

УДК 621.791.92

**Н.Н.Малушин, Д.В. Валуев**

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА НАПЛАВЛЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА**

*В течение ряда лет проводились исследования, направленные на решение проблемы повышения качества и долговечности наплавленных деталей машин и механизмов горно-металлургического комплекса путем их изготовления с применением плазменной наплавки активного рабочего слоя теплостойкими сталями высокой твердости. Обобщением результатов работ в этом направлении явилась предлагаемая модель комплексного обеспечения качества наплавленных деталей, построенная на основе причинно-следственной диаграммы на примере изготовления качественных наплавленных прокатных валков. Прокатные валки являются одними из наиболее ответственных деталей горно-металлургического комплекса, от надежности и работоспособности которых в целом зависит производительность и качество выпускаемой продукции. Основные положения предлагаемой модели комплексного обеспечения качества наплавленных деталей можно применять при анализе процессов изготовления любых наплавленных деталей.*

*Ключевые слова: горно-металлургический комплекс, качество, металлургическое оборудование, бездефектное состояние,.*

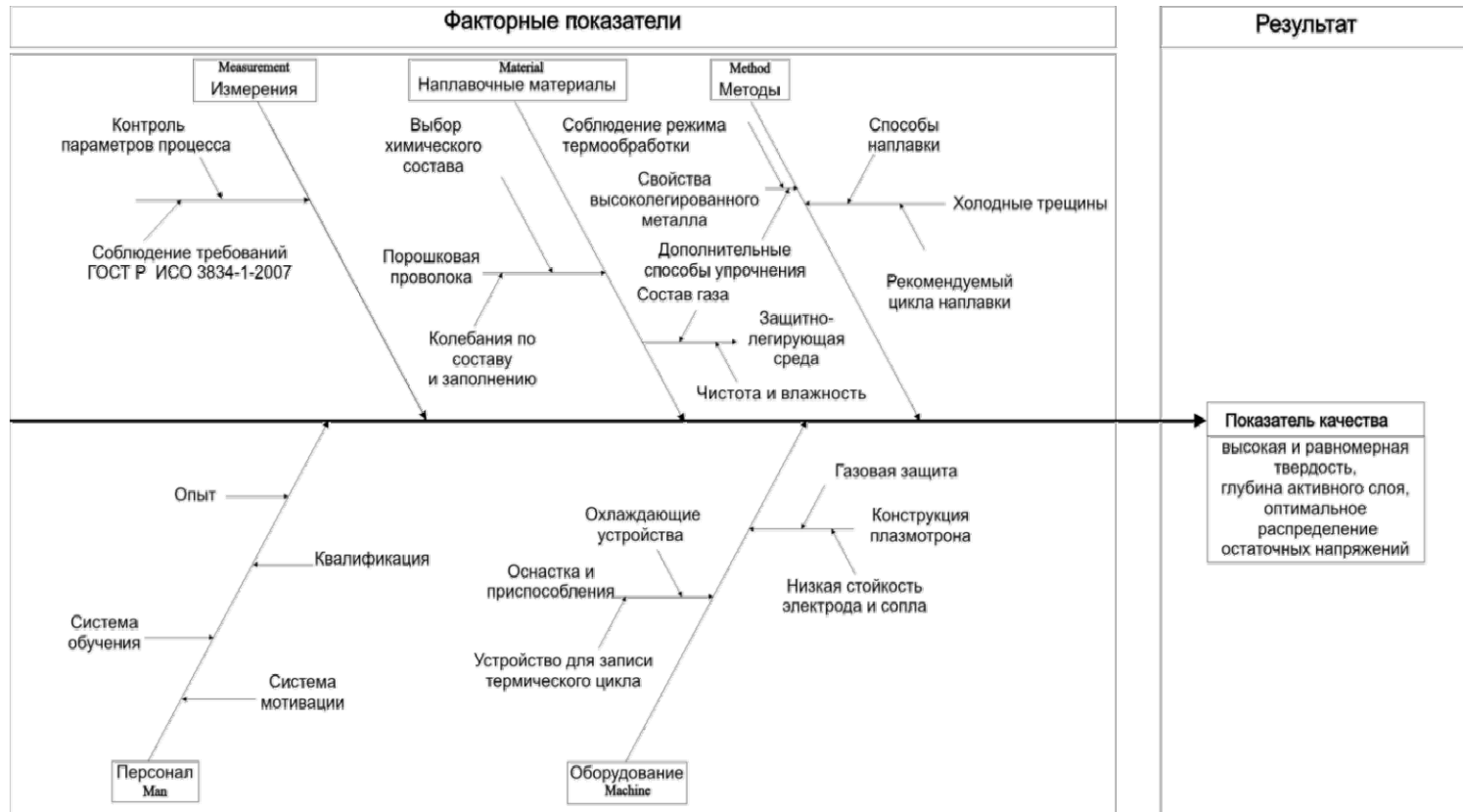
---

**В** теории управления качеством любую деятельность, в том числе изготовление наплавленных деталей, принято рассматривать как процесс, которым необходимо управлять на всех 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 системный и процессный подходы к менеджменту качества, 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;
- детальные процессы;
- элементарные процессы (операции, не требующие более детального описания).



**Рис. 1. Модель обеспечения качества наплавленных деталей**

При этом главные причины, влияющие на качества и помещаемые в прямоугольники на диаграмме Исикавы, предлагается рассматривать как процессы верхнего уровня, вторичные причины как детальные процессы, а причины третичного порядка как элементарные процессы.

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

Модель обеспечения качества наплавленных деталей представлена на рис. 1.

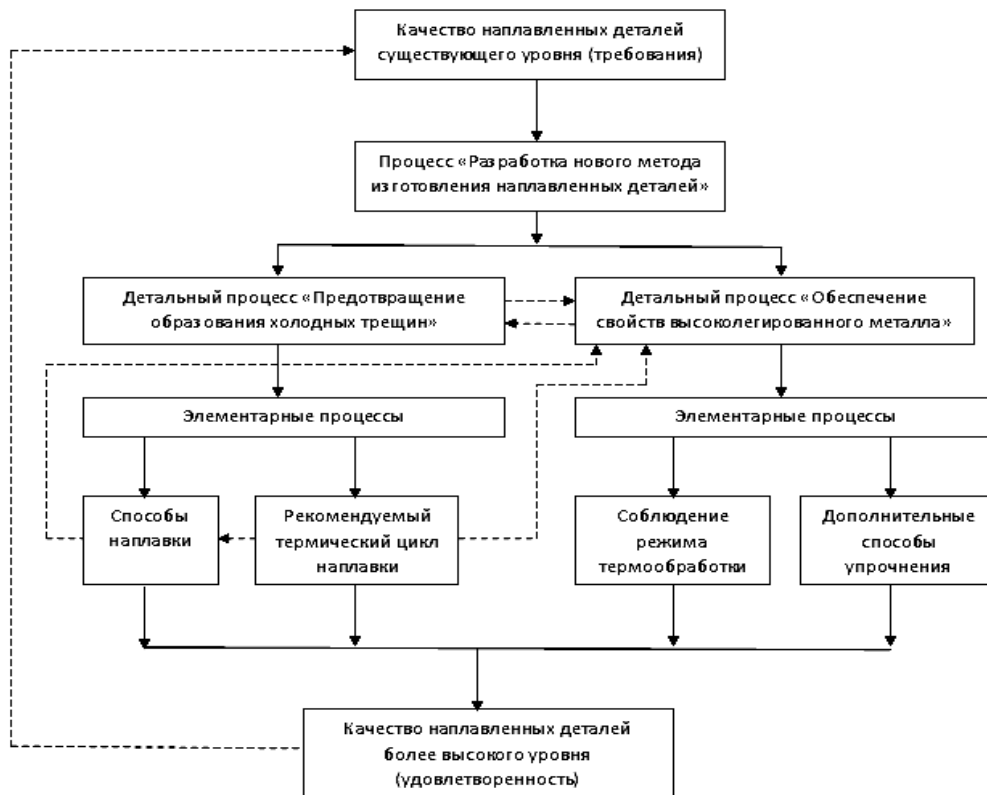
Как видно из представленной модели, для обеспечения требуемого конечного результата при изготовлении наплавленных деталей с применением плазменной наплавки, необходимо рассмотреть систему взаимосвязанных процессов верхнего уровня, к которым относятся:

- методы наплавки;
- наплавочные материалы;
- наплавочное оборудование;
- измерения;
- персонал.

К детальным процессам среди первого процесса верхнего уровня нами отнесены проблемы, связанные с предотвращением образования холодных трещин и эффективным использованием свойств высоколегированного наплавленного металла. Процесс раз-

работки качественных наплавочных материалов включает в себя такие детальные процессы как, разработка и создание порошковых наплавочных материалов 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 плазмотронов и созданием необходимой оснастки и приспособлений. К процессам верхнего уровня отнесены процессы, связанные с измерением и контролем качества, а также, с влиянием на качество человеческого фактора, для чего необходимы детальные процессы разработки и создания систем мотивации и обучения персонала.

Результат выполнения этих процессов рассмотрим как систему 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



**Рис. 2. Взаимосвязь процессов верхнего уровня, детальных и элементарных процессов: ← связи 1-го уровня; ←--- связи 2-го уровня**

этому на поверхности недопустимы любые дефекты — мелкие трещины и единичные поры); оптимальное распределение и минимальную величину остаточных напряжений по всему сечению вала. При выборе результативного показателя качества следует учитывать также общие положения ГОСТ Р ИСО 3834-1-2007 «Требования к качеству выполнения сварки плавлением металлических материалов. Часть 1. Критерии выбора соответствующего уровня требований».

Достижение желаемого результата качества рассмотрим более подробно на примере решения проблем, свя-

занных только с двумя процессами верхнего уровня: методами наплавки и наплавочными материалами, которые в результате процедуры экспертного оценивания процессов отнесены нами 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 рас-

смотрим на примере процесса разработки нового метода изготовления наплавленных деталей (рис. 2).

Как видно из 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 холодных трещин непосредственным образом связаны со свойствами высоколегированного наплавленного металла.

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

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 или бейнитного превращения было отмечено нами при исследованиях свойств наплавленного теплостойкими сталями высокой

твердости металла на установках тепловой микроскопии типа ИМАШ. Результаты исследования показали, что в инструментальных закаливаемых сталях наблюдается эффект повышенной пластичности в момент протекания мартенситного превращения.

Особенностью предложенных способов наплавки является применение низкотемпературного предварительного и сопутствующего подогрева ( $T_{\text{под}} = 150\text{--}250\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). 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 или бейнитного превращений. Особенность предлагаемого цикла наплавки заключается в трех его стадиях. Первая обеспечивает ограниченное время нагрева и повышенную скорость охлаждения в области высоких температур, предотвращает рост зерна и распад аустенита с образованием равновесных, но низкопрочных структур. Она может быть реализована применением высококонцентрированных источников нагрева (например, сжатой дугой) и сопутствующего охлаждения. Вторая стадия термического цикла обеспечивает нахождение наплавленного металла в аустенитном состоянии при выполнении всех слоев в процессе наплавки. Это достигается применением подогрева с  $T_{\text{под}} = M_n + (50\text{—}100\text{ }^{\circ}\text{C})$ . Для получения наплавленного металла с низкой склонностью к образованию трещин регулируется уровень временных напряжений в процессе наплавки на третьей стадии термического цикла путем временно-

го снижения  $T_{\text{под}}$  ниже температуры  $M_n$ . При этом временные напряжения снижаются за счет частичной релаксации в момент протекания мартенситного или бейнитного превращений. Это позволяет получить наплавленный металл в закаленном состоянии с низким уровнем остаточных напряжений.

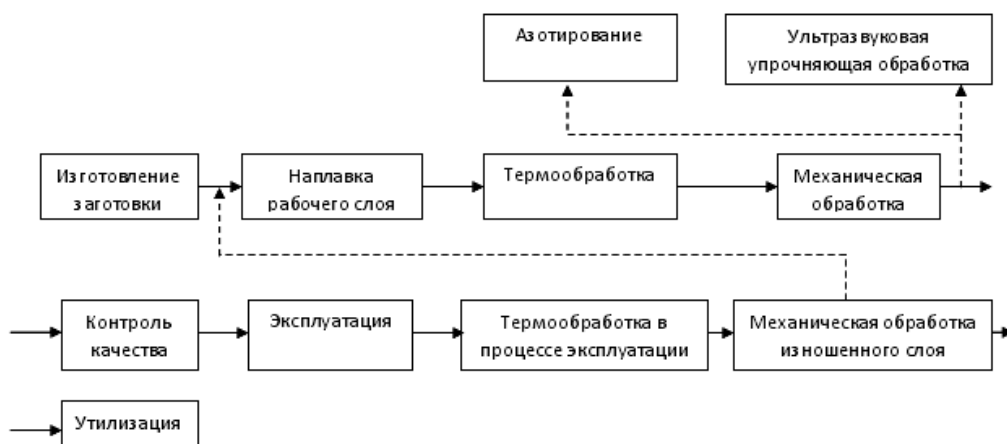
Улучшить свойства наплавленного высоколегированного металла, а также обеспечить благоприятное напряженное состояние позволяет, как это показано на рис. 2, применение дополнительно после наплавки высокотемпературного отпуска. Так, твердость металла после наплавки составляет HRC 52–57, а после отпуска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

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 в разработаны порошковые проволоки (детальный процесс), обеспечивающие широкую гамму химических составов и эксплуатационных свойств наплавленного металла. Для устранения пористости 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 ( $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ ,  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ), связывающие водород в соединение  $[\text{HF}]$ .

Разработанные порошковые проволоки обеспечивают получение наплавленного металла типа 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 оборудования и металлообрабатывающего инструмента, когда требуется особенно высокая твердость и износостойкость рабочих поверхностей.

При анализе работы наплавочного оборудования было выявлено, что существенно влияют на качество наплавленного металла и работоспособность оборудования устройства для создания сжатой дуги – плазмо-



**Рис. 3. Схема технологического процесса «Разработка нового метода изготовления наплавленных деталей»:** —→ основные операции; - - -→ дополнительные операции

троны. 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 наплавляемых деталей позволили в процессе наплавки корректировать параметры режима наплавки для обеспечения предложенных термических циклов. Для плазменной наплавки нетоковедущей порошковой проволокой была использована установка, состоящая из манипулятора, задней бабки, модернизированного аппарата А-384 и пульта управления. Источником питания служит выпрямитель аппарата АПР-401У4. В качестве плазмотрона использован плазмотрон, разработанный сотрудниками кафедры и успешно зарекомендовавший себя в эксплуатации.

В обеспечении качества наплавленных деталей многое определяется человеческим фактором. От человека, его отношения к выполняемой ра-

боте, его квалификации, мотивации к качественному труду непосредственным образом зависит внедрение любой достаточно сложной технологии. Для решения этого направления в улучшении 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, методы механических испытаний металлов измерением твердости, металлографические методы и методы температурной микроскопии.

Теоретические подходы, изложенные в разработанной модели обеспечения качества наплавленных деталей, и результаты экспериментальных исследований были реализованы нами 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 типа стали 30ХГСА; плазменная наплавка активного рабочего слоя теплостойкими сталями высокой твердости; термическая обработка наплавленных деталей в виде 3–4-х кратного отпуска при температуре 560 °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. В предлагаемом технологическом процессе применен комплекс упрочняющих технологий: плазменная наплавка, термообработка в виде 3-х кратного высокотемпературного отпуска, термообработка в процессе эксплуатации наплавленного валка, восстановительная наплавка изношенного слоя, азотирование и ультразвуковая упрочняющая обработка.

Выбор плазменной наплавки как способа нанесения износостойких покрытий с целью изготовления новых и восстановления изношенных деталей объясняется рядом преимуществ перед другими способами наплавки: такими, как, 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 могут легко регулироваться в широких пределах. Использование сжатой дуги обратной полярности позволяет устранить трудоемкие, усложняющие технологический процесс наплавки операции по предварительной очистке поверхности изделия. Очистка наплавливаемой 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 наплавливаемым металлом и бездефектное формирование наплавленного слоя. При наплавке на обратной полярности достигается и меньшее разбавление наплавливаемого металла основным.

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 проведенных теоретических и экспериментальных исследований 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 выше по сравнению с серийными валками) износостойкость. Повышение износостойкости наплавленных валков можно объяснить наличием в структуре мелкодисперсных карбидов  $M_6C$ ,  $MC$  и сжимающих напряжений поверхностном слое.

### Выводы

На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований на базе комплексного подхода с использованием графического метода анализа причинно-следственных связей и применением системного и процессного подходов решена проблема повышения качества и долговечности наплавленных деталей машин и механизмов горно-металлургического оборудования с использованием комплексных технологий упрочнения, включая плазменную наплавку.

---

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исикава К. Японские методы управления качеством: сокр. пер. с англ. / К. Исикава. – М.: Экономика, 1988. – 215 с.

2. Малушин Н.Н. Комплексный подход к решению проблемы повышения качества на-

плавленных деталей металлургического оборудования. — Вестник Горно-металлургической секции РАЕН. Отделение металлургии: Сб. науч. трудов. — Москва-Новокузнецк: 2011. — Вып.27, — с.174-179. **ГИАБ**

---

### КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Малушин Николай Николаевич — кандидат технических наук, доцент, Сибирский государственный индустриальный университет. kafmtsp@sibsiu.ru,

Валуев Денис Викторович — кандидат технических наук, доцент, Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета. valuev@tpu.ru.



---

### ГОРНАЯ КНИГА-2012



#### Обогащение углей. Том 1. Процессы и машины

В.М. Авдохин

2012 год

424 с.

ISBN: 978-5-98672-308-2, 978-5-98672-309-9

UDK: 622.7:622.33 (075.3)

Даны основные сведения о составе и свойствах ископаемых углей. Изложены теоретические основы процессов дробления, грохочения, обогащения и обезвоживания углей. Описаны конструкции, принцип действия, технические параметры и предпочтительные области использования применяемого современного оборудования. Приведены технологические схемы компоновки и методы оценки эффективности разделительных процессов.