

УДК 66.017

Каразанов Кирилл Олегович¹, инженер УТЦ УНПЦ «Судоремонт»,
e-mail: karazanov.kirill@mail.ru

Давыдов Евгений Александрович¹, начальник УТЦ УНПЦ «Судоремонт»,
e-mail: davydov@vsawt.com

Корнев Андрей Борисович¹, к.т.н., доцент, начальник УНПЦ «Судоремонт»,
e-mail: kornev.ab@vsuwt.ru

¹Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ИЗ СТАЛИ 110Г13Л. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМЫ.

Аннотация. Целью данной работы являлось изучение проблемы разрушения и восстановления деталей из стали 110Г13Л. Рассматриваются особенности структуры и свойств высокомарганцевой стали Гадфильда, обсуждается причина высокой склонности к наклепу. Проводится анализ способов изготовления деталей из стали 110Г13Л, различных методик восстановления и современных разработок в области ремонта. Предполагается, что использование моделирования и прогнозов надежности в практике судоремонта приведет к снижению затрат ресурсов и времени.

Ключевые слова: сталь Гадфильда, наклеп, сварка, наплавка, износ, микроструктура, спекание, литье, легирование, ремонт.

С древнейших времен сталь находила широкое применение у человечества, от конструкционного и инструментального материала до предметов домашнего обихода. По сей день сплавы железа с углеродом являются важнейшей металлической системой и основным металлическим материалом в металлургии [1]. Несмотря на выдающиеся прочностные свойства, надежность и удобство обработки, сталь в процессе эксплуатации и контакта с окружающей средой подвергается значительному разрушению. Особое место среди причин выхода из строя стальных изделий занимает износ детали, особенно самые разрушительные его виды – абразивный и гидроабразивный износ [2]. Поиск актуальных способов повышения износостойкости, а также современных методик восстановления изношенных деталей и составляет цель настоящей статьи.

Обычно высокая износостойкость у сталей достигается путем получения высокой поверхностной твердости. Но существует аустенитная сталь, обладающая высокой износоустойчивостью при относительно низкой твердости (200–250 НВ) и называемая сталью Гадфильда. Эта сталь содержит 1,2 вес. % С и 13 вес. % Mn. Необычно высокая износостойкость к абразивному и ударно-абразивному износу у стали Гадфильда объяснима более высокой склонностью к наклепу, чем у обычных сталей с такой же твердостью [1]. Этот эффект обычно связывают с превращением аустенитной структуры в мартенситную [3] или с динамическим деформационным старением [4]. Упоминается, что переориентация углеродных членов пар «марганец-углерод» блокирует дислокации, заставляя их накапливаться и повышать свою плотность, упрочняя материал. При этом только некоторые авторы называют двойникование главным фактором упрочнения стали Гадфильда [5].

Из стали 110Г13Л традиционно изготавливают детали, предназначенные для эксплуатации в сложных условиях постоянного абразивного износа и ударной нагрузки. В качестве примеров [3, 5, 6, 7] можно привести крестовины железнодорожных и трамвайных путей, черпаки драг, конуса засыпных аппаратов доменной печи, зубья ковшей экскаваторов и другие детали для горно-металлургического оборудования, пальцы и втулки черпаковых цепей.

Изделия из стали Гадфильда подвергается механической обработке с большим трудом, поэтому для массового изготовления деталей обычно применяется литье. Реже используются горячее прессование порошковых заготовок и иные методы, позволяющие одновременно с затвердеванием расплава придать ему необходимую форму.

Классическим методом получения изделий из стали 110Г13 является отливка. Эту сталь в основном выплавляют в электродуговых печах. При больших размерах и низкой теплопроводности отливок процесс затвердевания протекает медленно. Это приводит к образованию дефектов и нежелательной структуры, что предопределяет низкий уровень и неоднородность механических свойств. Исследователи упоминают [8, 9], что для заметного снижения брака и получения качественных литых изделий необходимо дальнейшее совершенствование технологии выплавки, выпуска и разлива. С другой стороны, актуальной задачей также является изучение альтернативных методов изготовления и обработки изделий из стали Гадфильда.

Авторы [10] представили исследование стальных образцов, полученных методом твердофазного спекания. Микроструктура полученной таким методом стали 110Г13П после спекания при температуре 1200°C наиболее близка к структуре литой стали 110Г13Л. Использование более высоких температур считается нецелесообразным из-за негативного влияния на микроструктуру стали, а также заметного увеличения затрат.

Альтернативой механической обработке для стали Гадфильда является электроискровая резка, одним из недостатков которой можно считать малую скорость реза. Исследователи [11] докладывают о высоком качестве получаемой поверхности при высокой скорости резания, упоминая о заметном влиянии скорости на появление измененных или деформированных слоев материала.

Физико-механические свойства изделий из высокомарганцевой стали 110Г13Л и их эксплуатационная стойкость зависят от многих факторов: химического состава, массы детали, качества исходных материалов, технологии изготовления и обработки и других [12]. Для увеличения срока службы детали и повышения сопротивления износу применяются различные методы: термическая и механическая обработки, использование износостойких покрытий, легирование исходного материала.

Современные исследования [6] показывают, что в случае абразивного воздействия относительно мягкой породы износ носит усталостный характер. В этом случае наклеп положительно влияет на сопротивление износу у деталей. Но при работе по породам с высокой твердостью, предварительный наклеп деталей, работающих в условиях абразивного износа, на износостойкость материала деталей влияет негативно.

Некоторые авторы [13] представляют методики высокотемпературного деформирования стали свободной ковкой, которые свидетельствуют о существенном повышении сопротивления абразивному износу у стали 110Г13Л. Результаты показывают рост твердости и износостойкости при увеличении интенсивности пластической деформации перед закалкой. Авторы показывают, что срок службы самых быстроизнашиваемых элементов горно-обогачительного оборудования можно существенно увеличить.

Для улучшения износостойкости и повышения прочих эксплуатационных свойств рабочей поверхности изделия традиционно используются специальные покрытия. Некоторые авторы [14] разрабатывают композиции без ярко выраженных границ фаз, что

позволяет снизить концентрацию напряжений в области перехода. Также сообщается [15] об исследованиях покрытий на основе нитрида титана (TiN), наносимых при помощи метода конденсации с ионной бомбардировкой. Авторами показано, что при изменении типа подложки можно управлять морфологией формируемого покрытия.

Для повышения свойств отливок из стали 110Г13Л путем легирования применяются следующие материалы: титан, хром, ванадий, молибден, кальций, различные карбонаты. Основным недостатком классической технологии легирования в данном случае заключается в обработке всего объема расплава. Ряд исследователей показывает [12], что карбид вольфрама вместе с ОКНТ (оксикарбонитрид титана) также может выступать в роли легирующего элемента для отливок из стали Гадфильда. Технология легирования внутри литейной формы позволяет воздействовать только на металл внутри формы, что приводит к экономии дорогостоящих легирующих элементов.

Для восстановления деталей из стали 110Г13Л в настоящее время применяется ряд методик: сварка, наплавка, напыление и некоторые другие. Например, при ремонте черпаков драг [7] обычно используют методы наплавки для компенсации повреждений от износа. При ремонте деталей с большими объемными износами стремятся получить наплавленную поверхность детали с повышенными свойствами износостойкости. К недостаткам методов наплавки можно отнести либо низкую износостойкость металла наплавки, либо малую высоту наплавки при приемлемой износостойкости.

Упомянуто [7, 16], что сталь Гадфильда «обладает ограниченной свариваемостью», часто образует горячие и холодные трещины из-за возникновения карбидов в зоне теплового влияния. По этой причине сварочные работы и наплавку рекомендуется выполнять с максимальной скоростью охлаждения или при низких температурах. Для сварки стали 110Г13Л используются те же сварочные материалы, что и для коррозионностойких сталей с высоким содержанием хрома и никеля. Также авторы [17] докладывают о влиянии геометрии сварных соединений на их микроструктуру, фазовый состав, физико-механические свойства (предел текучести, предел прочности, микротвердость, вязкость разрушения), поверхность изломов и коррозионную стойкость.

В литературных и патентных источниках часто упоминаются методики повышения надежности деталей из стали Гадфильда: термическая обработка изделий после их сварки, использование вставок, подбор исходных материалов и многие другие. Объектом интереса некоторых исследователей [16] являются составные сварные железнодорожные крестовины из стали 110Г13Л и рельсовой стали Э76. Улучшение механических свойств этих деталей обеспечивается путем использования промежуточных вставок с легированным материалом. Такие вставки формируются импульсно-дуговой наплавкой проволоки А7-IG. Авторы указывают, что особенности структуры полученных слоев, а также их высокие свойства обусловлены отсутствием хрупких мартенситных зон.

Группа исследователей [7] докладывает о комплексном решении проблемы восстановления изделий из стали Гадфильда. Авторы предлагают схему легирования, особый состав металла и специальные электроды, которые обеспечивают оптимальные свойства при сварке и наплавке, а также значительно снижают экономические затраты. Предложенная технология в совокупности с новыми материалами позволяет увеличить срок службы деталей, а также уменьшить количество и длительность процедур ремонта.

Разрабатываемые авторами [2] составы порошковой проволоки позволяют получить наплавленный слой с высоким сопротивлением износу. Указанные составы способствуют образованию гладкой поверхности, которая уменьшает проявление местного износа. Упомянутая структура представляет собой матрицу из аустенита и мартенсита, в объеме которой равномерно распределены упрочняющие частицы карбидов и карбоборидов. Замечена высокая стойкость к износу при царапающем и ударном воздействии абразивных частиц, которая повышает срок службы оборудования. Авторами разработаны

и опробованы технологические процессы ремонта деталей земснарядов и повышения их прочности. Также докладывается о разработке двухслойной наплавки.

Команда исследователей [18] предлагает современные методы нанесения покрытий и пленок. В ходе исследований разработаны составы покрытий для снижения трения движущихся частей деталей и предотвращения их разрушения, технологии автоматической наплавки, снижающие экономические затраты. Значительная заслуга авторов состоит в разработке структурно-энергетических моделей надежности пористых материалов и покрытий, а также методов расчета долговечности деталей.

В настоящее время детали из стали Гадфильда обычно восстанавливаются классическими методиками. В литературных источниках преимущественно упоминаются технологии ремонта горнодобывающего и металлургического оборудования. Восстановление деталей аппаратов дноуглубительного флота нуждается в пристальном внимании, современном подходе, применении новых технологий и разработок из смежных областей.

Наиболее значимыми и фундаментальными результатами представляются разработки моделей надежности материалов и покрытий. Подобные методы прогнозирования являются ценным знанием, которое сокращает расходы и время на подбор оптимальных условий восстановления деталей.

Нам видится перспективным использование легирующих элементов и при покрытии детали методом наплавки, и в процессе ее изготовления. Многие из обозреваемых результатов будут опробованы и скорректированы в текущей деятельности УНПЦ «Судоремонт» по восстановлению и упрочнению восстановленного слоя деталей дноуглубительного флота.

Также стоит упомянуть, что возможность получения изделий не литьем, а путем твердофазного спекания выглядит многообещающе. Метод горячего прессования может существенно сократить доработку полученного изделия.

Список литературы:

1. Металловедение. Учебник для вузов. 6-е изд., перераб. и доп. / А.П. Гуляев. – М: Металлургия, 1986 г. – 544 с.
2. Л. И. Погодаев, А. А. Кузьмин, Ю. Е. Ежов, Д. Ф. Донских. Восстановление рабочих устройств земснарядов износостойкими наплавками. // Журнал университета водных коммуникаций: судостроение и судоремонт. – 2011. – Выпуск 2. – С. 62-70
3. В.И. Болобов, А.П. Баталов, В.С. Бочков, С.А. Чупин. Износостойкость стали 110Г13Л в различных абразивных средах. // Записки Горного института. Санкт-Петербург. – 2014. – Т.209. – С. 17-22
4. Y. N. Dastur and W. C. Leslie. Mechanism of Work Hardening in Hadfield Manganese Steel // METALLURGICAL TRANSACTIONS A. – VOLUME 12A, MAY 1981. – P. 749-769
5. O.A. Zambrano, G. Tressia, R.M. Souza. Failure analysis of a crossing rail made of Hadfield steel after severe plastic deformation induced by wheel-rail interaction // Engineering Failure Analysis 115 (2020) 104621. – Elsevier Ltd.
6. В.И. Болобов, С.А. Чупин. Влияние вида упрочняющей обработки на износостойкость материалов горного оборудования // Записки Горного института. Санкт-Петербург. – 2014. – Т.216. – С.44-48
7. В.Л. Бройдо, С.С. Черняк. Комплексная технология восстановления черпаков драг // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2016. – Т.20. – № 11. – С. 184–193.
8. Э. Б. Тен, В. Д. Белов. Разработки в области стального и чугунного литья // Литье и металлургия: пленарное заседание. – 3 (72). – 2013. – С. 50-53

9. Давыдов Н.Г., Лямзин В.А. Особенности выпуска из печи и разлива высокомарганцевой стали типа 110Г13Л // Литейное производство. – 2016. – №2 (19). – 2016. – С. 32-34

10. Н.С. Зубенко, Е.А. Цвелик, Р.В. Пирожков. Оптимизация технологии получения порошковой стали 110Г13П методами системного анализа // Изыскание, проектирование, строительство и монтаж технологического оборудования. Глобальная ядерная безопасность. – 2020. – №1(34). – С. 48-55

11. K. Mouralova, L. Benes, J. Bednar, R. Zahradnicek, T. Prokes, R. Matousek, P. Hrabec, Z. Fiserova and J. Otoupalik. Using a DoE for a comprehensive analysis of the surface quality and cutting speed in WED-machined hadfield steel // Journal of Mechanical Science and Technology 33 (5) (2019). 2371~2386. – KSME & Springer

12. Вдовин К.Н., Феоктистов Н.А., Горленко Д.А. Внутриформенное модифицирование отливок из стали Гадфильда мелкодисперсными порошками на основе соединений тугоплавких металлов // Международный научно-исследовательский журнал. – № 11 (65). – Часть 4, Ноябрь. – 2017. – С.17-20

13. В.И. Болобов, В.С. Бочков, И.И. Мишин, А.А. Неструев. О влиянии режимов термомеханической обработки на износостойкость материалов быстроизнашиваемых элементов горно-обогатительного оборудования // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № 1. – С. 52-59.

14. П. Б. Гринберг, К. Н. Полещенко, Д. Н. Коротаев, П. В. Орлов, Г. А. Вершинин, Е. Е. Тарасов, Е. В. Иванова. Получение наноструктурных топокомпозитных покрытий на основе каскадного перекрестного эффекта // Динамика систем, механизмов и машин. – 2018. – Том 6. – № 2. – С. 171-177

15. П. М. Корусенко, С. Н. Несов, С. Н. Поворознюк, К. Н. Полещенко, П. В. Орлов, Д. Н. Коротаев. Структура композитных покрытий на основе нитрида титана, сформированных с использованием конденсации с ионной бомбардировкой // Динамика систем, механизмов и машин. – 2019. – Том 7. – № 1. – С. 201-207

16. А. Никулина, А. Поречина, С. Хлебников, З. Батаева, В. Потапов. Особенности структуры сварных железнодорожных крестовин, сформированных с использованием стыковой контактной сварки и импульсно-дуговой наплавки // Обработка металлов (технология • оборудование • инструменты). – 2020. – Том 22. – № 2. – С. 53-62

17. M. Sabzi, A. Obeydavi & S. H. Mousavi Anijdan. The effect of joint shape geometry on the microstructural evolution, fracture toughness, and corrosion behavior of the welded joints of a Hadfield Steel // Mechanics of Advanced Materials and Structures. – 2018. VOL. 0, NO. 0, 1–11

18. Ю. Е. Ежов, Л. И. Погодаев, А. А. Кузьмин. Повышение надежности ведущих деталей рабочих устройств судов технического флота // Журнал университета водных коммуникаций: судостроение и судоремонт. – 2012. – Выпуск 4. – С. 37-45

RESTORATION OF 110G13L STEEL PARTS. ANALYSIS OF THE CURRENT STATE OF THE PROBLEM.

Kirill O. Karazanov, Evgeniy A. Davydov, Andrey B. Kornev

Abstract. The purpose of this work was to study the problem of fracture and restoration of parts made of steel 110G13L. The features of the structure and properties of high-manganese Hadfield steel are considered, the cause of high tendency to sticking is discussed. An analysis of methods of manufacturing parts from 110G13L steel, various methods of restoration and modern developments in the field of repair is carried out. It is assumed that the use of modeling and

reliability predictions in the practice of ship repair will lead to a reduction in the cost of resources and time.

Keywords: Hadfield manganese steel, hardening, welding, hardfacing, wear, microstructure, sintering, casting, alloying, repair.