Способы предотвращения возникновения холодных трещин непосредственным образом связаны со свойствами высоколегированного наплавленного металла.

Теплостойкие стали высокой твердости P18, P6M5, P2M8 обладают неудовлетворительной свариваемостью, поэтому для предотвращения образования холодных трещин традиционная технология наплавки предусматривает обязательное применение высокотемпературного предварительного и сопутствующего подогрева ($T_{\text{под}} = 400 \div 700 \text{ }^\circ\text{C}$) и замедленного охлаждения изделия. При этом происходит образование пластичных продуктов распада аустенита, обладающих низкими твердостью и износостойкостью, что вызывает необходимость проведения сложной термической обработки для получения высоких значений твердости и износостойкости, присущих теплостойким сталям высокой твердости.

В разработанных способах наплавки теплостойких сталей высокой твердости для предотвращения образования холодных трещин предложено использовать эффект кинетической пластичности («сверхпластичности»). Проявление эффекта кинетической пластичности в процессе мартенситного превращения было отмечено при исследованиях свойств наплавленного теплостойкими сталями высокой твердости металла на установках тепловой микроскопии ИМАШ. Результаты исследования показали, что в теплостойких сталях высокой твердости наблюдается

эффект повышенной пластичности в момент протекания мартенситного превращения [7, 17, 18].

Особенностью предложенных способов наплавки является применение низкотемпературного предварительного и сопутствующего подогрева ($T_{\text{под}} = 150 \div 250 \text{ }^\circ\text{C}$). Для получения наплавленного металла с низкой склонностью к образованию трещин регулируется уровень временных напряжений в процессе наплавки путем их частичной релаксации за счет проявления эффекта кинетической пластичности в момент протекания мартенситного превращения. Предлагаемый термический цикл наплавки состоит из трех этапов. Первый обеспечивает ограниченное время нагрева и повышенную скорость охлаждения в области высоких температур, предотвращает рост зерна и распад аустенита с образованием равновесных низкопрочных структур. Он может быть реализован путем применения высококонцентрированных источников нагрева (например, сжатой дугой) и сопутствующего охлаждения. Второй этап термического цикла обеспечивает нахождение наплавленного металла в аустенитном состоянии при выполнении всех слоев в процессе наплавки, что достигается применением подогрева с $T_{\text{под}} = M_n + (50 \div 100) \text{ }^\circ\text{C}$ (где M_n – температура начала мартенситного превращения). Для получения наплавленного металла с низкой склонностью к образованию трещин регулируется уровень временных напряжений в процессе наплавки на третьем этапе термического цикла путем временного снижения $T_{\text{под}}$ ниже температуры M_n . При этом временные напряжения снижаются за счет частичной релаксации в момент протекания мартенситного превращения. Это позволяет получить наплавленный металл в закаленном состоянии с низким уровнем остаточных напряжений [7].

Улучшить свойства наплавленного высоколегированного металла, а также обеспечить благоприятное напряженное состояние позволяет, как это показано на рис. 2, применение дополнительно после наплавки высокотемпературного отпуска. Так, твердость металла после наплавки составляет 52 – 57 HRC, а после отпуска на вторичную твердость достигает 62 – 64 HRC, что соответствует 95 – 102 HSD. Применяв дополнительно после наплавки ультразвуковую поверхностную упрочняющую обработку и азотирование (элементарные процессы), можно повысить твердость до 64 – 66 HRC. Резервы повышения качества деталей, наплавленных теплостойкими сталями высокой твердости, заложены также в процессе их эксплуатации путем применения дополнительного высокотемпературного

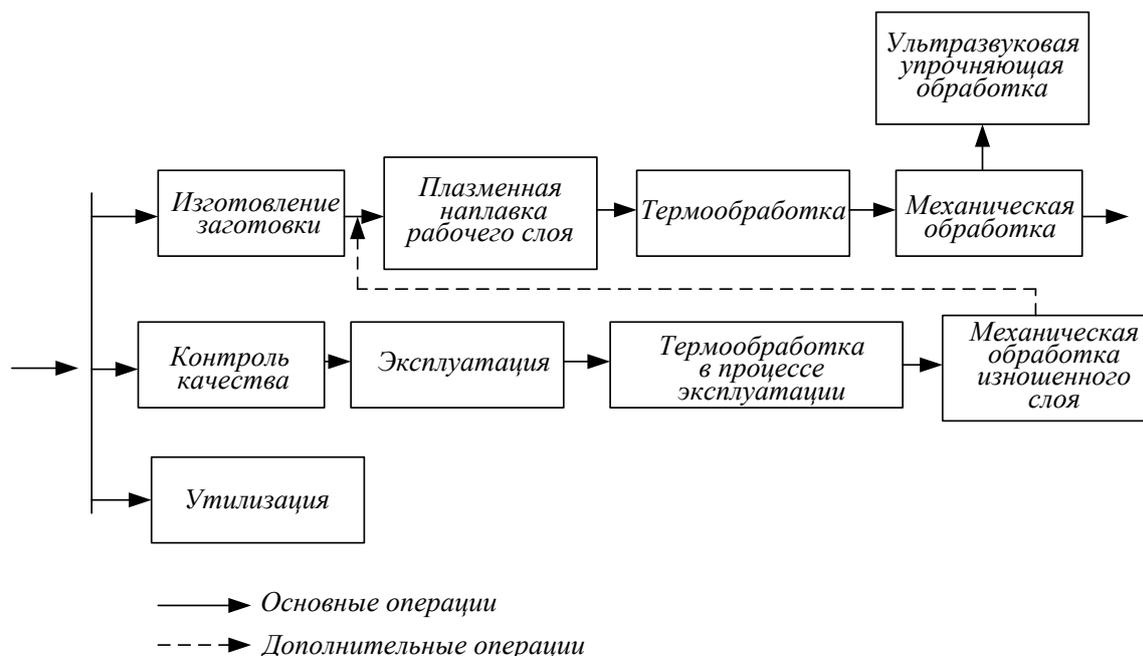


Рис. 3. Схема технологического процесса плазменной наплавки рабочих валков холодной прокатки

Fig. 3. Diagram of the technological process of plasma surfacing of cold rolling working rolls

отпуска, используемого в качестве элементарного процесса.

Применение высокотемпературного отпуска в процессе эксплуатации наплавленных валков холодной прокатки приводит пластически деформированный металл в более устойчивое структурное состояние. За счет явления рекристаллизации полностью снимается наклеп зоны сплавления основного металла с наплавленным металлом и восстанавливается его усталостная прочность до первоначальных значений. При этом стойкость валков возрастает [7].

Повышение качества наплавленного металла возможно лишь при разработке и применении второго из процессов верхнего уровня – «Процесса создания новых более качественных материалов». Для плазменной наплавки в защитно-легирующей среде азота разработаны порошковые проволоки (детальный процесс), обеспечивающие широкую гамму химических составов и эксплуатационных свойств наплавленного металла [7]. Для устранения пористости наплавленного металла в состав сердечника порошковой проволоки с шихтой из мелкодисперсных чистых порошков введен алюминий, связывающий избыточный азот в нерастворимые в жидком металле соединения. Для уменьшения склонности к порообразованию, вызванному водородом, в состав сердечника порошковой проволоки дополнительно предложено вводить кремнефтористый или алюмофтористый натрий, пыль фильтров производства алюминия. Порошковые проволоки обеспечивают получение

наплавленного металла теплостойких сталей высокой твердости (таких как P18, P6M5 и P2M8). Порошковые проволоки предназначены для плазменной наплавки в защитно-легирующей среде азота с целью восстановления и упрочнения быстроизнашивающихся деталей машин, когда требуются особенно высокие твердость и износостойкость рабочих поверхностей. Способы наплавки и составы шихт порошковых проволок защищены авторскими свидетельствами на изобретения и патентами.

При анализе работы наплавочного оборудования было выявлено, что на качество наплавленного металла существенно влияет работоспособность оборудования для создания сжатой дуги – плазмотрона. Для решения этой проблемы были разработаны надежные в работе, высокопроизводительные и компактные плазмотроны. Разработанные новые устройства для измерения и записи термического цикла, а также для охлаждения наплаваемых деталей позволили в процессе наплавки корректировать параметры режима наплавки для обеспечения предложенных термических циклов [7]. Для плазменной наплавки нетоковедущей порошковой проволокой деталей (прокатных валков и роликов) разработана и успешно применяется установка, сконструированная из серийно выпускаемого оборудования: сварочного манипулятора, задней бабки, модернизированного аппарата А-384 и пульта управления. Источником питания служит выпрямитель (аппарат АПР-401У4). Использован плазмотрон, разработанный в ходе выполне-

ния работы и хорошо зарекомендовавший себя в процессе эксплуатации. Из серийно выпускаемого оборудования для наплавки может быть использована (после модернизации) установка для плазменной наплавки УД-417.

В обеспечении качества наплавленных деталей многое определяется человеческим фактором. От человека, его отношения к выполняемой работе, его квалификации, мотивации к качественному труду непосредственным образом зависит внедрение любой достаточно сложной технологии. Для решения этого вопроса в направлении улучшения качества использовались современные методы обучения и мотивации персонала.

Для измерения качества наплавленного металла (пятый процесс верхнего уровня) предложено применять такие методы неразрушающего контроля качества сварных соединений, как внешний осмотр и измерение, ультразвуковой метод контроля, измерение твердости и микротвердости, металлографические методы, методы температурной и электронной микроскопии.

Теоретические подходы, изложенные в разработанной модели управления качеством наплавленных деталей, и результаты экспериментальных исследований были реализованы при разработке нового технологического процесса изготовления наплавленных рабочих валков холодной прокатки. Схема технологического процесса изготовления наплавленных рабочих валков холодной прокатки представлена на рис. 3. Основными операциями предлагаемого технологического процесса являются: изготовление заготовки под наплавку из низколегированной стали 30ХГСА; плазменная наплавка активного рабочего слоя теплостойкими сталями высокой твердости; термическая обработка наплавленных деталей в виде трех – четырехкратного отпуска при температуре 560 – 580 °С; окончательная механическая обработка; контроль качества; эксплуатация и при необходимости дополнительная термообработка для восстановления усталостной прочности в процессе эксплуатации; удаление изношенного слоя и при возможности повторная наплавка; утилизация при невозможности повторной наплавки. При необходимости возможны дополнительные операции в виде азотирования и ультразвуковой упрочняющей обработки наплавленного слоя.

Выбор плазменной наплавки как способа нанесения износостойких покрытий с целью изготовления новых и восстановления изношенных деталей объясняется рядом преимуществ перед другими способами наплавки: высокая производительность, широкая возможность легирования наплавленного металла, возможность

применения различных наплавочных металлов. Особенностью сжатой дуги как источника тепла является то, что ее тепловые и газодинамические характеристики можно легко регулировать в широких пределах. Использование сжатой дуги обратной полярности позволяет устранить трудоемкие, усложняющие технологический процесс наплавки операции по предварительной очистке поверхности изделия. Очистка наплаваемой поверхности от загрязнений происходит в этом случае непосредственно в процессе наплавки за счет эффекта катодного распыления и тем самым обеспечиваются необходимые условия смачиваемости поверхности изделия наплаваемым металлом и бездефектное формирование наплавленного слоя. При наплавке на обратной полярности достигается и меньшее разбавление наплаваемого металла основным [7].

Наиболее эффективно для решения ряда технологических задач при наплавке тел вращения (роликов, прокатных валков, валов) применение процесса плазменной наплавки на обратной полярности в защитно-легирующей среде азота с нетоковедущей присадочной порошковой проволокой. Использование азота в качестве защитного газа по сравнению с аргоном позволяет не только снизить затраты на наплавку, но и эффективно легировать наплавленный металл азотом из газовой фазы непосредственно в процессе наплавки, что существенно повышает его твердость и износостойкость.

На основе предложенной модели реализована и прошла промышленные испытания технология изготовления рабочих валков холодной прокатки с применением плазменной наплавки. Опытные промышленные партии наплавленных валков при испытаниях показали повышенную (в 1,5 – 2,0 раза) стойкость по сравнению с серийно применяемыми валками [7].

Повышение износостойкости наплавленных валков можно объяснить наличием в структуре мелкодисперсных карбидов Me_6C , MeC , карбонитридов, нитрида алюминия и сжимающих напряжений в поверхностном слое [19].

Заключение

На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований с использованием графического метода анализа причинно-следственных связей разработана модель комплексного управления качеством изготовления наплавленных деталей машин и механизмов.

На основе модели комплексного управления качеством изготовления наплавленных деталей решены проблемы повышения качества и долговечности наплавленных прокатных валков с использованием комплексных технологий упроч-

нения (плазменная наплавка, термообработка, азотирование, ультразвуковая поверхностная упрочняющая обработка).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фрумин И.И. Автоматическая электродуговая наплавка. Харьков: Metallurgizdat, 1961. 421 с.
2. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / Под ред. акад. Б.Е. Патона. М.: Машиностроение, 1974. 768 с.
3. Тылкин М.А. Повышение долговечности деталей металлургического оборудования. М.: Металлургия, 1971. 608 с.
4. Юзвенко Ю.А., Кириллюк Г.А. Наплавка порошковой проволокой. М.: Машиностроение, 1973. 45 с.
5. Походня И.К., Суптель А.М., Шляпаков В.Н. Сварка порошковой проволокой. Киев: Наукова думка, 1972. 223 с.
6. Полухин В.П., Николаев В.А., Шульман П.Г. Надежность и долговечность валков холодной прокатки. М.: Металлургия, 1979. 503 с.
7. Малущин Н.Н., Валуев Д.В. Обеспечение качества деталей металлургического оборудования на всех этапах их жизненного цикла путем применения плазменной наплавки теплостойкими сталями. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. 358 с.
8. Сидоров А.И. Восстановление деталей машин напылением и наплавкой. М.: Машиностроение, 1987. 192 с.
9. Вайнерман А.Е., Веселков В.Д., Новосадов В.С. Плазменная наплавка металлов. Л.: Машиностроение, 1969. 190 с.
10. Батаев В.А., Батаев А.А. Композиционные материалы: строение, получение, применение. Новосибирск: НГТУ, 2002. 383 с.
11. Патон Б.Е. Проблемы сварки на рубеже веков // Сварщик. 1999. № 1. С. 2–3.
12. Исикава К. Японские методы управления качеством / Пер. с англ. М.: Экономика, 1988. 215 с.
13. Качество в истории цивилизации. Эволюция, тенденции и перспективы управления качеством. В 3 т. / Под ред. Дж. Джурана; пер. с англ. М.: Стандарты и качество, 2004.
14. Окрепилов В.В. Управление качеством. СПб.: Наука, 2000. 911 с.
15. Малущин Н.Н., Сильвестров Ю.Г. Некоторые аспекты менеджмента всеобщего качества (TQM). Новокузнецк: СибГИУ, 2011. 376 с.

16. ГОСТ Р ИСО 9001 – 2008 Системы менеджмента качества. Требования. Введ. 2008.12.18. М.: Изд-во стандартов, 2009. 21 с.
17. Кайбышев О.А. Пластичность и сверхпластичность металлов. М.: Металлургия, 1975. 280 с.
18. Сверхпластичность металлических материалов / Под ред. М.Х. Шоршорова. М.: Наука, 1973. 220 с.
19. Малущин Н.Н., Романов Д.А., Ковалев А.П., Осетковский В.Л., Бащенко Л.П. Структурно-фазовое состояние теплостойкого сплава высокой твердости, сформированного плазменной наплавкой в среде азота и высокотемпературным отпуском // Известия вузов. Физика. 2019. Т. 62. № 10 (742). С. 106–111.

REFERENCES

1. Frumin I.I. *Automatic electric arc surfacing*. Khar'kov: Metallurgizdat, 1961, 421 p. (In Russ.).
2. *Technology of electric welding of metals and alloys by melting*. Paton B.E. ed. Moscow: Mashinostroenie, 1974, 768 p. (In Russ.).
3. Tylkin M.A. *Improving the durability of parts of metallurgical equipment*. Moscow: Metallurgiya, 1971, 608 p. (In Russ.).
4. Yuzvenko Yu.A., Kirilyuk G.A. *Surfacing with powder wire*. Moscow: Mashinostroenie, 1973, 45 p. (In Russ.).
5. Pokhodnya I.K., Suptel' A.M., Shlyapakov V.N. *Welding with powder wire*. Kiev: Naukova dumka, 1972, 223 p. (In Russ.).
6. Polukhin V.P., Nikolaev V.A., Shul'man P.G. *Reliability and durability of cold rolling rolls*. Moscow: Metallurgiya, 1979, 503 p. (In Russ.).
7. Malushin N.N., Valuev D.V. *Ensuring the quality of metallurgical equipment parts at all stages of their life cycle by applying plasma surfacing with heat-resistant steels*. Tomsk: Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2013, 358 p. (In Russ.).
8. Sidorov A.I. *Restoration of machine parts by spraying and surfacing*. Moscow: Mashinostroenie, 1987, 192 p. (In Russ.).
9. Vainerman A.E., Veselkov V.D., Novosadov V.S. *Plasma surfacing of metals*. Leningrad: Mashinostroenie, 1969, 190 p. (In Russ.).
10. Bataev V.A., Bataev A.A. *Composite materials: structure, production, and application*. Novosibirsk: NGTU, 2002, 383 p. (In Russ.).
11. Paton B.E. Problems of welding at the turn of the century. *Svarshchik*. 1999, no. 1, pp. 2–3. (In Russ.).
12. Isikava K. *Japanese methods of quality management*. Moscow: Ekonomika, 1988, 215 p. (In Russ.).

13. *Quality in the history of civilization. Evolution, trends and prospects of quality management. V 3 t.* Dzhurana Dzh. ed. Moscow: Standarty i kachestvo, 2004. (In Russ.).
14. Okrepilov V.V. *Quality management.* Sankt-Peterburg: Nauka, 2000, 911 p. (In Russ.).
15. Malushin N.N., Sil'vestrov Yu.G. *Some aspects of general quality management (TQM).* Novokuznetsk: SibGIU, 2011, 376 p. (In Russ.).
16. GOST R ISO 9001 – 2008 Quality Management Systems. Requirements. Introduction. 2008.12.18. Moscow: Izd-vo standartov, 2009, 21 p. (In Russ.).
17. Kaibyshev O.A. *Plasticity and superplasticity of metals.* Moscow: Metallurgiya, 1975, 280 p. (In Russ.).
18. *Superplasticity of metal materials.* Shorshorov M.Kh. ed. Moscow: Nauka, 1973, 220 p. (In Russ.).
19. Malushin N.N., Romanov D.A., Kovalev A.P., Osetkovskii V.L., Bashchenko L.P. Structural-phase state of a heat-resistant high-hardness alloy formed by plasma surfacing in a nitrogen medium and high-temperature tempering. *Izvestiya vuzov. Fizika.* 2019, vol. 62, no. 10 (742), pp. 106–111. (In Russ.).

Сведения об авторах

Николай Николаевич Малушин, к.т.н., научный сотрудник управления научных исследований, Сибирский государственный индустриальный университет

ORCID: 0000-0003-0762-1793

E-mail: nmalushin@mail.ru

Виктор Евгеньевич Громов, д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой естественнонаучных дисциплин им. проф. В.М. Финкеля, Сибирский государственный индустриальный университет

ORCID: 0000-0002-5147-5343

E-mail: gromov@physics.sibsiu.ru

Денис Анатольевич Романов, д.т.н., старший научный сотрудник Управления научных исследова-

ований, Сибирский государственный индустриальный университет

ORCID: 0000-0002-6880-2849

E-mail: da@physics.sibsiu.ru

Людмила Петровна Бащенко, к.т.н., доцент кафедры теплоэнергетики и экологии, Сибирский государственный индустриальный университет

ORCID: 0000-0003-1878-909X

E-mail: luda.baschenko@gmail.com

Information about the authors

Nikolai N. Malushin, Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher of Department of Scientific Researches, Siberian State Industrial University

ORCID: 0000-0003-0762-1793

E-mail: nmalushin@mail.ru

Viktor E. Gromov, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Professor, Head of the Department of Natural Sciences, Siberian State Industrial University

ORCID: 0000-0002-5147-5343

Email: gromov@physics.sibsiu.ru

Denis A. Romanov, Dr. Sci. (Eng.), Senior Researcher of Department of Scientific Researches, Siberian State Industrial University

ORCID: 0000-0002-6880-2849

E-mail: romanov_da@physics.sibsiu.ru

Lyudmila P. Bashchenko, Cand. Sci (Eng.), Associate Professor of the Department of Heat Power Engineering and Ecology, Siberian State Industrial University

ORCID: 0000-0003-1878-909X

Email: Luda.baschenko@gmail.com

© 2021 г. Н.Н. Малушин, В.Е. Громов,
Д.А. Романов, Л.П. Бащенко
Поступила в редакцию 30.06.2021 г.