

Tehnologiya holodnoy shtampovki Yu. A. Averkiev., A. Yu. Averkiev. – Moscow: Mashinostroenie, 1989. – 304 p. 5. Kalyuzhniy V. L. Vpliv kuta konusu puansonu na silovI rezhimi I yakIst virobIv pri rozdachI trubchastih zagotovok Iz stalI 12H18N10T V.L. Kalyuzhniy, V.V. Pimanov, Ya.S. Oleksandrenko Вісник НТУ «ХПІ». – 2013. – № 43. – Р. 120–126. 6. Kalyuzhniy O.V. IntensifkatsIya holodnoYi rozdachI trubchastih zagotovok konIchnim puansonom O.V. Kalyuzhniy Вісник НТУ «ХПІ», SerIya «Novш rishennya v suchasnih tehnologiyah». – 2013. – № 43. – Р. 84–90.

Надійшла (received) 28.10.2014

УДК 621.892 : 621.77

**Б. С. КАРГИН**, канд. техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»;  
**С. Б. КАРГИН**, канд. техн. наук, доц., ГВУЗ «ПГТУ», Мариуполь;  
**А. С. БУРЛУЦКИЙ**, инженер, ГП НПКГ «Заря-Машпроект», Николаев

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СМАЗОК ПРИ ГОРЯЧЕЙ ШТАМПОВКЕ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ**

Представлены результаты лабораторных и производственных исследований эффективности различных стеклосмазок и графито-фосфатного препарата при горячей штамповке широко применяемых жаропрочных сплавов, из которых изготавливают турбинные лопатки. Получены экспериментальные данные по влиянию типа стеклосмазки на величину окисления металла при нагреве в пламенных печах. Выданы рекомендации. Установлено, что при штамповке жаропрочных сплавов (турбинные лопатки и т. д.) следует применять стеклосмазку No 4-2 в сочетании с графито-фосфатным препаратом.

**Ключевые слова:** поковка, турбинная лопатка, нагрев, штамп, смазка, деформация, стойкость.

**Введение.** В развитии современного газотурбостроения наблюдается тенденция к росту скоростей и температур газового потока, увеличению удельных нагрузок и агрессивности топлива.

Эти условия предъявляют жёсткие требования по выбору материалов для турбинных лопаток. К основным из них относятся: высокая жаропрочность; пластичность, необходимая для равномерного распределения напряжений по всему сечению; высокую усталостную прочность; стабильность структуры, обеспечивающая неизменность механических свойств во время эксплуатации; химическая инертность к продуктам сгорания топлива; стойкость к газовой коррозии и эрозии при высоких температурах.

Для изготовления сопловых аппаратов ГТД применяются жаропрочные и жаростойкие сплавы на основе никеля, легированные хромом, вольфрамом, молибденом, титаном, бором и другими элементами.

Исследования показывают, что трудно-деформируемые жаропрочные материалы характеризуются сравнительно узким интервалом горячей обработки давлением, в частности, для сплава ЭП-33 -1000-1150 °С. Превышение температуры обработки ведёт к резкому росту исходного зерна,

что, в свою очередь, в условиях неоднородной пластической деформации способствует образованию разнотельной структуры и снижению характеристик жаропрочности и усталостной прочности изделий. При снижении температуры обработки резко возрастают усилия деформирования, что связано с началом выпадения упрочняющих фаз по границам зёрен. В связи с этим возникают большие трудности по повышению стойкости штампов. С этой точки зрения исследования, направленные на создание оптимальных условий на границе жаропрочный сплав – штамп представляют определенный интерес.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Стойкость штампов и качество поковок в значительной степени зависит от соблюдения требуемых технологических режимов. Кроме того, необходимость остановки прессов для смены штампов приводит к потерям рабочего времени (10–30 %), а частые ремонты штампов повышают расходы на инструмент и отрицательно сказываются на себестоимости поковок, т.к. при штамповке турбинных лопаток расходы на штампы составляют 40–50 % от себестоимости поковок.

Одной из важнейших задач для уменьшения износа штампов является применение эффективных технологических смазок. Кроме того, на качество поверхности штампуемых поковок большое влияние оказывает окисление и возможность выгорания легирующих элементов в поверхностных слоях при нагреве. Данный недостаток может быть предотвращён или уменьшен путём нагрева заготовок в печах с защитной атмосферой. Однако, данный способ нагрева весьма дорого стоит.

Среди всех смазок для горячей штамповки жаропрочных сплавов значительное место принадлежит стеклянным смазкам различного химического состава. Исследования [1, 2] показали, что стекло во многих случаях действует как смазочный и изоляционный материал. В настоящее время существует много рецептов стеклосмазок [3, 4]. Это объясняется высокой чувствительностью стеклосмазок к условиям их работы. Эффективность стеклосмазок зависит от вида деформируемого материала, формы и размеров получаемых изделий, способа их изготовления. Однако, конкретные данные по составу и эффективности стеклосмазок отсутствуют.

**Цель.** Целью работы является экспериментальное изучение эффективности стеклосмазок в тандеме с графито-фосфатным препаратом (ГФП) при горячей штамповке жаропрочных сплавов; установление защитных свойств стеклопокрытий для предотвращения окисления (коррозии) при нагреве в пламенных печах.

**Изложение основного материала.** Теорией и практикой доказано, что для каждого конкретного случая наиболее эффективным смазывающим и изоляционным действием обладает строго определённый состав стекла.

Антифрикционные, а также теплофизические свойства стеклосмазок определяются, в основном, химическим составом стёкол.

В настоящей работе приведены результаты испытаний эффективности стеклосмазок применительно к жаропрочным сплавам ЭП-33 и ЭП-479, используемых при штамповке турбинных лопаток массой 1,5–3,5 кг на Николаевском НПКГ «Заря-Машпроект».

Наиболее приемлемым для лабораторных исследований эффективности смазок явился косвенный метод определения коэффициента трения по результатам осадки кольцевых заготовок [5].

Кольца из стали 10X11H23T3MP (ЭП-33) и 15X16H2AM (ЭП-479) имели размеры  $D:d:h=36:18:12$  мм, где  $D$  и  $d$  – наружный и внутренний диаметры кольцевых образцов,  $h$  – высота кольцевых образцов. Нагрев перед осадкой проводили в электрической печи камерного типа с силикаткремниевыми нагревательными элементами до 1150°C. Температура осадочных плит – 250°C. Степень осадки составляла 35 %.

Исследовали эффективность стеклосмазок № 36, № 4-2 и графитофосфатного препарата ГФП. Их состав представлен в таблицах 1 и 2.

Использовали кривошипный пресс силой 0,63 МН. Нанесение стеклопокрытия осуществлялось путём окунания колец в шликер перед их посадкой в печь. Шликер готовился из стеклопорошка 2-х указанных выше марок и наполнителя. Сушка образцов производилась при комнатной температуре в течение 60 минут.

При осадке первой партии колец (5 штук) использовали стеклопокрытие № 36 и сухие осадочные плиты, при осадке второй партии использовали стеклопокрытие № 4-2 и сухие осадочные плиты, а при осадке третьей и четвёртой партии осадочные плиты были покрыты воднографитовой смазкой ГФП, а образцы – стеклопокрытием № 36 (третья партия) и № 4-2 (четвёртая партия).

Антифрикционные свойства смазок сравнивали по изменению диаметра внутреннего отверстия кольцевых заготовок после их горячей осадки.

Таблица 1. Состав испытываемых стеклосмазок

Номер стеклосмазок	Содержание, %				
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O
№ 36	45	5	35	-	15
№ 4-2	54	14	14	16	2

Таблица 2. Состав смазки ГФП (графито-фосфатный препарат)

№ п/п	Наименование компонентов	Содержание, %
1	Графит	18
2	Триполифосфат натрия	8
3	Лигносульфонат	8
4	Триэтаноламин	0,3
5	Фурацилин	0,01
6	Вода	65,69
Смазка ГФП не токсична, не пожароопасна		

Для определения среднего внутреннего диаметра осаженных заготовок отверстия заливали парафином, масса которого служила исходной величиной для дальнейших расчётов по формуле:

$$d_i = \sqrt{\frac{4 \cdot m}{\rho \cdot \pi \cdot h}},$$

где  $d_i$  – внутренний диаметр кольца, мм;

$m$  – масса парафина, г;

$h$  – высота осаженного кольца, мм;

$\rho$  – плотность парафина, г/мм<sup>3</sup>.

Коэффициент трения  $\mu$  определяли по диаграмме [5] в зависимости от  $\varepsilon_h$  и  $\varepsilon_d$ , где  $\varepsilon_h = \frac{H_0 - H_1}{H_0} \cdot 100 \%$  и  $\varepsilon_d = \frac{d_0 - d_1}{d_0} \cdot 100 \%$ ,  $H_0$  и  $d_0$  – исходные высота и внутренний диаметр кольца, мм;  $H_1$  и  $d_1$  – высота и внутренний диаметр кольца после осадки, мм.

При деформировании кольцевых заготовок из различных жаропрочных сплавов с различными технологическими смазками установили величины коэффициента трения  $\mu$ . Результаты испытаний представлены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты испытаний эффективности технологических смазок

Тип смазки	Марка испытываемой стали	Коэффициент трения, $\mu$
Стеклосмазка № 36	15X16H2AM (ЭП-479)	0,20
Стеклосмазка № 36	10X11H23T3MP (ЭП-33)	0,19
Стеклосмазка № 4-2	15X16H2AM (ЭП-479)	0,15
Стеклосмазка № 4-2	10X11H23T3MP (ЭП-33)	0,15
Стеклосмазка № 36 и ГФП	15X16H2AM (ЭП-479)	0,12
Стеклосмазка № 4-2 и ГФП	10X11H23T3MP (ЭП-33)	0,11

Были проведены эксперименты по определению защитных свойств стеклопокрытий методом термовесового анализа. В работе представлены результаты исследований эффективности стеклопокрытий № 36 и № 4-2 при нагреве жаропрочного сплава ЭП-33 до температуры 1150°C.

Выбор указанных стеклопокрытий связан с тем, что для каждого процесса, класса сталей и сплавов необходим специальный состав, что вызвано неодинаковым взаимодействием стекла с различными металлами и высокой чувствительностью стеклосмазки к условиям работы. Выбирается химический состав стекла, неагрессивный по отношению к металлу и обеспечивающий необходимую вязкость в заданном интервале температур, равномерное покрытие металла стеклом, лёгкость удаления стекла с обрабатываемых поковок.

Важным вопросом при использовании стекла в качестве защитного покрытия является степень его коррозионной активности по отношению к металлу. Интенсивность протекания коррозионных процессов для каждого металла и сплава зависит от состава стекла и температуры. Изучение степени защиты сплава ЭП-33 стеклопокрытием проводили по методике, разработанной С.-Петербургским институтом химии и силикатов, для определения зависимости изменения веса образца покрытого стеклом, от времени выдержки и температуры нагрева. Время выдержки сплава ЭП-33 при температуре 1150°C составляло 120 минут.

В результате исследований было установлено, что при нагреве сплава ЭП-33 без покрытия привес составил 2,7 мг/см<sup>2</sup>, а при стеклопокрытии № 4-2 – 0,8 мг/см<sup>2</sup>, при стеклопокрытии № 36 – 1,3 мг/см<sup>2</sup>.

**Выводы.** Экспериментально установлена эффективность стеклосмазок при горячей штамповке жаропрочных сплавов. Показано, что стеклосмазка № 4-2 даёт лучшие результаты по сравнению со стеклосмазкой № 36.

Установлено, что применение графито-фосфатного препарата (ГФП), который разработан на кафедре КШП ПГТУ, для смазки инструмента перед деформацией образцов со стеклопокрытием позволяет снизить величину коэффициента трения на 20–40%. Представляется целесообразным рекомендовать при штамповке жаропрочных сплавов (турбинные лопатки и т.д.) применение стеклосмазки № 4-2 в сочетании с ГФП.

Установлено, что стеклопокрытие помимо функций технологической смазки, защищает заготовку от окисления, выгорания легирующих элементов при нагреве и сохраняет тепло нагретой заготовки при переносе её от печи к прессу.

**Список литературы:** 1. Коротких Е.Д. Нанесение стеклосмазок на заготовки при горячем деформировании / Е.Д. Коротких, М.П. Пономарёв, Б.И. Телешев // Кузнечно-штамповочное производство. – 1975. – № 4. – С. 9. 2. Корнеев М.И. Применение стеклянных защитных покрытий при штамповке лопаток из жаропрочных сплавов / М.И. Корнеев, И.Г. Скугарев. – М.: Машиностроение, 1966. – 140 с. 3. Солнцев С.С. Защитные покрытия металлов при нагреве / С.С. Солнцев, А.Г. Туманов. – М.: Машиностроение, 1976. – 256 с. 4. Солнцев С.С. Защитные покрытия при нагреве : Справочное пособие / С.С. Солнцев. – М.: Книжный дом «Либроком», 2009, – 248 с. 5. Грудев А.П. Трение и смазки при обработке металлов давлением / А.П. Грудев, Ю.В. Зильберт, В.Т. Тилик. – М.: Metallургия, 1982. – 310 с.

**Bibliography (transliterated):** 1. Korotkyh E.D. Application of glass lubricants for hot deformation of the workpiece E.D. Korotlyh, M.P. Ponomarev, B.I. Teleshev Forging and stamping production. – 1975. – No4 . – P. 9. 2. Korneev M.I. The use of glass protective coatings when punching blades from HRSA M.I. Korneev, I.G. Skugarev . – Moscow: Mechanical Engineering , 1966 . – 140 p. 3. Solntcev S.S. Protective coatings of metals by heating S.S. Solntcev, A.G. Tumanov. – Moscow: Mechanical Engineering, 1976. – 256 p. 4. Solntcev S.S. Protective coatings on heating: Handbook S.S. Solntsnv. – Moscow Book House »Librokom», 2009,– 248 p. 5. Grudev A.P. Friction and lubrication in metal forming A.P. Grudev, Y.V. Zilbert , V.T. Tilik . – Moscow: Metallurgy , 1982. – 310 p.

Поступила (received) 26.10.2014

УДК 621.73

**В. В. КУХАРЬ**, докт. техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ», Мариуполь

### **ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ ИЗГИБЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК ПРОДОЛЬНО ПРИЛОЖЕННЫМИ СИЛАМИ**

Аналитически рассмотрены процессы деформации при получении профилированных заготовок продольным изгибом для последующих завершающих операций объемной штамповки иликовки. Разработана методика расчета и установлены закономерности изменения относительного радиуса кривизны нейтрального слоя, смещения нейтральной линии деформаций и развития деформаций на внутреннем и наружном радиусе по биссектрисе угла изгиба цилиндрической заготовки при продольном изгибе в зависимости от таких основных параметров как степень деформации и соотношение габаритных размеров исходной заготовки.

**Ключевые слова:** продольный изгиб, цилиндрическая заготовка, профилирование, деформация, смещение нейтрального слоя, радиус кривизны, крайние волокна.

**Введение.** Изгиб заготовок продольно приложенными силами в процессах обработки металлов давлением (осадка, высадка, протяжка, производство гнутых профилей) долгое время рассматривали только как негативное явление, принимая технологические решения по его исключению. В большинстве случаев такие решения являются оправданными. Возникновение продольного изгиба у цилиндрических заготовок связано с потерей ими устойчивости, когда отношение диаметра  $D_0$  к высоте  $L_0$  заготовки (т.е. коэффициент контакта  $D_0 / L_0$ ) меньше определенной критической величины, а прилагаемая сила достаточна для возникновения начального выпучивания и дальнейшего развития деформации. При осадке или высадке заготовок чаще оперируют обратным соотношением  $m_0 = L_0 / D_0$  [1], т.е. относительной высотой заготовки. Однако в настоящее время предложен ряд технологических процессов, основанных на положительном использовании явления продольного изгиба, и проведено изучение закономерностей формоизменения заготовок с различной формой поперечного сечения [2–5]. При этом оценка

---

© В. В. Кухарь, 2014