

## О Т З Ы В

**официального оппонента на диссертационную работу Соболевой Натальи Николаевны, выполненную на тему "Повышение износостойкости NiCrBSi покрытий, формируемых газопорошковой лазерной наплавкой" и представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – Материаловедение (в машиностроении).**

В литературном обзоре подробно описаны методы формирования самонаплавливаемых покрытий типа ПГ-СР2, ПГ-10Н-01 путем лазерной наплавки, рассмотрена структура, морфология и фазовый состав соответствующих покрытий, их микромеханические и трибологические свойства, а также влияние термических и деформационных обработок на эти свойства.

*Поставленные в работе цели – актуальны для узлов и изделий, которые работают в условиях трения и абразивного изнашивания.*

Использованное оборудование и методы исследования современны: хорошо аттестованы исходные порошки, представлена их морфология и гранулометрический состав, описана технология лазерной наплавки, параметры фрикционной обработки в разных средах, при этом, однако, не пояснено, почему выбраны инденторы из алмаза, нитрида бора, твердого сплава ВК8.

Хорошо описаны параметры трибологических испытаний: составы абразивов и контртел, среды, в которых проводились испытания (СОЖ, аргон, воздух); параметры (нагрузка, скорость, база). При этом следует отметить, что скорость скольжения при оценке коэффициентов трения мала, можно сказать – незначительна, всего 0,07 м/с, как и путь трения, который составил для покрытий ПГ-СР2 и ПГ-10Н-01 80 м, для ПГ-СР2 + TiC – 160 м, а после фрикционной обработки – 240 м. Почему бы не испытывать в одних условиях, чтобы было возможно сравнение? С другой стороны, в параметр интенсивности изнашивания введена плотность покрытия, чем это обосновано? какой в этом смысл?

Среди других методов исследования для данной работы можно отметить целесообразность и эффективность использования оптического профилометра (показатель Ra) и анализ продуктов изнашивания.

Третий раздел, по существу, посвящен аттестации структуры и фазового состава наплавки (см.табл. 2.1, стр. 53), их микромеханических и трибологических свойств. Этот раздел можно оценить как научно-квалификационную часть работы, выполненную на высоком уровне.

В четвертой главе рассмотрены возможности дополнительного увеличения износостойкости NiCrBSi покрытий путем введения в порошок состава ПГ-СР2 карбида титана в количестве 5, 15 и 25%, а количество фаз при этом увеличилось с 3 (табл. 3.1, стр. 69) до 5 (рис. 4.1, стр. 97), а твердость HV соответствующих наплавов возросла, соответственно, с 520 до 770 ед. Это обеспечивает уменьшение изнашивания как по окиси кремния, так и по окиси алюминия (табл. 4.2, 4.3, 4.4, стр. 103-104), коэффициент трения уменьшается, а удельная работа изнашивания возрастает в разы. Установлен и механизм изнашивания: микрорезание и / или царапание.

Встречается термин "композиционные покрытия" (стр. 113, 115) для наплавов с 15 и 25% TiC. Скорее всего, это не композиционные, а оболочковые или каркасные структуры (см. рис. 3б, в, стр. 64), так ли это? тем более, судя по рис. 4.3а, каркасов из карбида TiC не наблюдается. По существу же выводы по этому разделу обоснованы в полной мере и содержательны.

В пятой главе рассмотрены возможности влияния термической обработки на трибологические свойства наплавов. При исследовании влияния температуры нагрева наплавки ПГ-10Н-01 установлено, что термическое воздействие при 1025°C в течение 1 часа с охлаждением на воздухе весьма существенно повышает весь комплекс трибологических свойств (см. рис. 5.1, стр. 120), при этом коэффициент трения  $f$  даже существенно ниже, чем у наплавки ПГ-СР2 с 25% TiC, что обусловлено дополнительным выделением карбоборидов, что в свою очередь обеспечивает дополнительное упрочнение наплавки.

Здесь снова встречается суждение о формировании высокопрочного износостойкого каркаса, но свидетельств о появлении в процессе отжига этого каркаса – нет (см. рис. 5.4).

Итогом данного раздела является способ создания "особо высокого уровня теплостойкости покрытия" (Патент РФ 2492980), однако не ясно, как этот уровень оценен, скорее всего это реалистичный прогноз.

В шестом разделе рассмотрены возможности влияния фрикционной обработки на трибологические свойства наплавки ПГ-СР2. При этом установлены условия, при которых поверхность упрочняется максимально, случаи, когда фрикционная обработка сопровождается адгезионным схватыванием нежелательны (см. табл. 6.1, стр. 134) и др.

Исследования покрытия после фрикционной обработки DBN-индентором показали, что упрочненный слой содержит нанодисперсные компоненты, имеет повышенную сопротивляемость упруго-пластическим деформациям, остаточные сжимающие напряжения благоприятны и достигают 400 МПа (рис. 6.12, стр. 144).

Кроме того, здесь показано, как фрикционная обработка изменяет в поверхности состав  $\gamma$ -твердого раствора вследствие частичного деформационного растворения карбоборидов. Все это повышает трибологические свойства (табл. 6.3, стр. 148): износостойкость, коэффициент трения, работу изнашивания.

Здесь же рассмотрены механизмы изнашивания при трении – скольжение покрытия после фрикционной обработки индентором из нитрида бора по стали X12M со смазкой на пути трения 320 м (стр. 157), по мере испытания "упругое оттеснение" сменяется "пластическим оттеснением" и далее развивается усталостное разрушение.

Таким образом и в этом разделе конкретно установлено положительное влияние фрикционно-механической обработки на трибологические свойства соответствующих наплавов.

Выполненная работа представляет собой *законченное научное исследование*. Полученные результаты *достоверны*, выводы в полной мере *обоснованы и содержательны*.

По работе можно сделать замечания, задать вопросы.

1. Лазерные покрытия (наплавки) при введении в них титана (до 25%) названы "композиционными" (стр. 109, 115), а на рис. 4.13а (стр. 116) показано распределение титана (то есть TiC) как компактное, то есть карбид титана привносит дополнительное дисперсионное упрочнение и все.

2. На стр. 158 и рис. 6.18б на поверхности наплавки ПГ-СР2 при трении по стали X12M со смазкой "отмечено" наличие сульфида никеля (NiS). Это не доказано, тем более, что коэффициент трения после фрикционной обработки для соответствующих случаев увеличился (табл. 6.5).

3. Надо полагать, что выявленные закономерности, новые режимы термической и фрикционной обработки могут быть эффективно использованы в машиностроении. Нельзя ли обосновать и предложить какой-либо узел, механизм, в котором реализация разработок были бы эффективна?

Сделанные замечания не могут повлиять на общую положительную оценку работы, *научная новизна выполненного исследования и его значимость несомненны*. Хотя данная работа академична, *возможности практического ее применения вполне реальны*. *Результаты достоверны*.

Обращает на себя внимание строгое и корректное изложение и оформление диссертации в целом.

Выполненная диссертационная работа *соответствует требованиям п.9 Положения ВАК о присуждении ученых степеней, хорошо опубликована* и автор ее, Соболева Наталья Николаевна, в полной ме-

ре заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – Материаловедение (в машиностроении).

Автореферат по содержанию соответствует диссертации.


Потехин Борис Алексеевич,  
профессор кафедры Технологии металлов Федерального государственного  
бюджетного образовательного учреждения высшего образования Уральский  
государственный лесотехнический университет  
профессор, доктор технических наук

620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, 37

Тел.: (343) 262-96-38; 8-9

e-mail: general@usfeu.ru, pb@yandex.ru



  
/Потехин Б.А./  
"24" ноября 2016 г.  
г. Екатеринбург