

**ЦНИИМ**

1912



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО "ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ МАТЕРИАЛОВ"

Санкт-Петербург, Парадная ул. 8, 191014, тел./факс (812) 271-49-72, (812) 578-93-01.

НИЦ «Курчатовский институт»-

тел/факс (812) 578-91-45, 710-76-60. E-mail: info@cniim.com

ЦНИИ КМ «Прометей»

ОКПО 07529945 ОГРН 1107847269045 ИНН/КПП 7842436263/784201001

ДОУ	Вх. № <u>1808</u>	в ДЕЛО № _____
	<u>20.06.2023</u> г.	
	Осн. <u>6</u> л.	
	Прил. <u>—</u> л.	

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Ефимова Семена Викторовича, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальностям 2.6.1 «Металловедение и термическая обработка металлов», 2.6.2 «Металлургия черных, цветных и редких металлов»

«Разработка комплексной технологии производства крупных штамповых плит Cr-Ni-Mo-V композиции легирования для предотвращения флокеноподобных дефектов и повышения эффективности термической обработки»

Штамповая продукция – дорогостоящий элемент производственной оснастки, имеющий ограниченный срок эксплуатации и требующий регулярной замены. Вопросы снижения стоимости такой продукции и увеличения срока её службы имеют высокое значение для большого количества производств (предприятий), выпускающих широкий спектр изделий народного потребления.

Особое значение имеет вопрос повышения качества и снижения стоимости наиболее сложных и дорогостоящих видов такой продукции – крупных штамповых изделий, выпускаемых зачастую штучно, под заказ, и требующих для своего производства большого количества металла и сложных технологических процессов.

Забракование подобных изделий на различных этапах производства, досрочный выход их из строя или аварийное разрушение в процессе эксплуатации приводит к значительным потерям – как прямым, вследствие потери самого дорогостоящего изделия, так и косвенным, связанным с простоями на время замены и (или) ремонта оборудования и оснастки.

Диссертационная работа Ефимова С.В. посвящена вопросам разработки и освоения комплексной технологии изготовления штамповых изделий из среднеуглеродистых марок стали, легированных хромом, никелем, молибденом и ванадием (типа 5ХНМ и 56NiCrMoV7) и направлена на снижение производственного брака и повышения

эффективности использования оборудования и ресурсов при изготовлении такой продукции.

В связи с этим работа С.В. Ефимова, несомненно, является актуальной.

Целью работы поставлено создание комплексной технологии изготовления крупных штамповых плит, исключающей появление в таких изделиях дефектов типа флокенов, выявляемых при неразрушающем (ультразвуковом) контроле и приводящих к забракованию продукции на завершающих стадиях изготовления, и имеющей более высокую эффективность термической обработкой изделий по сравнению с существующей.

Для достижения указанной цели автором поставлены следующие основные задачи:

- проведено сравнительное исследование образцов литого и ковкого металла штамповых заготовок в дефектных и бездефектных зонах;
- выполнен анализ существующей технологии производства крупных штамповых плит;
- установлены основные механизмы и стадии формирования дефектов типа флокенов в стали с низким общим содержанием водорода, в том числе ключевые условия и параметры технологических процессов, при которых происходит формирование дефектов;
- исследована кинетика изменения содержания водорода в стальных поковках при различных содержаниях водорода и температурно-временных параметрах термической обработки;
- определены оптимальные температурно-кинетические условия превращения аустенита в диффузионной области на стадии предварительной термической обработки, обеспечивающие максимальные скорости выделения водорода и получение мелкозернистой структуры металла;
- разработаны и обоснованы основные параметры выплавки, внепечной обработки, разливки, затвердевания, пластической обработки (ковки) и предварительной термической обработки штамповой стали, исключающие появление в металле крупных штамповых плит дефектов типа флокенов, выявляемых при неразрушающем (ультразвуковом) контроле.

Научную новизну работы, согласно тексту автореферата, составляют:

- описание и обоснование механизмов формирования типа флокенов в стали с низким общим содержанием водорода;

- обоснование имеющегося резерва по снижению содержания водорода при внепечной обработке стали и параметров внепечного вакуумирования стали в ковше, позволяющих обеспечить минимальные содержания водорода в стали;
- обоснование режимов раскисления и модифицирования стали и требований к содержанию серы в стали, позволяющих получить минимальный уровень загрязнённости штамповой стали неметаллическими включениями;
- обоснование взаимосвязи между полнотой и эффективностью фазовых превращений при предварительной термической обработке крупных штамповых заготовок и формированием дефектов типа флокенов в металле заготовок;
- описание и обоснование механизмов максимально полного удаления водорода из металла крупных штамповых заготовок при протекании диффузионных процессов превращения аустенита в изотермических условиях;
- обоснование оптимальных температурно-временных параметров фазовых превращений в штамповой стали при изотермической предварительной термической обработке.

Практическая значимость (ценность) работы заключается во внедрении на производстве (в условиях ООО «ОМЗ-Спецсталь») разработанных при выполнении работы технологических режимов производства крупных штамповых заготовок из стали марок 5ХНМ и 56NiCrMoV7 (режимов раскисления стали, параметров слитков и способа разлива, режимов пластической обработки (ковки) и предварительной термической обработки). Внедрение разработанных технологических режимов позволило:

- снизить уровень брака по причине выявления в металле дефектов типа флокенов с 50 % до 1,1 %;
- снизить металлоёмкость заготовок на 10 %;
- сократить на 20 – 30 % продолжительность режимов предварительной термической обработки.

В разделе автореферата диссертации «Основное содержание работы» автор приводит основное содержание диссертации по разделам работы.

Приведено описание содержания введения и главы 1 (литературного обзора) диссертации.

В главе 2 даны сведения о составе и назначении исследуемых марок стали и изделий (заготовок), кратко описаны требования к металлу заготовок по содержанию неметаллических включений и результатам неразрушающего контроля, указаны направления и методы исследования металла заготовок в дефектных и бездефектных зонах.

В главе 3 дано описание механизмов формирования дефектов типа флокенов в штамповой стали с низким общим содержанием водорода и разрушения металла вследствие появления и развития таких дефектов:

- локальное накопление водорода в межзёрненном пространстве вблизи крупного зерна при неблагоприятном режиме термической обработки с последующим межзёрненным разрушением металла;
- локальное накопление водорода вблизи крупных неметаллических включений при неблагоприятном режиме термической обработки с последующим межзёрненным или внутризёрненным разрушением металла;
- локальное накопление водорода вблизи границ дендритов и карбонитридных включений при неблагоприятном режиме термической обработки с последующим межзёрненным разрушением металла.

Описаны требования к технологии и режимам изготовления заготовок из штамповой стали, исключающим формирование в металле дефектов типа флокенов.

В главе 4 описаны приёмы управления содержанием в металле водорода на стадии выплавки и внепечной обработки (включая вакуумирование) стали.

Приведены результаты расчётов равновесного сочетания водорода в жидкой стали после вакуумирования, выполнено их сравнение с фактическими значениями содержания водорода в металле. Определено, что фактические значения содержания водорода в стали после обработки от 5 до 8 раз превышают расчётные равновесные.

Определены критические параметры технологии выплавки и внепечной обработки стали, позволяющие оптимизировать кинетику удаления водорода.

По результатам регрессионного анализа ранее проведённых плавов установлена взаимосвязь между конечным содержанием водорода в стали после вакуумирования и параметрами обработки стали.

Сформулированы требования к режиму вакуумирования стали, обеспечивающему удовлетворительную степень удаления водорода (основность шлака, остаточное давление, продолжительность вакуумирования, интенсивность продувки аргоном в

процессе вакуумирования), а также установлены требования к порядку введения в металл углеродсодержащих материалов.

В главе 5 описаны результаты исследования влияния режимов раскисления и способа разливки металла на формирование в штамповой стали неметаллических включений.

Рассмотрено семь вариантов сочетаний способов раскисления и разливки стали.

Представлены сведения о порядке (режимах) раскисления, изменении количества и состава включений в металле по ходу внепечной обработки при использовании разных способов раскисления и итоговом составе и количестве включений в готовом металле (в поковках) при использовании разных сочетаний способов раскисления и разливки стали.

Выполнен анализ результатов исследования, выбраны и обоснованы режимы раскисления и модифицирования металла, позволяющие получить минимальный уровень загрязнённости штамповой стали неметаллическими включениями.

В главе 6 изложены результаты исследования режимов предварительной термической обработки (отжига) штамповых заготовок и их влияния на содержание водорода в штамповой стали и формирование в заготовках дефектов типа флокенов.

Представлены результаты исследования штамповой стали методами термического анализа для определения температурных интервалов фазовых превращений в ней при нагреве и охлаждении с различными скоростями.

Определены критические скорости охлаждения и температурные интервалы, при которых в металле происходят благоприятные и неблагоприятные с точки зрения удаления водорода и исключения формирования дефектов типа флокенов превращения.

Разработана и проанализирована модель диффузии водорода в крупных поковках из штамповой стали.

Предложены с учётом результатов исследования и моделирования промышленные режимы отжига заготовок после пластической обработки (ковки), обеспечивающие удовлетворительную степень удаления водорода при минимальной продолжительности обработки.

В целом, изложенные в автореферате диссертации С.В. Ефимова научные положения, выводы и рекомендации обоснованны, достоверны и подтверждены практическими результатами.

По содержанию автореферата можно отметить ряд замечаний:

1 В автореферате диссертации не приведены сведения о результатах исследования металла заготовок в дефектных и бездефектных зонах (вид дефектов, их детальное описание, описание различий в структуре металла в дефектных и бездефектных зонах и т.д.).

2 В автореферате диссертации не приводится информация о влиянии схем и режимов пластической обработки на формирование неметаллических включений в готовой стали и устранение следов литой структуры, вблизи которых возможно формирование локальных скоплений водорода, а также не рассматриваются варианты изменения схем деформации металла при производстве заготовок;

3 Целесообразно дать дополнительные пояснения относительно соотношения степени удаления водорода при противоблодном отжиге металла по первоначальному и скорректированному режиму (во втором случае расчётная относительная концентрация водорода в металле после обработки выше, чем в первом – см. абз. 1, 2 и рис. 16 на странице 24) и соотношения доли заготовок, отвечающих требованиям технических условий, в первом и во втором случае.

Указанные замечания не снижают значимости диссертационной работы. Считаю, что цель работы достигнута, основные задачи, поставленные в работе, решены, работа выполнена на хорошем научном уровне как в экспериментально-методической, так и, особенно, в практической части; по актуальности и практической значимости работа отвечает требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, С.В. Ефимов, заслуживает присвоения учёной степени кандидата технических наук по специальностям 2.6.1 «Металловедение и термическая обработка металлов» и 2.6.2 «Металлургия черных, цветных и редких металлов».

Согласен на обработку персональных данных.

Артемов Алексей Анатольевич,

Начальник лаборатории металлургии и материаловедения

«Подпись Артемова А.А. удостоверяю».

Первый заместитель генерального директора –

Заместитель генерального директора

по научной работе, к.т.н.



О.И. Шаболдо