

УДК 621.73.073:62–294.2

С.Н. Эйгенсон, Н.В. Корихин, А.И. Головин

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПРОЧНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА БАЗЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ЕГО НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ

S.N. Eigenson, N.V. Korikhin, A.I. Golovin

THE SOLUTION OF THE PROBLEM OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT STRENGTH ON THE BASIS OF EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF ITS STRESSED STATE

Исследовано напряженное состояние нижней половины штампа окончательного перехода для штамповки турбинной лопатки. Экспериментальное исследование объемного напряженного состояния осуществлялось методом фотоупругости с использованием способа составных моделей. При моделировании процесса штамповки получено распределение напряжений в характерных сечениях штампа. Результаты исследования позволили оптимизировать размеры штамповых вставок и определить основные направления повышения стойкости штамповой оснастки.

ШТАМП. ШТАМПОВАЯ ОСНАСТКА. НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ. МЕТОД ФОТОУПРУГОСТИ. СОСТАВНЫЕ МОДЕЛИ.

Stressed state of stamp's lower part of final crossing/transfer for turbine blade pressure forming was investigated. Experimental investigation of volume stressed state was carried out by photoelasticity method with usage of composite model method. When pressure forming process was modeled distribution of stresses in characteristic cross-sections of stamp was got. The results of investigation allowed to optimize the sizes of stamp insertions and to determine the main ways of stamp equipment resistance increasing.

STAMP. DIE TOOLING. STRESSED STATE. PHOTOELASTICITY METHOD. COMPOSITE MODELS.

Для решения важной технологической задачи повышения качества и точности штампованных заготовок турбинных лопаток необходима стойкая к износу штамповая оснастка.

Обоснованные рекомендации по повышению износостойкости штамповой оснастки базируются на знании объемного напряженно-деформированного состояния (НДС) штампа. Эффективным методом изучения НДС штампа является метод фотоупругости [1], один из наиболее эффективных экспериментальных методов изучения напряженного состояния сложных деталей с учетом концентрации напряжений в них. В его основе лежит явление двойного лучепреломления под нагрузкой в некоторых прозрачных оптически чувствительных материалах — отвержденных эпоксидных компаундах.

Параметры двулучепреломления зависят от напряженного состояния модели, их можно измерять при просвечивании модели в поляризованном свете.

Методика исследования

Для экспериментального исследования объемного напряженного состояния штампа использовался метод составных моделей [2]. Свинцовую заготовку лопатки деформировали двумя прозрачными пластмассовыми штампами в поле поляриметра. Нижний штамп (см. рис. 1) изготавливали из специального оптически неактивного оргстекла, а в исследуемые сечения перпендикулярно контактной поверхности клеивали тонкую пластинку из оптически чувствительного материала — эпоксидной смолы

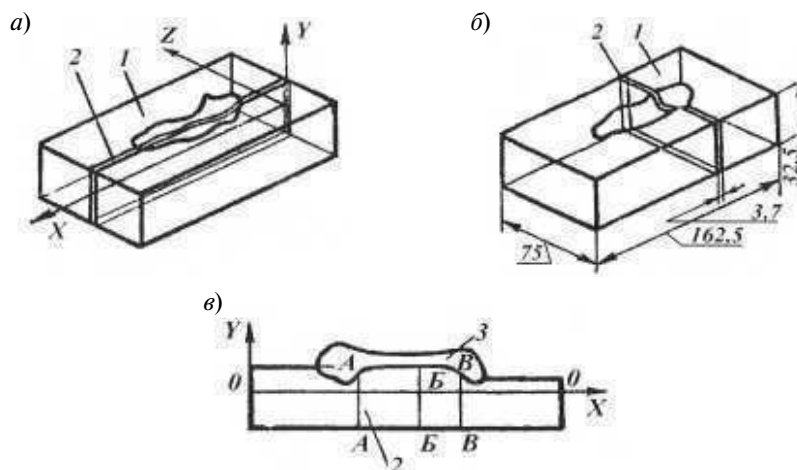


Рис.1. Экспериментальный нижний штамп *1* из оптически неактивного оргстекла с оптически активной клеейкой *2* и заготовкой лопатки *3*; *a* — клеейка в продольном направлении; *б* — клеейка в поперечном направлении; *в* — схема расположения сечений, для которых приведены графики напряжений

ЭД-16М. Пластины клеивались вдоль оси заготовки и перпендикулярно ей. Модель верхнего штампа, в котором не определяли напряжения, изготавливали из обычного оргстекла. Объектом исследования был штамп для получения заготовки турбинной лопатки длиной 350 мм и сечением хвостовой части 91,5x55,5 мм. Модели были выполнены в масштабе 1:4. Исследовали нижнюю половину штампа окончательного перехода для штамповки заготовки турбинной лопатки на прессе КГШП усилием 6300 тс. Материал штампа — сталь 4Х5В2ФС (ЭИ 958).

При изготовлении моделей гравюра штампа вырезалась в склеенном блоке (нижний штамп) и в монолитном блоке (верхний штамп) на копировально-фрезерном станке с последующей ручной доводкой по металлическим шаблонам. Свинцовая модель лопатки изготавливалась вручную. Статическая нагрузка на модель создавалась ручным винтовым прессом. Оптическую картину в процессе формоизменения свинцовой заготовки наблюдали в полярископе. В момент, когда по картине полос (изохромы) в модели имели место наибольшие напряжения, останавливали нагружение и измеряли оптические параметры. В этот момент заканчивалась пластическая деформация заготовки — она принимала нужную форму. Таким образом, моделировался процесс штамповки турбинной лопатки.

Для оптических измерений использовали полярископ ППУ-7 и координатно-синхронный поляриметр КСП-7. На приборе ППУ-7 с параллельным пучком света диаметром 110 мм наблюдали и фотографировали картины изохром (в белом свете) и полос (в монохроматическом свете). Измеряли разность хода δ , определяли положение изохром первых порядков и направление увеличения порядка. Основные измерения осуществляли по точкам плоской вклеенной пластины прибором КСП-7: методом компенсации Сенармона определяли оптическую разность хода δ ,

$$\delta = C_{\sigma} t (\sigma_1 - \sigma_2), \quad (1)$$

и угол φ наклона алгебраически большего главного напряжения к плоскости поляризации.

Здесь δ — оптическая разность хода, C_{σ} — оптический коэффициент напряжений, t — толщина вклеенной пластины (у нас $t = 3-4$ мм), $(\sigma_1 - \sigma_2)$ — разность главных напряжений.

Непосредственно по данным измерений находили касательное напряжение в любой точке плоской пластины:

$$\tau_{xy} = \frac{\delta}{2C_{\sigma}t} \sin 2\varphi. \quad (2)$$

Коэффициент C_{σ} , являющийся показателем оптической чувствительности материала, на-

ходили по результатам испытания эталонного образца — трехслойного диска, сжатого по диаметру двумя силами.

На плоских упругих моделях у свободных границ одно из главных напряжений равно нулю. Поэтому в соответствии с формулой (1) по данным измерений получали величину контурного напряжения. Для разделения главных напряжений использовали способ разности касательных напряжений [2, 3].

По данным оптических измерений получили компоненты напряженного состояния моделей. На натуру пересчитали по формуле

$$\sigma_n = \sigma_m \frac{m_p}{m_l^2}, \quad (3)$$

где $m_p = \frac{P_n}{P_m}$ — масштаб нагрузки; $m_l = \frac{l_n}{l_m}$ — геометрический масштаб моделирования; индексом «н» обозначены величины, относящиеся к натуре, индексом «м» — к модели.

Нагрузку на штамп рассчитали по методике, изложенной в работе [4], получили $P_n = 40 \cdot 10^3$ кН. Нагрузку на модель измеряли эталонным динамометром в процессе нагружения модели и получили $P_m = 25$ кН. Можно уточнить данные эксперимента, если определить P_n на натурном прессе методом электротензометрии.

Результаты исследования

Результаты исследования представлены в виде приведенных на рис. 2–4 графиков распределения напряжений в некоторых характер-

ных сечениях штампа и по контакту с заготовкой. Обобщить эти результаты можно следующим образом:

В штампе имеет место сложный характер распределения напряжений. В большей части штампа нормальные напряжения — сжимающие. Наиболее нагруженной является поверхность штампа в средней части пера лопатки. В области хвостовика напряжения незначительны, у края пера они меняют знак — становятся растягивающими. По высоте от гравюры к основанию штампа нормальное напряжение σ_y убывает незначительно, а касательное τ_{xy} практически постоянно, σ_x в некоторых сечениях растягивающее.

Напряжения в штампе достигают значительных величин. Нормальные напряжения — $\sigma_y = -2800$ МПа, $\sigma_x = -2000$ МПа — на поверхности контакта штампа с заготовкой; касательные напряжения $\tau_{xy} = 400$ МПа. Растягивающие напряжения в районе технологических припусков: $\sigma_y = 400$ МПа, $\sigma_x = 600$ МПа. Наибольшие контактные напряжения примерно в 3,5 раза превышают предел текучести инструментальной стали ($\sigma_{0,2} = 825$ МПа при $t = 500$ °С). Отсутствие пластической деформации можно объяснить тем, что в этой области материал находится в условиях всестороннего сжатия.

Наличие растягивающих нормальных напряжений в зоне конца пера лопатки неблагоприятно сказывается на прочности штампа, так как в этих местах велика вероятность появления усталостных трещин и хрупкого разрушения.

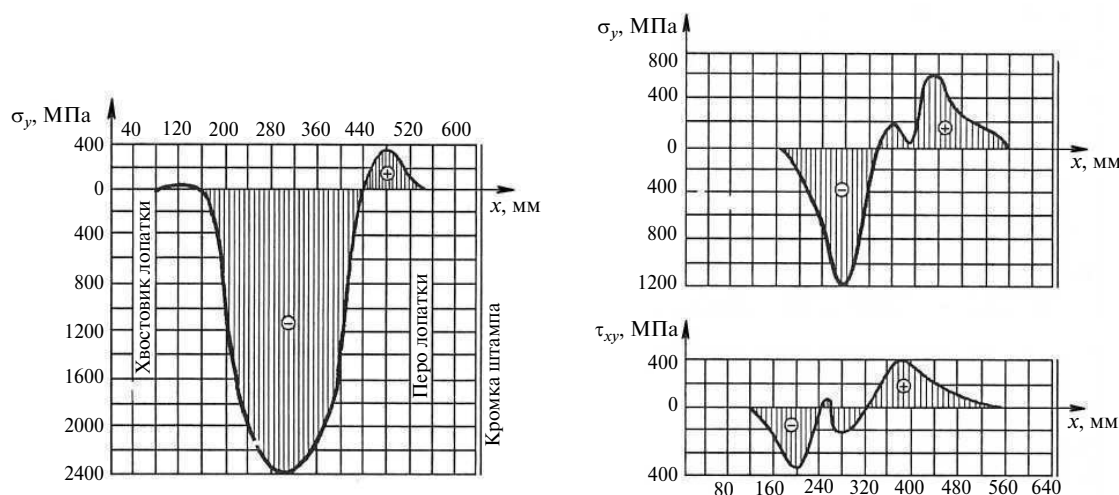


Рис. 2. Распределение напряжений в сечении О-О продольной вклейки (см. рис. 1)

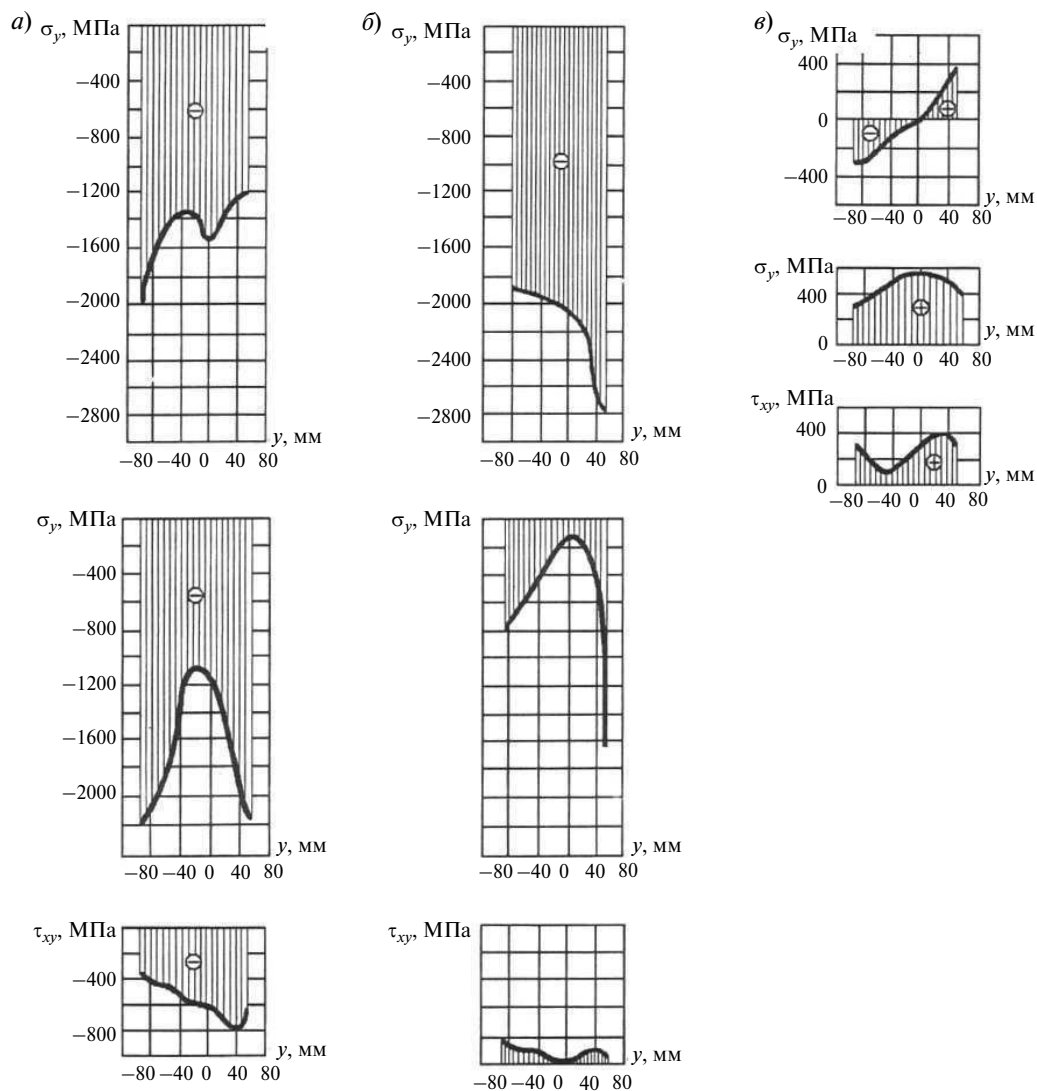


Рис. 3. Распределение напряжений по высоте штампа: *a* — в сечении А-А; *б* — в сечении Б-Б; *в* — в сечении В-В (см. рис. 1)

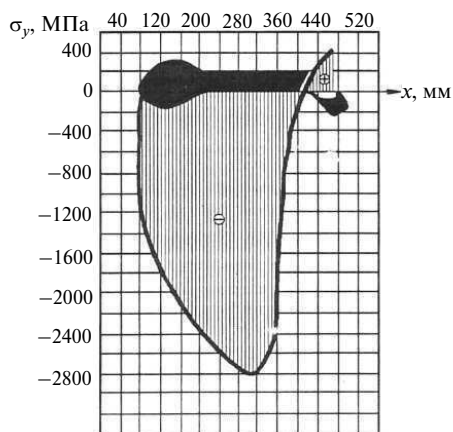


Рис. 4. Распределение напряжений по линии контакта штампа и заготовки

В хвостовике лопатки, где в гравюре штампа имеются острые углы, концентрации напряжений не наблюдается. Очевидно, что для получения более равномерного распределения напряжений в штампе необходимо стремиться к равномерно по длине формоизменению заготовки лопатки.

Результаты исследования совместно с данными по температурному режиму работы

штампов, полученными в производственных условиях, позволили оптимизировать размеры штамповых вставок и определить основные направления повышения стойкости штамповой оснастки: применение новых штамповых сталей (4Х4ВМФС и др.) и электродов для наплавки рабочей поверхности инструмента, осуществление химико-термической обработки штампов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кошеленко, А.С. Теоретические основы и практика фотомеханики в машиностроении [Текст] / А.С. Кошеленко, Г.Г. Поздняк.— М.: Издательский дом «Граница», 2004.— 296с.
2. Напряжения и деформация в деталях и узлах машин [Текст] / Под ред. Н.Н. Пригоровского.— М.: Mashgiz, 1961.— 563 с.
3. Александров, А.Я. Поляризационно-оптические методы механики деформируемого тела [Текст] / А.Я. Александров, М.Х. Ахметзянов.— М.: Наука, 1973.— 576 с.
4. Сторожев, М.В. Теория обработки металлов давлением [Текст] / М.В. Сторожев, Е.А. Попов.— М.: Машиностроение, 1971.— 422 с.

REFERENCES

1. Koshelenko A.S., Pozdniak G.G. Teoreticheskie osnovy i praktika fotomekhaniki v mashinostroenii [Tekst].— М.: Izdatel'skii dom «Granitsa», 2004.— 296 s. (rus.)
2. Napriazheniia i deformatsiia v detaliakh i uzлах mashin [Tekst] / Pod red. N.N. Prigorovskogo.— М.: Mashgiz, 1961.— 563 s. (rus.)
3. Aleksandrov A.Ya., Akhmetzianov M.Kh. Poliarizatsionno-opticheskie metody mekhaniki deformiruemogo tela [Tekst].— М.: Nauka, 1973.— 576 s. (rus.)
4. Storozhev M.V., Popov E.A. Teoriya obrabotki metallov davleniem [Tekst].— М.: Mashinostroenie, 1971.— 422 s. (rus.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ЭЙГЕНСОН Сергей Николаевич — кандидат технических наук доцент кафедры сопротивления материалов Санкт-Петербургского государственного политехнического университета; 195251, ул. Политехническая, 29, Санкт-Петербург, Россия; e-mail: eisergei@yandex.ru

КОРИХИН Николай Васильевич — кандидат технических наук доцент кафедры сопротивления материалов Санкт-Петербургского государственного политехнического университета; 195251, ул. Политехническая, 29, Санкт-Петербург, Россия; e-mail: 6407629@mail.ru

ГОЛОВИН Александр Иванович — кандидат технических наук доцент кафедры сопротивления материалов Санкт-Петербургского государственного политехнического университета; 195251, ул. Политехническая, 29, Санкт-Петербург, Россия; e-mail: gai422@mail.ru

AUTHORS

EIGENSON Sergei N. — St. Petersburg State Polytechnical University; 195251, Politekhnikeskaya Str. 29, St. Petersburg, Russia; e-mail: eisergei@yandex.ru

KORIKHIN Nikolai V. — St. Petersburg State Polytechnical University; 195251, Politekhnikeskaya Str. 29, St. Petersburg, Russia; e-mail: 6407629@mail.ru

GOLOVIN Aleksandr I. — St. Petersburg State Polytechnical University; 195251, Politekhnikeskaya Str. 29, St. Petersburg, Russia; e-mail: gai422@mail.ru