

Теплозащитные покрытия для прецизионной штамповки жаростойких сталей

к.т.н. доц. Петров А.Н., Соляков А.П.
Университет машиностроения
alexander_petr@mail.ru

Аннотация. В статье приведены исследования свойств теплозащитных покрытий (ТЗП) применительно к прецизионной штамповке компрессорных лопаток из жаростойкой стали ЭП-866. В производственных условиях было исследовано влияние изменения состава ТЗП. В статье приводятся результаты штамповки компрессорных лопаток с применением ТЗП, а также штамповых смазочных материалов на коллоидно-графитовой основе.

Ключевые слова: теплозащитное покрытие (ТЗП), обуглероженный слой, дисперсия, жидкие стекла, коллоидный графит, штамповка, микроструктура

Введение

Применение и выбор эффективных смазочных материалов и теплозащитных покрытий (ТЗП) для процессов горячей штамповки является актуальной проблемой, решение которой позволяет значительно повысить эффективность технологических процессов [7, 8].

При нагреве в воздушной атмосфере высоколегированных сплавов для штамповки на поверхности заготовок образуется окалина, а также происходит окисление по границам зерен и обеднение поверхности легирующими элементами. Дефектный слой состоит из зоны окислов металла, зоны окисленных границ зерен и зоны с измененным химическим составом. Глубина дефектного слоя оказывает большое влияние на величину назначаемого припуска поковок, поэтому теплозащитные покрытия не должны вступать в реакцию с основным металлом в процессе нагрева, однако должны обеспечивать снижение припуска 1.

Типовой технологический процесс штамповки лопаток компрессора газотурбинных двигателей (ГТД) включает: нагрев заготовки в печи с обычной атмосферой, штамповку, удаление дефектного слоя с поверхности. Исходя из этого масса заготовки рассчитывается с учетом потерь на угар – 1,2%. В качестве теплозащитных покрытий хорошо подходят защитные эмали, суспензии стекол или расплав солей хлористого бария. Нагрев заготовок в расплаве солей хлористого бария сопровождается недостатками, которые были исследованы в работе 2.

В процессе горячей штамповки деталей небольшой толщины, например, лопаток из жаропрочных сталей и сплавов, возникают значительные силы трения, которые оказывают влияние на износ штамповой оснастки. Эмали и стеклянные суспензии, которые наносятся на заготовку, имеют две функции: теплозащитную и смазочную. Как смазка штампов они проявляют себя только в жидком состоянии. При температурах штампов 200...300°C эмали или суспензии стекла в состоянии отверждения работают как абразив. Смазочные материалы на основе графитовых суспензий создают условия граничного трения на контактной поверхности «заготовка-штамп» и позволяют снизить трение и износ [3].

Экспериментальная часть

На ОАО «ММП им. В.В. Чернышева» (г. Москва) совместно со специалистами компании «Хенкель-Рус» (г. Москва) и ООО «Коллоидно-графитовые препараты» (г. Воскресенск) были проведены исследования теплозащитных покрытий (ТЗП) Deltaglaze FB-651 и ОВТ-1 (ТУ2113-141-05015182-2002). Покрытие ОВТ-1 представляет собой водорастворимую суспензию на основе коллоидного графита и тугоплавких металлов. Покрытие Deltaglaze FB-651 – водорастворимая суспензия на основе боратного стекла. В таблице 1 приведены основные свойства покрытий.

Исследования проводились в производственных условиях на заготовках лопаток компрессора ГТД из жаростойкой стали ЭП866 (таблица 2).

Физические свойства покрытий

Параметры	Покрытие	
	FB-651	ОВТ-1
Общее содержание твердого остатка, %	48,0	29,0
Вязкость, [Па с]	8,5	н.д.
Разбавитель	H ₂ O	H ₂ O

Таблица 2

Химический состав ЭП866

C	Cr	Co	Ni	Mo	W	V	Nb
0,13-0,18	15,0-16,5	4,5- 5,5	1,7- 2,1	1,35- 1,65	0,65- 1,0	0,18- 0,30	0,2- 0,35

Покрытия наносились методом окунания предварительно обезжиренных заготовок. Далее проводили сушку на поддоне при температуре 20⁺⁵ °С (рисунок 1а). Толщина покрытия на заготовках для двух типов покрытий различалась и составляла 0,035...0,05 мм для Deltaglaze FB-651 и 0,05...0,08 мм для ОВТ-1. Толщина покрытия выбиралась исходя из рекомендаций производителей ТЗП. За счет изменения вязкости суспензий разбавлением водой достигалась нужная консистенция.

Нагрев заготовок перед операцией «штамповка» осуществлялся в электропечи карусельного типа без защитной атмосферы в соответствии с действующим на предприятии технологическим процессом при температуре 1150^{±10} °С и выдержкой до 25...30 минут. Штамповка выполнялась на прессе КГШП силой 10 МН, а также температурой поверхности штампов 135...150°С (до нанесения смазки) и 115...130°С (после нанесения смазки). Контроль температуры штампов проводили с помощью инфракрасного пирометра. Смазка штампов осуществлялась коллоидно-графитовым смазочным материалом Aquadag 18% («Хенкель Рус») при помощи ручного распылительного пистолета DAG 087F. Степень разбавления концентрата водой составляла 1 к 3. В таблице 3 приведены свойства Aquadag 18%.

Таблица 3

Физические свойства Aquadag 18%

Параметры	Показатели
Содержание сухого остатка, %	18,0
Содержание золы, %	≤ 0,15
Водородный показатель, рН	11,0
Размеры частиц графита, мкм	≤ 1...5



а)



б)

Рисунок 1. Лопатки до и после штамповки с покрытием Deltaglaze FB-651 (а – заготовки лопаток; б – поковки лопаток)

После штамповки и пескоструйной обработки лопаток с покрытием Deltaglaze FB-651 на поверхности пера визуально наблюдали дефекты в виде вмятин (рисунок 2а). Возможная причина такого дефекта – недостаточная температура нагрева штампов перед штамповкой.

Одновременно отмечено, что сила деформирования снижается, о чем косвенно можно судить по увеличению облоя (рисунок 1б). На поверхности лопаток после штамповки с покрытием ОВТ-1 таких дефектов выявлено не было (рисунок 2б).

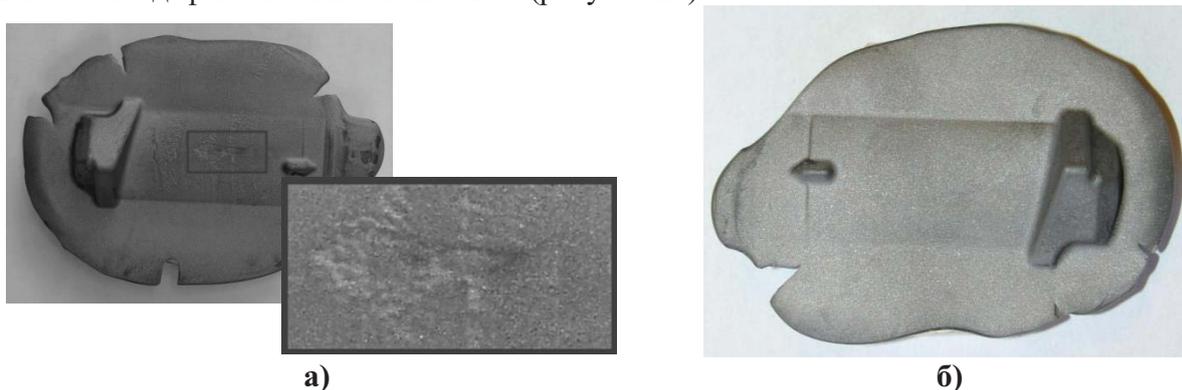


Рисунок 2. Наличие дефектов на лопатках после штамповки
(а – лопатка с покрытием Deltaglaze FB-651; б – лопатка с покрытием ОВТ-1)

Исследование микроструктуры

Исследование микроструктуры и замеры глубины обезуглероженного слоя лопаток, отштампованных с покрытиями, проведены на оптическом микроскопе Zeiss Axiovert 40 MAT.

Полученные результаты сравнивали с результатами исследований лопаток, отштампованных по серийной технологии: нагрев заготовок в расплаве солей хлористого бария $BaCl_2$ и последующая штамповка. В таблице 4 и на рисунке 3 показаны результаты исследований.

Полученная микроструктура основного материала – мартенсит, соответствует эталонам допустимых микроструктур для материала поковок.

Таблица 4

Глубина обезуглероженного слоя

Наименование	Глубина обезуглероженного слоя, мм
покрытие Deltaglaze FB 651	нет
покрытие ОВТ-1	нет
покрытие – расплав $BaCl_2$	0,027

Определение значения массы обезуглероженного слоя

Величина массы обезуглероженного слоя определялась путем измерения потери массы лопаток после штамповки и пескоструйной обработки. Заготовки с ТЗП взвешивали после нанесения покрытия и сушки, а также после штамповки и дробеструйной обработки (таблица 5).

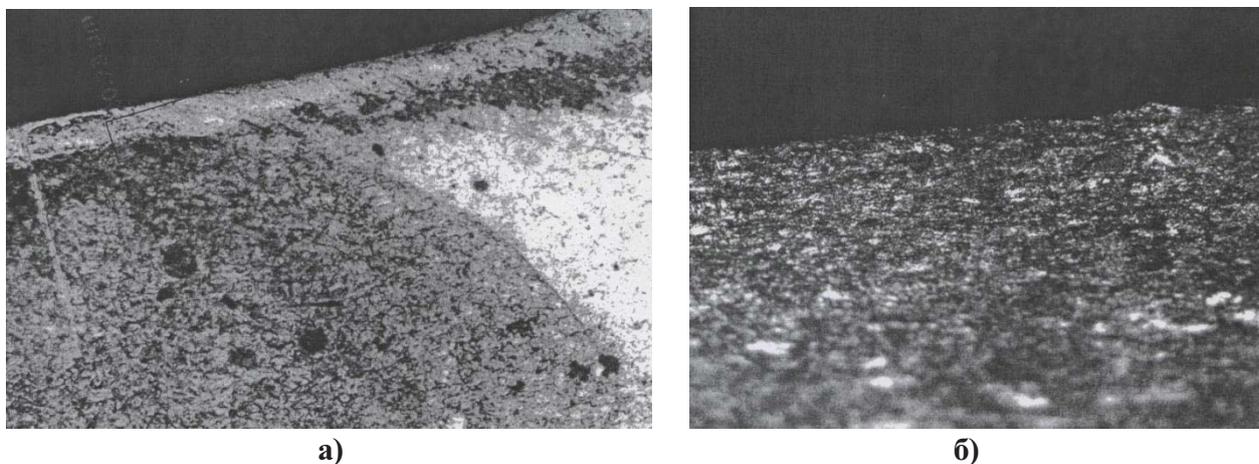


Рисунок 3. Микроструктура лопаток после штамповки
(а – с обезуглероженным слоем при нагреве заготовки в расплаве $BaCl_2$;
б – без обезуглероженного слоя при нагреве с ТЗП Deltaglaze FB 651)

Потеря массы заготовки

покрытие	толщина покрытия, мкм	масса заготовки, г			потеря массы, %
		исходная, без покрытия	исходная, с покрытием	после штамповки и пескоструйной обработки	
Deltaglaze FB 651	35...50	58,3821	58,8857	58,2551	0,22
ОВТ-1	50...80	58,3822	58,5273	58,1090	0,46
расплав BaCl ₂	н.д.	58,3819	58,3891	57,790	1,01

Выводы

По результатам проведенных исследований были сделаны следующие обобщения и выводы:

1. Состав ТЗП влияет на качество поверхности заготовок после штамповки, при этом толщина слоя ТЗП определяется исходя из степени разбавления концентрата.
2. Толщина слоя покрытия и его состав также влияют на потерю массы заготовок при нагреве.
3. Коллоидно-графитовый смазочный материал для смазки штампов в комплексе с ТЗП способен обеспечить стабильность выполнения операции горячей объемной штамповки.
4. ТЗП на основе коллоидного графита и тугоплавких металлов целесообразно использовать при горячей штамповке с температурой штампа в пределах 200...250°С.
5. Комплексное исследование и обоснованный выбор теплозащитных покрытий (ТЗП) для нагрева заготовок и смазочных материалов для смазки штампов дает возможность обеспечения технических, экономических и экологических требований технологического процесса.

Литература

1. Петров А. Н., Развитие заготовительного производства. Авиационная промышленность, 2002, №3, стр. 40 – 50.
2. Петров А. Н., Исследование коллоидно-графитовых теплозащитных покрытий для никелевых сплавов, Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением, 2012, №5, стр. 35 – 38.
3. Петров А. Н., Коллоидно-графитовые смазочные материалы в процессах горячего деформирования сталей и сплавов, Монография, МГМУ «МАМИ», 2012
4. Петров А. Н., Андрейченко Т. П., Сайранова Т. А., Смазка для горячей обработки металлов давлением, Пат. №2224008 РФ, Опубл.: 20.02.2004.
5. Применение стеклянных защитных покрытий при штамповке лопаток из жаропрочных сплавов, под ред. Корнеева Н.И., Скугарева И. Г., Кулешова М. Я., Машиностроение, 1966, с. 12
6. Манегин Ю.В., Анисимова И. В., Стекло-смазки и защитные покрытия для горячей обработки металлов, Металлургия, 1978, с. 223
7. Петров П.А., Воронков В.И., Петров М.А., Назарова О.А., Шай хулов М.В. Анализ методов исследования контактного трения, основанных на выдавливании деформируемого материала / Известия МГТУ «МАМИ», 2011, № 1. С. 177-184.
8. Калпин Ю.Г., Крутина Е.В., Петров П.А. Нагрев и нагревательные устройства кузнечного производства/ Конспект лекций // Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ), кафедра "Кузовостроение и обработка давлением". Москва, 2010