

УДК 674.053 : 621.933.61

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ ПОВЫШЕННОЙ УДЕЛЬНОЙ ПРОЧНОСТИ ДЛЯ ПИЛЬНЫХ РАМОК

Л. А. ШАБАЛИН, В. Ф. ВИНОГРАДОВ, В. И. СМИРНОВ

Уральский лесотехнический институт
Даниловский завод деревообрабатывающих станков

Один из путей повышения производительности лесопильных рам — повышение частоты движения пильной рамки (ПР). Однако при этом, пропорционально квадрату угловой скорости кривошипа, возрастают силы инерции возвратно-поступательно движущихся масс ПР и шатуна, снижается долговечность элементов кривошипно-ползунного механизма (КПМ), повышаются колебания фундаментов и станин лесорам, рабочих мест, элементов зданий лесопильных цехов и вблизи стоящих с ними объектов.

Указанные недостатки можно устранить, а интенсивность нагружения и долговечность деталей КПМ при этом останутся на прежнем уровне, если с увеличением частоты вращения кривошипа проводить работы по снижению масс ПР и шатуна. Снижения металлоемкости этих узлов можно достичь, в основном, двумя способами: 1) изготовлением ПР и шатуна рациональной конструкции с равнопрочными сечениями их элементов; 2) применением для этих деталей материалов с повышенной удельной статической и усталостной прочностью*.

Исследования показали, что при применении новой конструкции струбцин для пил и изготовлении ПР и шатуна сварными из тонкостенных элементов можно снизить их массу до 20%. Вторым способом совместно с первым можно достичь значительно большего эффекта по снижению металлоемкости и повышению производительности.

В промышленности освоено применение различных легированных сталей с пределом прочности 3 500...8 000 МПа. Однако при значительном увеличении статической прочности усталостная прочность новых сталей возросла несущественно, а модуль упругости, оказывающий влияние на деформацию деталей, остался на прежнем уровне. Кроме того, высокопрочные стали весьма чувствительны к концентрации напряжений, и применение их для деталей сложной конфигурации с концентраторами напряжений не всегда дает положительный результат в сравнении с углеродистыми сталями.

Для снижения металлоемкости деталей сложной формы более перспективны «легкие» сплавы на основе магния, алюминия и титана, пределы прочности которых доведены соответственно до 500; 750; 1800 МПа, а плотность их составляет соответственно $1,8 \cdot 10^3$; $2,8 \cdot 10^3$; $4,5 \cdot 10^3$ кг/м³.

Указанные сплавы, наряду с высокой стоимостью, обладают пониженным, по сравнению со сталями, модулем продольной упругости соответственно в 5,5; 3 и 2 раза.

С учетом прочностных и деформационных свойств для шатуна и ПР лесорам наиболее приемлемы титановые сплавы, обладающие повышенной коррозионной стойкостью и примерно такой же вязкостью, как и углеродистые стали.

* Удельная прочность — отношение предела прочности материала к его плотности.

При этом если изготовление шатуна из титанового сплава не вызывает сомнения, так как в этом случае его масса может быть снижена в 1,7 раза и (за счет повышенной податливости) уменьшатся динамические нагрузки в мертвых положениях КПМ, то применение титановых сплавов для изготовления элементов ПР требует проведения комплексных исследований и, прежде всего, их динамической нагруженности, напряженно-деформированного состояния. Необходимость проведения таких работ вызвана, прежде всего, тем, что при меньшем модуле продольной упругости титановых сплавов у поперечин и стоек возрастает их податливость, увеличиваются амплитуды колебаний сил натяжения пил за один оборот кривошипа. В связи с этим становится неясным вопрос об устойчивости пил. Необходимость исследований вызвана еще и тем, что при проведении рядом научных организаций и промышленных предприятий работ по созданию облегченных ПР из титановых сплавов не было получено положительных результатов даже при обычных частотах вращения кривошипа из-за малой усталостной прочности сварных поперечин.

С учетом имеющихся сведений о напряженно-деформированном состоянии ПР лесорам отечественного производства, а также ранее выполненных работ по созданию облегченных ПР, в УЛТИ и Даниловском ЗДС проведены исследования по применению материалов повышенной удельной прочности при изготовлении ПР одноэтажных лесорам. Для распространенной модели лесорамы Р63-4А было изготовлено три опытных (облегченных) ПР, форма, размеры сечений, технология изготовления и сборки деталей которых были приняты такими же, как и при выпуске серийных ПР из углеродистых сталей. Боковины поперечин и горизонтальные цапфы выполнены из титанового сплава ВТ-14 ($\sigma_T = 900$ МПа; $\sigma_B = 970$ МПа; $\delta = 10\%$), а стойки и вертикальные цапфы для них — из сплава ВТ-1-0 ($\sigma_T = 420$ МПа; $\sigma_B = 520$ МПа; $\delta = 20\%$).

Материалы струбцин и захватов пил оставлены без изменения. Массы деталей, остова и ПР в сборе двух типов пильных рамок приведены в табл. 1.

Таблица 1

Элементы	Масса элементов пильной рамки, кг		Процент снижения
	опытной	серийной	
Поперечина верхняя	60	104	42
» нижняя	27	43	37
Стойки с цапфами	39	61	36
Остов ПР	126	208	39
ПР в сборе с ползунами, захватами, 12 пилами, струбцинами	261	343	24

Данные табл. 1 свидетельствуют, что массы опытной ПР в сборе и ее остова снизились по сравнению с серийной конструкцией соответственно на 24 и 39 %.

На одной из опытных пильных рамок были проведены исследования напряженно-деформированного состояния и динамической нагруженности ее элементов. Напряжения и нагрузки измеряли 140 тензорезисторами сопротивлением 200 Ом, базой 20 мм, а деформации — 11 индикаторами часового типа, имевшими точность 0,01 мм. Исследования напряжений выполнены: в статике — от распора струбцин и натяжения максимально допустимого числа пил, установленных в поставе с минимальным шагом; в динамике — в период холостого режима работы ле-

сорамы и при пилении. В динамике в период разгона, холостого режима и пиления были измерены колебания сил натяжения пил на уровне их верхних и нижних захватов, а также нагрузки, действующие на цапфы верхних шатунных подшипников. Частоту вращения кривошипа n_k принимали по паспорту лесорамы 280 мин^{-1} и повышенной — 320 мин^{-1} . Увеличение частоты вращения на 15 % было назначено из условия сохранения на прежнем уровне динамических нагрузок, действующих на верхние и нижние шатунные подшипники. Распиливали сосновые брусья высотой 300 мм с паспортной посылкой. Применяли пилы с плющеным зубом. Толщина их и шаг зубьев соответственно равнялись 2,2 и 26 мм. Угловые параметры зубьев соответствовали ГОСТу 5524—75. Деформации измеряли только в статике — от распора струбцин и натяжения пил. Максимальные силы распора струбцин и натяжения пил принимали по паспорту лесорамы соответственно равными 20 и 30 кН. Усилие распора струбцин контролировали 4 динамометрами сжатия, а натяжения пил — протарированными по нагрузкам тензорезисторами.

На рис. 1 приведены эпюры деформаций, мм, элементов ПР от распора струбцин, натяжения пил и их суммарного воздействия. Наиболь-

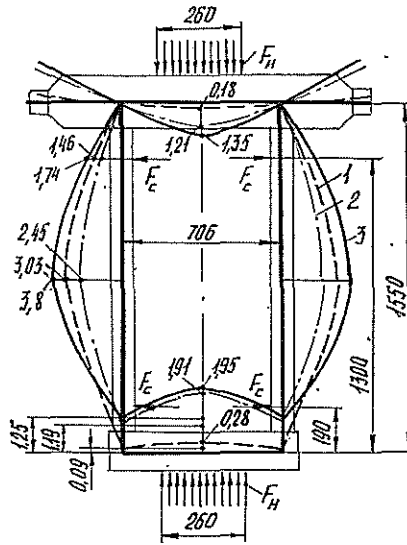


Рис. 1. Деформация элементов опытной пильной рамки.

1 — от распора струбцин усилием 2 кН; 2 — от натяжения 12 пил суммарным усилием 36 кН; 3 — от распора струбцин и натяжения пил.

На рис. 1 приведены эпюры деформаций, мм, элементов ПР от распора струбцин, натяжения пил и их суммарного воздействия. Наиболь-

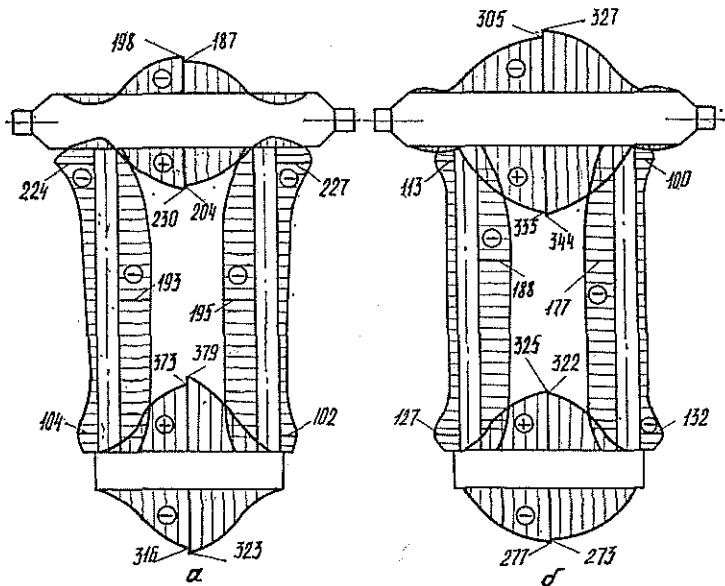


Рис. 2. Эпюры напряжений опытной пильной рамки вблизи верхней (а) и нижней (б) мертвых точек механизма резания.

шие деформации (прогибы) имеют место у верхней и нижней поперечин по оси ПР, а у стоек — по середине их длины и соответственно равны 1,35; 1,95; 3,8 мм. Максимальное сближение верхних и нижних поперечин составляет 4,55 мм.

На рис. 2 приведены эпюры экстремальных напряжений, МПа, возникающих в элементах ПР при наиболее тяжелой работе ее деталей. Левые от оси ПР эпюры соответствуют частоте вращения 280 мин^{-1} , а правые — 320 мин^{-1} . Наибольшие напряжения возникают: у поперечин — по оси ПР в растянутых поясах; у стоек — против верхних струбцин с наружной стороны контура. При этом в деталях на основную частоту изменения напряжений накладываются высокочастотные колебания с амплитудой, не превышающей 5% амплитуды основной частоты. Изменение частоты вращения кривошипа с 280 до 320 мин^{-1} привело к незначительному (не более 13%) повышению экстремальных напряжений. Для наиболее опасных сечений в табл. 2 приведены сравнительные данные для двух ПР. Величины напряжений и деформаций в стальной ПР лесорамы Р63-4А приведены из работ [1, 2, 4].

Таблица 2

Параметр	Численные значения параметров для		
	верхней поперечины	нижней поперечины	стойки
Максимальное напряжение, МПа	344	379	—100
	327	376	—150
Минимальное напряжение, МПа	204	322	—227
	205	320	—194
Среднее напряжение, МПа	274	350,5	—163,5
	266	348	—172
Амплитуда напряжений, МПа	70	28,5	63,5
	61	28	22,5
Запас по статической прочности	2,48	2,25	1,66
	1,05	0,91	1,5
Запас по усталостной прочности	2,78	2,9	2,15
	1,7	1,75	3
Прогиб от статических сил	1,35	1,95	3,80
	0,70	1,03	1,83

Примечание. В числителе — данные для опытной ПР при $n_k = 320 \text{ мин}^{-1}$; в знаменателе — для серийной при $n_k = 280 \text{ мин}^{-1}$.

Как видно, у облегченной ПР при повышенной частоте вращения кривошипа возросла только амплитуда напряжений под верхними струбцинами. Остальные параметры напряжений практически такие же, как и в серийной ПР. Более того, детали опытной ПР имеют даже резерв прочности и, следовательно, масса их может быть уменьшена. Нагрузки же, действующие на верхние шатунные подшипники, остались на прежнем уровне и не превышают 43,8 кН в мертвых положениях КПМ. Вместе с тем, у облегченной ПР примерно в 2 раза увеличались деформации от статических сил и возросли амплитуды колебаний сил натяжения пил в течение одного оборота кривошипа. В табл. 3 (для двух ПР) приведены данные колебаний сил натяжения пил на уровне их верхних ΔF_v и нижних ΔF_n захватов.

Таблица 3

Параметр	Обозначение	Численное значение параметра для пильной рамки	
		опытной	серийной
Приращение силы натяжения пилы вблизи верхней мертвой точки, кН	$\Delta F_{\text{в}}$	1,65	0,70
	$\Delta F_{\text{н}}$	3,50	2,30
Уменьшение силы натяжения пилы вблизи нижней мертвой точки, кН	$\Delta F_{\text{в}}$	-1,15	-0,45
	$\Delta F_{\text{н}}$	-2,75	-2,00

Наибольшая амплитуда колебаний силы натяжения пилы наблюдается на уровне нижнего центрального захвата, составляет для облегченной ПР 3125Н, что на 45 % больше, чем в серийной ПР. Это является недостатком опытной ПР, приводящим к некоторому снижению устойчивости пил в нижней мертвой точке. Заметим, что абсолютное снижение силы натяжения пилы по отношению к ее первоначальному натяжению ($F_{\text{н}} = 30$ кН) для обеих ПР невысокое, не превышает 9 и 6,7 % соответственно у облегченной и стальной ПР. Для сравнения можно привести значения амплитуд колебаний и снижения сил натяжения пил в двухэтажных лесорамах [3]. Они достигают соответственно 9,6 кН и 20 %, и при этом пилы работают нормально.

К недостаткам облегченной ПР следует отнести повышенную (примерно в 4 раза) трудоемкость изготовления деталей из титанового сплава и его повышенную (примерно в 20 раз) стоимость по сравнению с углеродистыми сталями.

Расчеты показали, что стоимость облегченной ПР возрастает в 10 раз и при серийном изготовлении в условиях Даниловского ЗДС будет составлять 935 р.

Две облегченные ПР были подвергнуты производственным испытаниям на лесопильных рамах Р63-4А с повышенными ($n_k = 320$ мин⁻¹) частотами вращения кривошипа. Более чем 3,5-летние испытания в условиях Уральского учебно-опытного лесхоза показали высокую надежность ПР и остальных элементов механизма резания. Применительно к этому предприятию, за счет повышения производительности, лесорама с облегченной ПР дает экономический эффект более 5 000 р. в год.

Таким образом, нами установлена экономическая целесообразность применения материалов с повышенной удельной прочностью для пильных рамок одноэтажных лесорам производства Даниловского ЗДС. Изменение конструкции распорных струбцин и применение материалов с повышенной удельной прочностью для всех деталей ПР позволит снизить ее массу на 30—32 %.

Проведением работ по повышению надежности шатунов и коленчатого вала при полном использовании несущей способности деталей облегченной ПР можно поднять частоту вращения кривошипа базовой модели Р63-4А на 25 %.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Виноградов В. Ф., Шабалин Л. А., Смирнов В. И. Пути повышения прочности деталей пильной рамки лесопильной рамы модели Р63-4// Деревообработка. оборудование.— 1978.— Вып. 3. [2]. Виноградов В. Ф., Шабалин Л. А., Смирнов В. И. Пути снижения деформации элементов пильной рамки// Деревообработка. оборудование.— 1978.— Вып. 5. [3]. Шабалин Л. А., Виноградов В. Ф. Динамические нагрузки, действующие на захваты рамных пил лесорама 2Р80// Деревообработка. оборудование.— 1976.— Вып. 7. [4]. Шабалин Л. А., Виноградов В. Ф., Акулов Г. А. Исследование напряжений в пильной рамке// Деревообработка. оборудование.— 1977.— Вып. 5.

Поступила 16 октября 1985 г.