

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 «ХПИ». – 2013. – No 43. – P. 120–126. 6. Kalyuzhniy O.V. IntensifkatsIya holodnoYi rozdachI trubchastih zagotovok konIchnim puansonom O.V. Kalyuzhniy Вісник НТУ «ХПИ», SerIya «Novш rиshennya v suchasnih tehnologiyah». – 2013. – No 43. – P. 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 останова 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 ₂	Al ₂ O ₃	B ₂ O ₃	CaO	Na ₂ 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;

ρ – плотность парафина, г/мм³.

Коэффициент трения μ определяли по диаграмме [5] в зависимости от ε_h и ε_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 μ . Результаты испытаний представлены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты испытаний эффективности технологических смазок

Тип смазки	Марка испытываемой стали	Коэффициент трения, μ
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/см², а при стеклопокрытии № 4-2 – 0,8 мг/см², при стеклопокрытии № 36 – 1,3 мг/см².

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