

## О Т З Ы В

официального оппонента на диссертационную работу **Мордовского Петра Григорьевича** на тему «Повышение физико-механических и эксплуатационных свойств ферритно-перлитной стали при мегапластическом деформировании и низкотемпературном отжиге», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09. – материаловедение (машиностроение).

### **Актуальность темы**

Объектом исследования диссертационной работы является конструкционная низкоуглеродистая малолегированная сталь 09Г2С после обработки методом равноканального углового прессования (РКУП) при комнатной температуре с последующей термической обработкой. Несмотря на появившееся в последние годы большое количество исследовательских работ, посвященных материалам, полученным методом мегапластической деформации, остается еще много вопросов, связанных с получением комплекса оптимальных механических свойств сталей после РКУП. Сложность этой проблемы связана с тем, что при пластической деформации материал, упрочняясь, исчерпывает запас пластичности, становится хрупким, что снижает возможности его практического применения. Термическая обработка повышает пластичность и ударную вязкость, но прочность снижается. Кроме того, подбор оптимальных режимов обработки методом РКУП приходится производить для каждого материала индивидуально в связи с различиями протекания процессов измельчения зерен и рекристаллизации в материалах с различной структурой. Соискателем выносятся на защиту задача повышения комплекса механических, трибологических и физических свойств широко распространенной стали 09Г2С, что имеет не только практическое значение в различных областях промышленности, но важно и с научной точки зрения, так как могут быть получены новые знания об изменении физических свойств стали при мегапластической деформации. Таким образом, актуальность избранной диссертантом темы не вызывает сомнений.

Текст диссертации изложен на 136 страницах машинописного текста, содержит 16 таблиц, 56 рисунков и список использованных литературных источников из 153 наименований. Материалы диссертации изложены в 23 печатных работах.

**В первой главе** диссертации представлен анализ отечественных и зарубежных литературных данных о влиянии РКУП на структуру и механические свойства сталей и сплавов. Сделан вывод о том, что малоизученным является влияние РКУП на структуру и механические свойства конструкционных сталей, кроме того, имеется мало исследований, посвященных хладостойкости, ударной вязкости и трибологическим свойствам металлов и сплавов после РКУП.

**Во второй главе** описаны объект и методики исследований. Описан метод получения субмикроструктурной структуры стали с помощью равноканального углового прессования и последующей термообработки. Описаны методики исследования микроструктуры, проведения механических и трибологических испытаний, фрактографических исследований, а также методики измерения коэрцитивной силы, электросопротивления, характеристик магнитных шумов Баркгаузена и параметров вихретокового контроля.

**Третья глава** посвящена изучению фазовых и структурных превращений, происходящих в изучаемой стали при холодном (20 °С) РКУП. Установлено, что РКУП приводит к

Основные результаты диссертации опубликованы в 23 печатных работах, в том числе в 4 изданиях, входящих в перечень ВАК. Они неоднократно обсуждались на научных конференциях.

### **Общие замечания по диссертационной работе**

1. Приведенные в литературном обзоре результаты исследований различных авторов по влиянию РКУП на структуру и механические свойства сталей и сплавов часто носят описательный характер, автор не всегда делает определенные выводы. Кроме того, следует отметить, что в работе используются физические методы измерения свойств СМК стали 09Г2С, такие как коэрцитивная сила, электросопротивление, характеристики магнитных шумов Баркгаузена и параметры вихретокового контроля, но приведенные в литературном обзоре данные не содержат вывода о вкладе автора в этой области.
2. Автором диссертации не обосновано, почему выбран режим РКУП в 2 прохода. В аналогичных исследованиях прессование проводят при разных количествах циклов с тем, чтобы выбрать оптимальное число проходов.
3. Автором не определены условия применимости изучаемой стали. Повышение прочностных свойств стали 09Г2С после РКУП более чем в 2 раза привело к резкому снижению пластичности ~ в 7 раз и к сближению пределов прочности и пластичности, что может значительно ограничить область возможного применения изделий, выполненных из этой стали, несмотря на то, что полученный материал является высокопрочным. Оценку условий применимости осложняет то, что в работе не определена температура вязко-хрупкого перехода при ударном нагружении.
4. Для получения полной картины о влиянии РКУП на механические свойства, а также с практической точки зрения для определения возможных областей применения стали 09Г2С с СМК структурой важно определить и характеристики циклической прочности, что не было сделано в работе.

Вышеприведенные вопросы и замечания не снижают общей научной и практической значимости диссертационной работы.

### **Заключение**

Диссертация является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным автором самостоятельно на достаточно высоком научном уровне. В работе приведены научные результаты, представляющие ценность с практической точки зрения, так как разработанная методика обработки стали 09Г2С позволяет получить комплекс механических и трибологических свойств с перспективой применения в определенных областях техники для изготовления ответственных деталей. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы.

Работа базируется на достаточном числе исходных и экспериментальных данных. По каждой главе и работе в целом сделаны четкие выводы.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации

снижению среднего размера зерна с 10-20 мкм до 300-500 нм. Автором установлено, что в результате РКУП и последующей термообработки образуется довольно однородная субмикроструктурная (СМК) ферритная матрица, упрочненная карбидами пониженной размерности (вплоть до наноразмерных). Автором получены важные с практической точки зрения результаты по влиянию резания на структуру приповерхностного слоя изучаемой стали.

**В четвертой главе** исследованы физико-механические свойства стали 09Г2С. Установлено значительное повышение прочности, ударной вязкости, а также модуля Юнга исследуемой стали. Установлена взаимосвязь коэрцитивной силы, электросопротивления, характеристик магнитных шумов Баркгаузена и параметров вихретокового контроля со средним размером структурных элементов и пределом текучести, что может быть использовано при неразрушающем контроле заготовок после РКУП и при контроле изменения структуры и прочности в ходе эксплуатации изделий с СМК структурой.

**В пятой главе** представлены результаты исследования трибологических свойств стали 09Г2С с СМК структурой. Автором установлено значительное снижение массового износа образцов после РКУП и отжига, что связано с упрочнением и измельчением структуры стали.

### **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций**

Автор достаточно корректно использует известные научные методы обоснования полученных результатов, выводов и рекомендаций. Соискателем изучены и анализируются известные результаты исследований в области материалов, полученных методами мегапластической деформации.

Достоверность экспериментальных данных обеспечивается использованием современных средств и методик проведения исследований.

Обоснованность результатов, выдвинутых соискателем, основывается на согласованности данных эксперимента и научных выводах.

### **Оценка новизны и достоверности**

В качестве новых научных результатов диссертантом выдвинуты следующие положения:

- Получение субмикроструктурной структуры элементов в малолегированной конструкционной стали 09Г2С при комбинировании метода «холодного» РКУП и низкотемпературного отжига, что обеспечивают значительное улучшение комплекса механических свойств, приближая ее к классу высокопрочных.

- Исследование строения рельефов изломов и механизмов разрушения позволило показать роль нано-, субмикроструктурных структур как факторов высокопрочного состояния стали.

- Установлено, что создание гетерогенной структуры системы «субмикронная ферритная матрица – наноразмерная карбидная фаза», позволяет в несколько раз повысить износостойкость стали. Исследована эволюция строения и микрогеометрия фрикционных поверхностей, основные механизмы повреждения и особенности кинетики изнашивания, указывающие на существенные различия в формировании трибологической прочности в зависимости от уровня дисперсности структуры.

В целом, результаты, полученные автором, являются новыми в области материалов с субмикроструктурной структурой, полученных методом мегапластической деформации. Близкие результаты были получены при холодном РКУП на малоуглеродистых ферритно-перлитных сталях в работах Добаткина, Шагалиной и др., но отличием результатов, полученных в данной работе, является установленное автором диссертации повышение ударной вязкости и трибологических характеристик стали 09Г2С после РКУП.

Диссертационная работа отвечает критериям Положения о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор – Мордовской Петр Григорьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09. – Материаловедение (машиностроение).

Официальный оппонент старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук, кандидат технических наук. Адрес: 119991 Москва, Ленинский проспект, 49. Тел. (499) 135-96-83, e-mail: [tyutin@imet.ac.ru](mailto:tyutin@imet.ac.ru).



\_\_\_\_\_ Марат Равилевич Тютин

Подпись официального оппонента заверяю

Ученый секретарь  О.Н. Фомина

Организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук

М.П.

