

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ МОДИФИКАЦИЙ ФРИКЦИОННЫХ КЛИНЬЕВ ТЕЛЕЖКИ ГРУЗОВОГО ВАГОНА

А. В. Габец

Представлены результаты стендовых испытаний и лабораторных исследований фрикционных клиньев тележки грузового вагона. Сравнительный анализ был выполнен для серийной и облегченной конструкции фрикционного клина, изготовленного из стали марки 20ГЛ, чугуна марки СЧ25 и чугуна, легированного молибденом. Дано обоснование возможности снижения материалоемкости фрикционного клина.

Ключевые слова: облегченный фрикционный клин, чугун модифицированный молибденом, конструкционная прочность клина, материалоемкость клина.

Фрикционный клин узла гашения колебаний тележки грузового вагона является важнейшим элементом конструкции, от работоспособности которого зависит длительность безремонтной эксплуатации подвижного состава. В настоящее время серийно изготавливаются стальные фрикционные клинья, устанавливаемые на грузовых тележках новых вагонов, и фрикционные клинья из серого чугуна, используемые при проведении их планового ремонта. Ежегодно промышленностью производится около 2 миллионов клиньев общим объемом выпуска свыше 30 тысяч тонн. Поэтому обоснованное снижение материалоемкости фрикционного клина позволит получить значительный экономический эффект.

Так как фрикционный клин является тяжело нагруженной деталью, то основной целью проведения исследований является оценка конструктивной прочности клина при снижении его материалоемкости. Для этого необходимо:

- исследовать напряженное состояние наиболее нагруженных зон фрикционных клиньев стандартной и облегченной конструкции, изготовленных из различных материалов;

- определить величину разрушающей нагрузки, характер разрушения и запас конструктивной прочности для серийных клиньев и клиньев облегченной конструкции.

Данные исследования были проведены ООО «СибТрансМаш» на испытательном оборудовании ОАО «ВНИИЖТ». Для сравнительных испытаний были использованы серийные фрикционные клинья из стали марки 20ГЛ ГОСТ 977-88 (чертеж НПК «Уралвагонзавод» № 100.30.001-1 «Клин») и из чугуна

марки СЧ25 ТУ 3183-234-01124323-2007 (чертеж ПКБ ЦВ М1698.00.002 «Клин»). Клинья облегченной конструкции (защищенной патентом РФ на полезную модель № 116821) разработки ООО «СибТрансМаш» (чертеж № 1293.00.004) были изготовлены из стали марки 20ГЛ, чугуна марки СЧ25 и чугуна легированного молибденом. На рисунке 1 показана конструкция серийного и облегченного фрикционного клина.

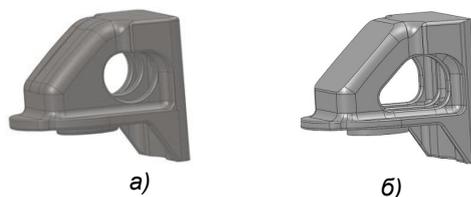


Рисунок 1 – Конструкция серийного (а) и облегченного (б) фрикционного клина

Результаты определения основных физико-механических свойств отливок фрикционных клиньев представлены в таблице 1.

Оценка конструктивной прочности проводилась при сравнении напряженного состояния, возникающего во фрикционных клиньях на испытательном стенде. Собранный фрагмент узла гасителя колебаний тележки грузового вагона модели 18-100 показан на рисунке 2 и состоит из боковой рамы, крайнего участка надрессорной балки, двух фрикционных клиньев – правого (Р) и левого (Л), с установленными под ними жесткими ограничителями. Пружинные комплекты под балку не устанавливались, чтобы не ограничивать свободу ее перемещения, способствуя прямой передаче нагрузки на фрикционные клинья.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ МОДИФИКАЦИЙ ФРИКЦИОННЫХ КЛИНЬЕВ ТЕЛЕЖКИ ГРУЗОВОГО ВАГОНА

Таблица 1 – Механические свойства фрикционных клиньев

№	Материал	Среднее значение твердости, НВ	Свойства при испытании на растяжение			
			$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	φ , %	Ψ , %
1	20ГЛ ГОСТ 977-88		≥ 275	≥ 540	18,0	25,0
2	СЧ25 ТУ 3183-234-01124323-2007	197–260	–	≥ 250	–	–
3	Серийный 20ГЛ	140	278	502	22,9	32,1
4	Серийный СЧ25	227	–	268	–	–
5	Облегченный 20ГЛ	137	375	574	27,2	53,4
6	Облегченный СЧ25	221	–	257	–	–

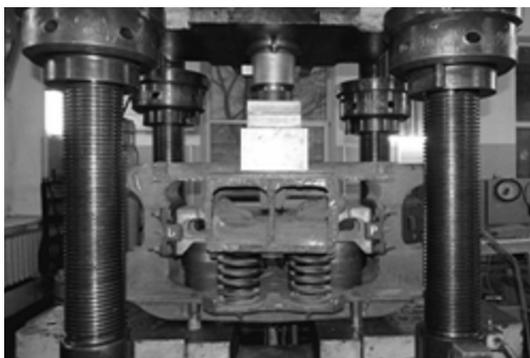


Рисунок 2 – Фрагмент узла гасителя колебаний, установленный на испытательной машине ЦДМ 200 Пу-1

На каждом клине в выбранных точках технологических отверстий (рисунок 3) наклеивались три тензорезистора сопротивления $349,7 \pm 0,2$ Ом и порогом чувствительности $2,12 \pm 1$ %.

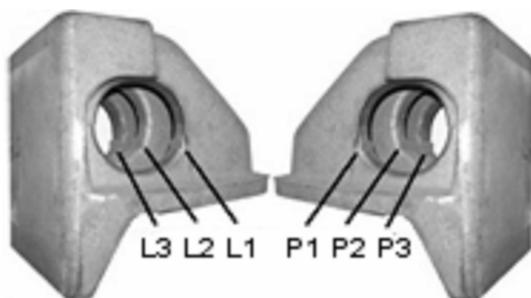


Рисунок 3 – Схема наклейки тензодатчиков

Снятие и обработка первичных данных выполнялись с помощью 8-ми канального измерительного усилителя Spider 8 и программного пакета Catman 4.0. Нагрузка прикладывалась к фрагменту наддрессорной балки, обходя верхний пояс боковой рамы. Измерение возникающих напряжений проводились при статической нагрузке в диапазоне от 100 до 300 kN. Результаты испытаний представлены

в таблице 2 и позволяют сделать следующие выводы:

- в местах установки датчиков наблюдаются только сжимающие напряжения;
- существенного различия в величине сжимающих напряжений для клиньев из стали 20ГЛ и из чугуна марки СЧ25 как для серийной, так и для облегченной конструкции, не выявлено;
- напряжения в облегченном клине из стали 20ГЛ в 3 раза превышают напряжения в контролируемых точках клиньев серийной конструкции;
- последнее соотношение приблизительно выполняется и для напряжений в фрикционных клиньях из чугуна марки СЧ25, где напряжения в облегченном клине в 3-4 раза выше, чем в серийных.
- максимальная величина сжимающих напряжений для облегченных клиньев из стали 20ГЛ составляет около 520 МПа.

Статические стендовые испытания на разрушающую нагрузку и запас конструктивной прочности исследуемых клиньев проводились с использованием специально разработанной для этого оснастки на машине ЦДМ 200Пу-1 (рисунок 4).



Рисунок 4 – Стенд для испытаний фрикционных клиньев на разрушающую нагрузку

ГАБЕЦ А. В.

Таблица 2 – Значения напряжений, возникающих в исследованных фрикционных клиньях

№	Материал	Нагрузка P [кН]	Значения напряжений в исследуемых точках, МПа											
			P ₁		P ₂		P ₃		L ₁		L ₂		L ₃	
			нагр.	разгр.	нагр.	разгр.	нагр.	разгр.	нагр.	разгр.	нагр.	разгр.	нагр.	разгр.
3	20ГЛ	200	-107	-65	-160	-98	-89	-55	-71	-61	-138	-98	-126	-79
		250	-129	-82	-191	-135	-100	-70	-91	-75	-170	-135	-153	-100
		300	-148	-101	-225	-151	-115	-88	-100	-90	-198	-148	-178	-120
4	СЧ25	200	-80	-20	-	-	-139	-100	-110	-85	-	-	-140	-100
		250	-80	-30	-	-	-172	-127	-138	-108	-	-	-175	-178
		300	-80	-38	-	-	-200	-150	-160	-130	-	-	-201	-151
5	20ГЛ	200	-420	-219	-542	-234	-392	-220	-441	-279	-438	-310	-425	-305
		250	-488	-295	-615	-339	-440	-300	-521	-369	-480	-390	-509	-400
		300	-521	-414	-645	-498	-491	-360	-597	-489	-518	-458	-548	-480
6	СЧ25	100	-250	-78	-	-	-390	-260	-301	-170	-	-	-316	-170
		150	-354	-210	-	-	-510	-416	-425	-310	-	-	-460	-320
		200	-400	-360	-	-	-600	-541	-508	-450	-	-	-500	-483

Нагрузка величиной до 600 кН прикладывалась к наклонной поверхности фрикционного клина через цилиндрический сегмент и при ее плавном возрастании снимались значения напряжений в выбранных ранее точках. При этом необходимо учитывать, что

фактическая нагрузка на клин при выбранной схеме нагружения в реальных условиях эксплуатации не превышает 50-60 кН.

Результаты испытаний клиньев на разрушающую нагрузку представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты испытаний клиньев на разрушающую нагрузку

№	Материал	Максимальная нагрузка P [кН] в месте установки роликов		Значения напряжений в исследуемых точках, МПа			
		P ₁	P ₃	P ₁		P ₃	
				нагр.	разгр.	нагр.	разгр.
3	20ГЛ	570	625	1175	-	850	450
4	СЧ25	620	570	725	100	1200	425
5	20ГЛ	130	370	550	-	1150	-
6	СЧ25	320	340	2600	1200	2530	1150

Анализ диаграммы «нагрузка – напряжение» клина № 3 из стали 20ГЛ (рисунок 5) показывает, что при нагружении клина произошел его перекокс, о чем свидетельствуют различные показания датчиков P₁ и P₃. Датчик P₁ показывает, что при нагрузке 570 кН начался процесс пластической деформации боковой стенки и произошел срыв диаграммы «на-

грузка – напряжение». По мере нагружения другой боковой стенки датчик P₃ регистрировал постоянный рост напряжения в этой стенке до величины ~ 850 МПа при максимальной нагрузке 650 кН. При снятии этой нагрузки сжимающие напряжения в стенке уменьшились до величины около 450 МПа.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ МОДИФИКАЦИЙ ФРИКЦИОННЫХ КЛИНЬЕВ
ТЕЛЕЖКИ ГРУЗОВОГО ВАГОНА

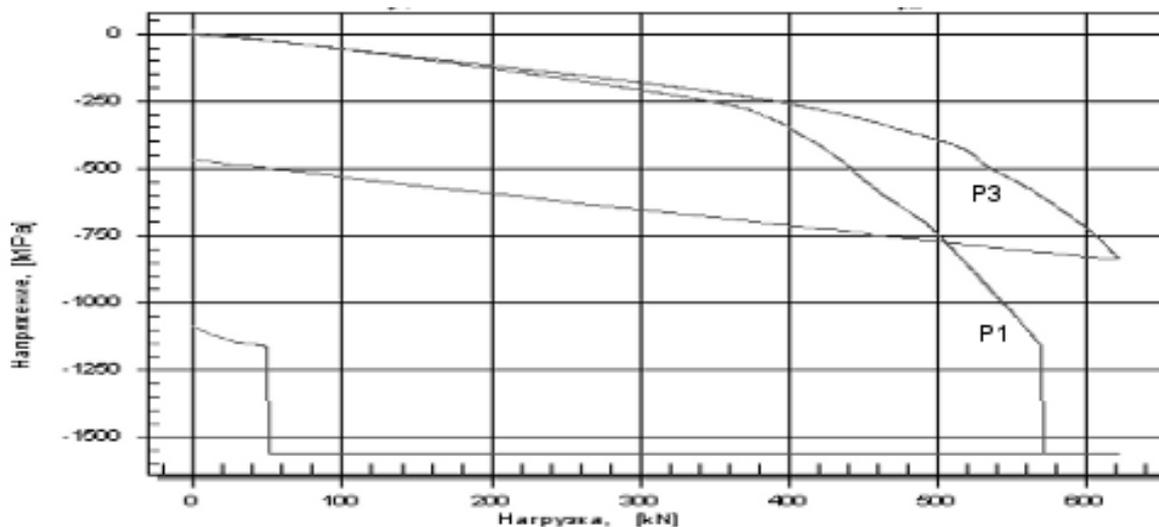


Рисунок 5 – Диаграмма «нагрузка – напряжение» клина № 3

При испытании серийного клина № 4 из серого чугуна марки СЧ25 (рисунок 6) боковая стенка с датчиком P_1 выдержала без разрушения нагрузку 620 kN. При снятии нагрузки

остаточные сжимающие напряжения в стенке сохранились на уровне около 100 МПа. Боковая стенка с датчиком P_3 выдержала без разрушения нагрузку 570 kN.

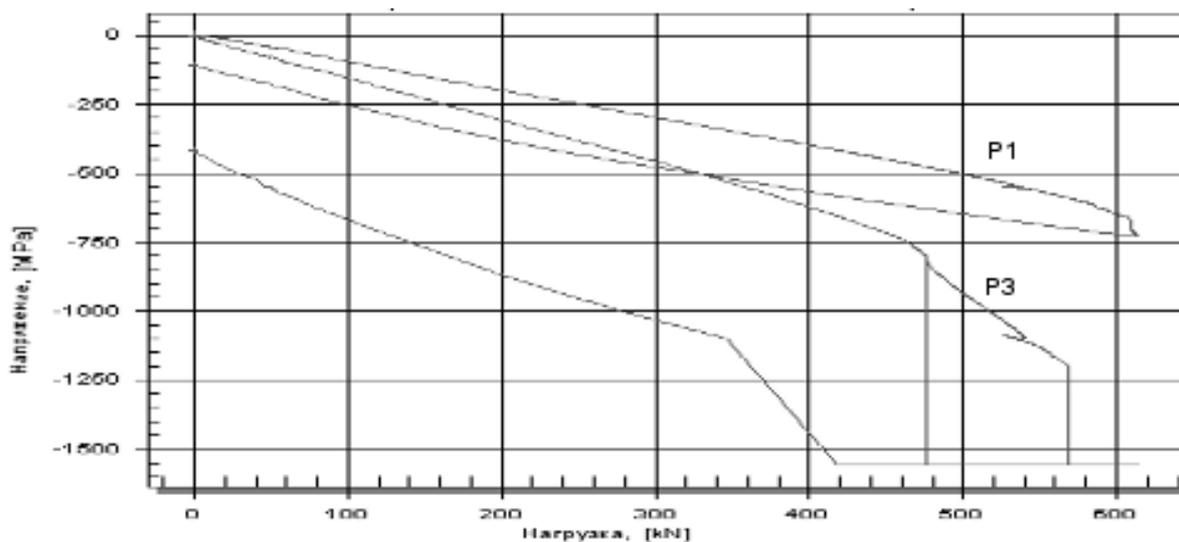


Рисунок 6 – Диаграмма «нагрузка – напряжение» серийного клина № 4

В целом клинья серийной конструкции из стали 20ГЛ и чугуна СЧ25 выдерживают максимально возможную для данного стенда нагрузку 600 kN без признаков разрушения, что соответствует более чем 10-ти кратному запасу конструктивной прочности.

Испытания клиньев облегченной конструкции из стали 20ГЛ и чугуна СЧ25 выявили катастрофическую картину поведения этих клиньев при такой схеме нагружения (рисунки 7 и 8).

При испытании стального клина показания датчиков P_1 и P_3 (рисунок 7) на правой и

левой боковых стенках клина сильно различаются ввиду перекоса цилиндрического сегмента, передающего усилие от пуансона на наклонную поверхность фрикционного клина. Пластическая деформация боковой стенки клина с датчиком P_1 произошла при нагрузке всего около 130 kN, а срыв диаграммы «нагрузка – напряжение» другой боковой стенки с датчиком P_3 произошел при нагрузке 370 kN. Клинь после испытаний имел значительный прогиб наклонной стенки.

ГАБЕЦ А. В.

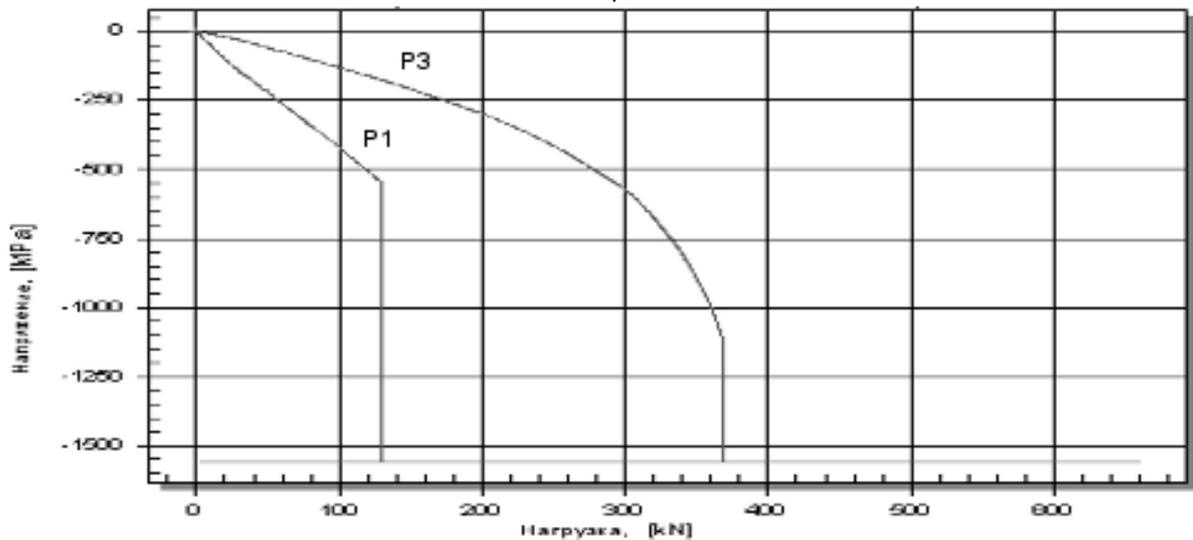


Рисунок 7 – Диаграмма «нагрузка – напряжение» клина № 5

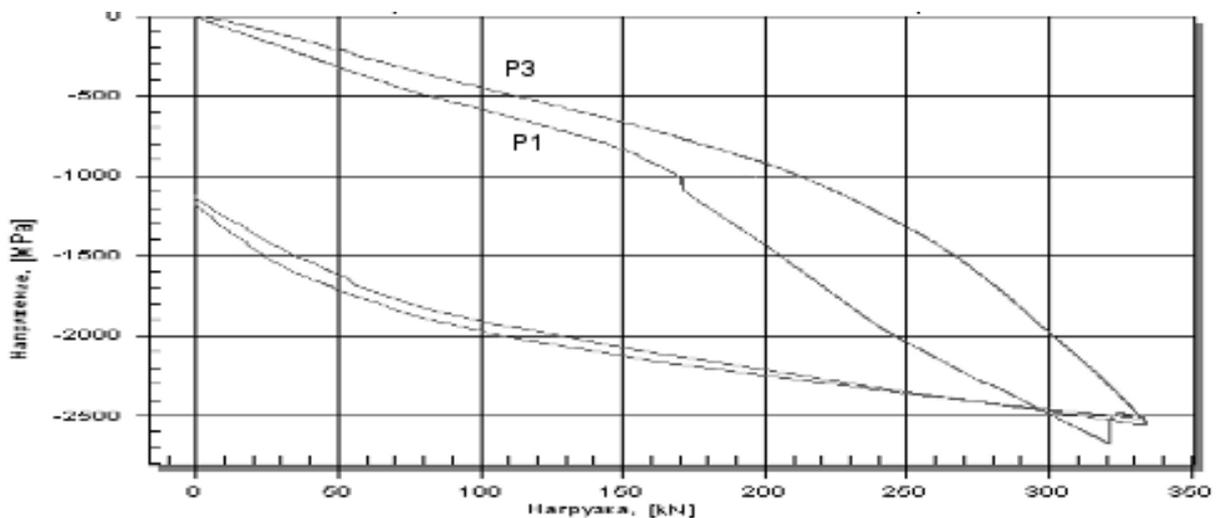


Рисунок 8 – Диаграмма «нагрузка – напряжение» клина № 6

Клин из серого чугуна марки СЧ25 хрупко разрушился с многочисленными трещинами на боковых стенках, внутренней перегородке и наклонной поверхности клина уже при нагрузке 320-340 кН (рисунок 8). Судя по показаниям датчиков, перекося клина перед разрушением был незначительным, о чем свидетельствует практически одинаковая нагрузка (171 кН и 173 кН), при которой возникли трещины в боковых стенках. Разрушающие нагрузки стенок также оказались весьма близкими ($P_1 = 320$ кН, $P_3 = 335$ кН). Такой симметричный характер разрушения можно объяснить материалом клина – серым чугуном марки СЧ25 с пластичностью, близкой к нулевому значению. В целом проведенное испытание свидетельствует о неспособности хрупкого серого чугуна марки СЧ25 выдерживать высокие статические нагрузки.

Значительное снижение запаса прочности облегченных клиньев объясняется меньшими размерами ребер жесткости в конструкции клина. Однако, при этом запас конструктивной прочности остается достаточно высоким: более чем 5-ти кратным для стальных клиньев и 3-х кратным для чугунных.

Одним из подходов к увеличению запаса конструктивной прочности облегченной конструкции фрикционного клина, может стать применение новых материалов при его производстве. Для этого в ООО «СибТрансМаш» уже получен легированный молибденом чугун и из него был изготовлен облегченный клин, механические свойства которого приведены в таблице 4. В таблице 5 приведены значения напряжений, возникающих в исследованных фрикционных клиньях, изготовленных из легированного молибденом чугуна.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ МОДИФИКАЦИЙ ФРИКЦИОННЫХ КЛИНЬЕВ
ТЕЛЕЖКИ ГРУЗОВОГО ВАГОНА**

Таблица 4 – Механические свойства клиньев из стали 20ГЛ и легированного чугуна

№	Материал	Среднее значение твердости, НВ	Свойства при испытании на растяжение			
			$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	ϕ , %	Ψ , %
1	20ГЛ ГОСТ 977-88		≥ 275	≥ 540	18,0	25,0
2	СЧ25 ТУ 3183-234-01124323-2007	197–260	–	≥ 250	–	–
7	Чугун, легированный молибденом	380-400		228		

Таблица 5 – Значения напряжений в клиньях из легированного молибденом чугуна

Нагрузка P[kN]	Значения напряжений в исследуемых точках, МПа											
	P ₁		P ₂		P ₃		L ₁		L ₂		L ₃	
	нагр.	разгр.	нагр.	разгр.	нагр.	разгр.	нагр.	разгр.	нагр.	разгр.	нагр.	разгр.
200	-282	-248	–	–	-295	-248	-100	-95	–	–	-307	-267
250	-318	-295	–	–	-340	-312	-130	-123	–	–	-350	-329
300	-348	-310	–	–	-380	-370	163	-160	–	–	-393	-389

Сравнительный анализ напряжений при испытании клиньев статической нагрузкой от 100 до 300 кН в режиме «нагрузка» показал, что в фрикционных клиньях облегченной конструкции из легированного чугуна с молибденом напряжения значительно выше, чем в клиньях стандартной конструкции из стали

марки 20ГЛ или из серого чугуна марки СЧ25, однако ниже, чем в клиньях облегченной конструкции из серийно применяемых материалов. В таблице 6 приведены результаты испытаний клиньев из легированного молибденом чугуна на разрушающую нагрузку.

Таблица 6 – Результаты испытаний клиньев из легированного молибденом чугуна на разрушающую нагрузку

№	Материал	Максимальная нагрузка P[kN] в месте установки роликов		Значения напряжений в исследуемых точках, МПа			
		P ₁	P ₃	P ₁		P ₃	
				нагр.	разгр.	нагр.	разгр.
7	Чугун, легированный молибденом	380	380	1250	150	700	50

Анализ диаграммы «нагрузка – напряжение» клина из легированного молибденом чугуна (рисунок 9) показывает, что разрушение клиньев началось при нагрузке 380 кН.

При снятии нагрузки остаточные сжимающие напряжения в стенке сохранились на уровне около 100 МПа. Запас конструктивной прочности, аналогично с результатами испытаний облегченного клина из стали 20ГЛ, находится на уровне 6-ти кратного значения.

Таким образом, по результатам сравнительных прочностных испытаний фрикционных клиньев различных модификаций можно сделать следующие выводы:

- конструкция серийно выпускаемых фрикционных клиньев из стали и серого чугуна имеет избыточный многократный запас прочности, основанный на высокой материалоемкости, что выражается в сравнительно невысоких напряжениях при нагружении силами, значительно превышающими их эксплуатационные значения;

- уменьшение толщины стенок и ребер жесткости облегченного клина, изготовленного из традиционных материалов, вызывает в среднем 3-х кратное увеличение напряжений в исследуемых точках, однако запас их конструктивной прочности все равно остается достаточно высоким;

ГАБЕЦ А. В.

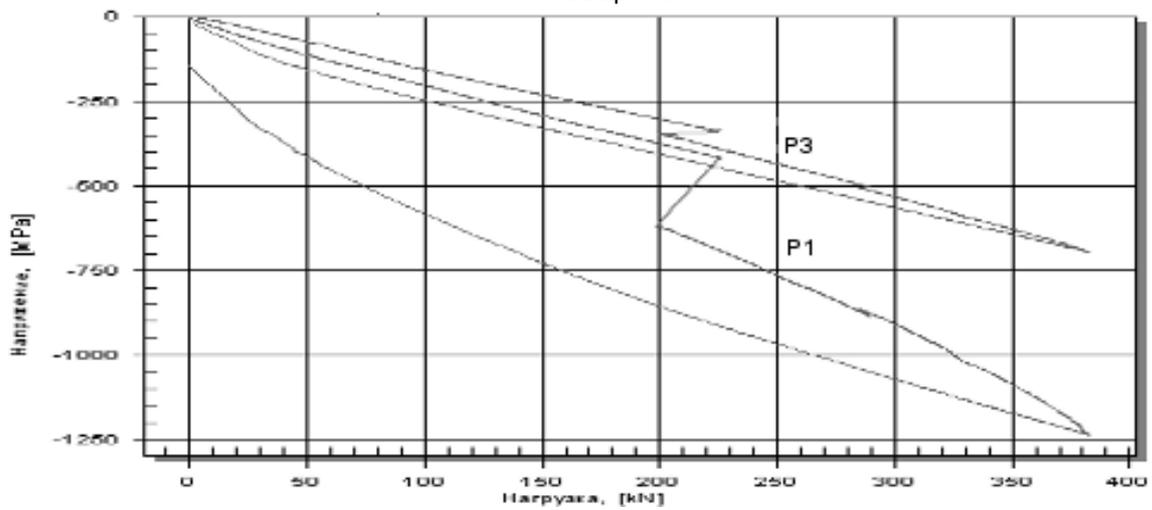


Рисунок 9 – Диаграмма «нагрузка – напряжение» клина № 7 из легированного чугуна

- как показывают результаты прочностных испытаний облегченного клина из легированного молибденом чугуна, применение новых материалов и технологий упрочнения может стать главным направлением при соз-

дании конструкции фрикционного клина с низкой материалоемкостью.

Габец А. В., директор по развитию ООО «СибТрансМаш» г. Барнаул, E-mail: gabeca@mail.ru.