

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ
В КЛЫКАХ КОРЧЕВАЛЬНЫХ МАШИН

Во время корчевания пней и мелколесья клыки корчевальных машин работают под действием системы переменных по величине и направлению сил в условиях объемного или трехосного напряженного состояния.

Клыки корчевальных машин представляют собой кривые брусья переменной высоты, которые очерчены дугами двух окружностей различных радиусов с центрами в разных точках. Большая стоимость клыков и значительный расход металла на их изготовление, а также невозможность произвести точный расчет и наметить пути создания рациональных и облегченных конструкций клыков с сохранением прочностных характеристик приводит к тому, что при ориентировочных расчетах допускаемые напряжения принимаются завышенными на 20-30%. Поэтому металлоемкость корчевальных клыков с навесным оборудованием довольно высока. Так, например, масса корчевального оборудования с девятью клыками составляет более 4000 кг. Использование известных формул для расчета клыков затрудняется в этом случае тем, что не известно положение нейтральной линии.

В работе [1] приведены формулы, которые дают возможность правильно описать положение нейтральной линии клыка, установить направление поперечных сечений его, т.е. сечений, перпендикулярных нейтральной линии, что дает возможность найти радиус кривизны нейтральной линии клыка в любом сечении, высоту сечения и наиболее опасные направления внешней силы, а также соответствующие ей наибольшие расчетные напряжения.

Для обеспечения надежной работы корчевальных клыков и разработки рекомендации по уменьшению их массы с сохранением требуемой прочности, а также для сопоставления теоретически полученных результатов было выполнено экспериментальное исследование напряженного состояния клыков корчевателя.

Исследования проводились поляризационно-оптическим методом и тензометрированием на реальных клыках в лабораторных условиях в два этапа.

Целью первого этапа было определение мест клыка, в которых возникают достаточно высокие напряжения в случае приложения сосредоточенной внешней силы, действующей на клык, с тем, чтобы на втором этапе с помощью более точной аппаратуры произвести измерение этих напряжений.

На первом этапе поляризационно-оптическим методом были определены места расположения опасных сечений, в которых под действием усилий на клык возникают наибольшие напряжения.

Поляризационно-оптический метод основан на упруго-оптическом эффекте. В настоящее время для изготовления оптически чувствительных моделей применяются пластмассы на основе эпоксидных смол [2]. Развитие теории моделирования и техники эксперимента позволяют решать широкий круг задач: плоскую, объемную, упруго-пластичную и динамическую задачи теории упругости [3, 4]. В этой связи указанная методика была использована для изучения напряженного состояния клыков.

Изучение напряженного состояния клыков выполнено на плоских упругих моделях из оптически-чувствительного материала. Целесообразность использования метода обусловлена также возможностью исследования зон концентрации напряжений в клыке корчевателя, поскольку изгибочная прочность клыков непосредственно связана с концентрацией напряжений.

Изучалось напряженное состояние клыков различной конструкции с целью сравнения их работы при равных граничных условиях и обоснования эффективности нового конструктивного решения.

Физические основы метода, техника экспериментов и оборудование подробно описаны в [5, 6], поэтому приведем лишь общие принципы методики оптического моделирования.

Для получения всех составляющих тензора напряжений в любой точке модели (или натуре) необходимо произвести разделение напряжений, т.е. найти отдельно значения σ_x , σ_y , σ_1 , σ_2 по формуле

$$\sigma_x = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \cos 2\alpha. \quad (1)$$

Так как $\sigma_y = (\sigma_1 + \sigma_2) - \sigma_x$; $\sigma_1 + \sigma_2 = \sigma_x + \sigma_y$, где α - угол между положительным направлением оси X и главными напряжениями σ_1 и σ_2 , отсчитываемый против часовой стрелки $0 \leq \alpha \leq 180^\circ$ или параметр изоклины; σ_x , σ_y - нормальные напряжения.

Значение касательного напряжения

$$\tau_{xy} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \sin 2\alpha. \quad (2)$$

Для нахождения $\sigma_1 + \sigma_2$ в опытах применена методика, основанная на определении приращений поперечной деформации Δt в расчетных сечениях. Поперечная деформация связана с суммой главных напряжений и определяется из соотношения

$$\Delta t = \frac{\mu t}{E} (\sigma_1 + \sigma_2), \quad (3)$$

где μ - коэффициент Пуассона; t - температура; E - модуль упругости.

Для получения исходных характеристик выполнялось предварительное тарирование опытных образцов материала. Тарировочные образцы в виде плоских пластинок испытывались на растяжение в термостате при температурном режиме, предусмотренном для испытания моделей методом "замораживания" деформаций. В зависимости от методики на плоских образцах поляризационной установки измерялись оптические характеристики материала и определялась функция порядка полос

$$f(P_n) = \sigma_1 - \sigma_2, \quad (4)$$

где $\sigma_1 - \sigma_2$ - разность главных напряжений, получаемая при испытаниях плоских моделей. Значения $\sigma_1 + \sigma_2 = f(\Delta t)$ определялись на тех же образцах для фиксированной степени нагружения. Величина вычислялась как разность толщин образца после замораживания деформаций и после отпуска напряжений.

Поскольку при нагружении моделей клыка в режиме "замораживания" деформаций $t = 130^\circ\text{C}$, а коэффициенты Пуассона модели и природы ($\mu = 0,5$ - для модели и $\mu = 0,33$ - для природы) отличаются мало, то ошибкой при моделировании можно пренебречь [7].

Для существующей и экспериментальных моделей клыков схема передачи сосредоточенной нагрузки принята идентичной. Модели клыков были выполнены с соблюдением масштабов геометрического и силового подобия. При этом напряжения в соответствующих точках модели пропорциональны отношению нагрузок и линейных размеров. Фактические значения напряжений определялись из условия подобия натурной детали по очертанию [8].

$$\sigma = \sigma_M \frac{d_M}{d_H} \frac{t_M}{t_H} \frac{P_H}{P_M}, \quad (5)$$

где σ_M - напряжения в модели; d_H, d_M - соответственно линейные размеры природы и модели; t_H, t_M - их толщины; P_H, P_M - действующие на них нагрузки.

Индекс "М" во всех случаях относится к модели, а индекс "Н" к природе.

Необходимость принятия масштаба толщины независимо от линейного масштаба обусловлена тем, что при толщине клыка в природе 6 см для принятого линейного масштаба 1/5 толщина модели должна быть 1,2 см. Это вызывает неудобство при исследованиях, так как в случае плоской задачи на концевом участке клыка размеры в клыке и толщина будут одного порядка и задача не может трактоваться как плоская. Пересчет результатов модельных исследований на природу выполнен в соответствии с зависимостью [5].

Для принятых в линейном масштабе $\frac{d_M}{d_H} = \frac{1}{5}$, в масштабе толщины $\frac{t_M}{t_H} = \frac{0,58}{6,0} = 0,097$ и масштабе сил $\frac{P_H}{0,35}$ зависимость (5) примет вид

$$\sigma_H = 0,055 \sigma_M \cdot P_H. \quad (6)$$

Материал для модели изготавливался в виде плоских блоков в стеклянных формах.

Механические испытания образцов полимера показали, что в режиме замораживания деформаций модуль упругости $E = 15 - 17$ МПа и коэффициент Пуассона $\mu = 0,47$. Периодический расчет показал, что для получения 3 - 4 порядков изохром в моделях (рис. 1,а,б) сосредоточенная сила на модель должна быть в пределах 3 - 4 Н. В соответствии со свойствами материалов сосредоточенная нагрузка на модель $P = 3,5$ Н. "Замораживание" картины напряжений в модели осуществлялось в термостате по режиму: нагревание до 130°C , выдержка при 130°C - 2 ч, постепенное охлаждение с градиентом падения температуры до нормальной 5°C в 1 ч. Измерения производились с помощью поляризационно-оптической установки ИМАШ-КБ-2, которая предназначена для наблюде -

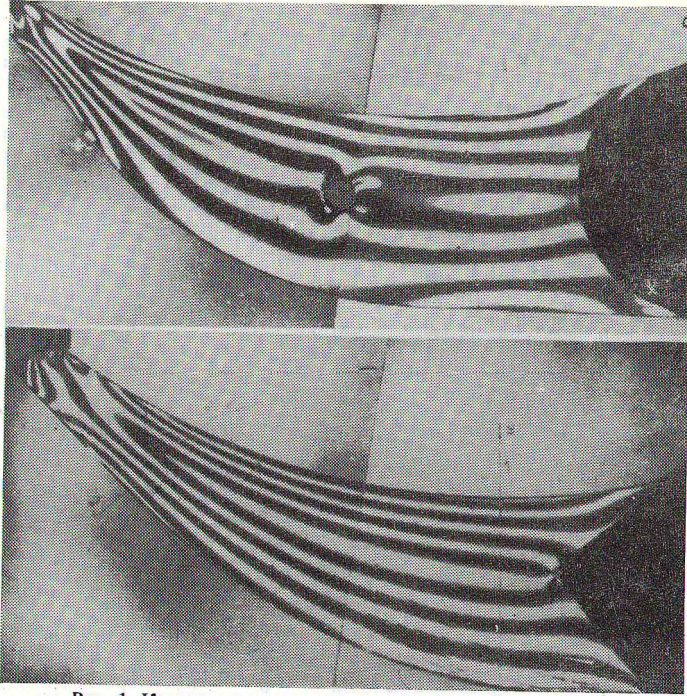


Рис. 1. Картина изохром в моделях после "замораживания" деформаций. Нагрузка на модель $P=3,5H$: а – существующая конструкция клыка; б – опытная конструкция клыка.

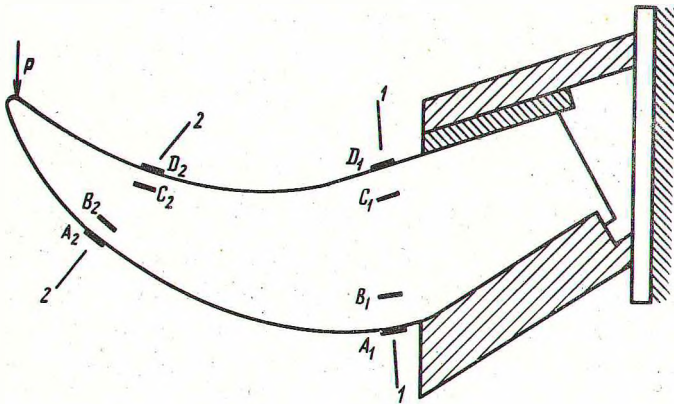


Рис. 2. Схема размещения точек замера напряжений при статическом нагружении клыка.

ния за общей картиной напряженного состояния исследуемой модели и определения разности главных напряжений в отдельных сечениях или точках модели с использованием методов полос или сопоставления цветов.

В соответствии с принятой методикой эксперимента по определению напряженного состояния модели клыка сначала были проведены испытания тарировочных образцов оптически-чувствительной пластмассы. Нагрузка на образцы прикладывалась по ступеням. Для каждой ступени фиксировался порядок изохром в черно-белом и цветном изображении. При напряжениях $\sigma = 0,0874$ МПа для 1-го образца, $\sigma = 0,0593$ МПа для 2-го и $\sigma = 0,1121$ МПа для 3-го и получены значения Δt в мкм.

Для сопоставления результатов, полученных поляризационно-оптическим методом, осуществлялось измерение напряжений в статических условиях при помощи тензометрической лаборатории НАТИ, специально предназначенной для проведения комплексных исследований.

Наиболее часто встречающиеся условия работы корчевателя при корчевании пней характеризуются углом $\beta = 39^\circ$ действия максимальной вертикальной нагрузки R_y . При проведении исследований напряжения фиксировались на поверхности клыка в двух заранее выбранных сечениях. Тензодатчики наклеивались на внутренней и внешней криволинейных поверхностях клыка. Нагружение клыков производилось при помощи домкрата (рис. 2), который одним концом упирался в протарированную динамометрическую траверсу, а другим - в конец клыка. Для повышения точности замеров передача усилия от домкрата производилась через шарик. Для контроля и регистрации нагрузки, прикладываемой к клыку, использовались усилитель 8 АНЧ-7М и осциллограф НО04-М1.

Анализ полученных теоретических и экспериментальных результатов (табл. 1) свидетельствует о том, что расхождение абсолютных величин главных напряжений в крайних волокнах находится в пределах 3 - 10%. Из сопоставления картин изохром (рис. 1) следует, что напряжения в опытном образце распределяются более равномерно, уровень внутренних усилий по граничным поверхностям для заданного положения сосредоточенной силы почти одинаков по верхней и нижней образующим, т.е. верхние и нижние крайние волокна равнонапряжены по пролету. Имеют место лишь местные концентрации напряжений в области приложения сосредоточенной нагрузки.

Таблица 1. Величины нормальных напряжений в крайних волокнах конструкции клыка по расчетным и экспериментальным данным

Сечение	Нагрузка P, кН	Расчетные напряжения, МПа		Напряжения полученные полярно-зонно-оптическим методом, МПа			Напряжения полученные полярно-зонно-оптическим методом, МПа			Напряжения полученные при статическом нагружении клыка методом тензOMETРИрования, МПа		
		σ_1	σ_2	σ_1	σ_2	отно-сительное отклонение, %	σ_1	σ_2	отно-сительное отклонение, %	σ_1	σ_2	отно-сительное отклонение, %
1-1	25	27,6	-20,3	27,1	-20,6	1,8	-20,6	1,47	29,0	5	-19,7	3
	50	55,2	-40,6	54,2	-41,2	1,8	-41,2	1,47	54,9	0,5	-39,5	3
	75	82,8	-60,9	81,3	-61,8	1,8	-61,8	1,47	86,5	4,6	-62,1	3
	50	55,2	-40,6	54,2	-41,2	1,8	-41,2	1,47	58,8	7	-37,6	7,3
	25	27,6	-20,3	27,1	-20,6	1,8	-20,6	1,47	30,4	10	-19,0	6,4
2-2	25	26,3	-28,1	25,2	-25,9	4,18	-25,9	7,8	24,5	7	-27,9	1
	50	52,6	-56,2	50,4	-51,8	4,18	-51,8	7,8	51,6	2	-55,4	1
	75	78,9	-84,2	75,6	-77,7	4,18	-77,7	7,8	85,5	8	-88,7	5
	50	52,6	-56,2	50,4	-51,8	4,18	-51,8	7,8	54,0	3	-54,6	3
	25	26,3	-28,1	25,2	-25,9	4,18	-25,9	7,8	25,6	3	-27,1	3,5

Примечание. 1 - напряжения растяжения; 2 - напряжения сжатия.

Таким образом, в результате обработки исследований получены значения напряжений в клыке, возникающие при нагружении его сосредоточенной силой, и предлагается методика определения напряжений в клыках, позволяющая с достаточной степенью точности найти действительные напряжения как в моделях, так и натуральных клыках.

Л и т е р а т у р а

1. Клешенок Е.И. Определение напряжений в кривых плоских брусках переменной высоты. – Изв. АН БССР. Минск, 1977.
2. Напряжения и деформации в деталях и узлах машин. Под ред. Пригоровского Н.И. М., 1961.
3. Дюрелли А., Райли У. Введение в фотомеханику поляризационно-оптический метод. М., 1970.
4. Моделирование задач динамики, термоупругости и статики поляризационно-оптическим методом. Под ред. Хесина Г.Л. – Сб. трудов МИСИ им. В.В.Куйбышева, № 73. М., 1970.
5. Коккер З., Файлон Л. Оптический метод исследования напряжений М., 1934.
6. Фрохт М.М. Фотоупругость. т. I, II. М., 1950.
7. Феппл Л., Менх Э. Практика оптического моделирования. Новосибирск, 1966.
8. Седов Л.И. Методы подобия и размерностей в механике М., 1965.

УДК 621.436

В.И. Живулькин

ВЫБОР ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ ЛЕСОТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

При выборе параметров двигателей лесотранспортных машин следует исходить из специфических условий их эксплуатации. Трелевочные тракторы с двигателями воздушного охлаждения обеспечивают лучшие технико-эксплуатационные и экономические показатели, дают большую производительность по сравнению с дизелями воздушного охлаждения.

Применение воздушного охлаждения для дизельного двигателя, использование его для изготовления прогрессивных материалов и варьирование параметрами, влияющими на мощность и экономичность двигателя, позволяет создать современный двигатель для трелевочных тракторов.

Наибольшее распространение в СССР и за рубежом получили двигатели с непосредственным впрыском топлива. Двигатели с неразделенной камерой сгорания, выполненной в днище