

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ БРЕХШПИНДЕЛЕЙ

Брехшпиндели относятся к немногим предохранительным устройствам, которые работают в настоящее время на маховичных станах (в основном пилигримовых).

Такие брехшпиндели установлены в главных линиях пильгерстанов 6÷12" (рис. 1).

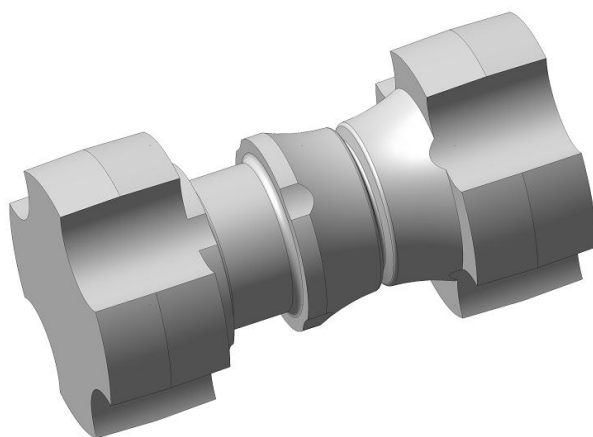


Рис. 1. Брехшпиндель пильгерстана 6÷12"

Эти станы имеют маховичный привод от двигателя постоянного тока. Привод является общим для двух рабочих и двух шестеренных клетей. Между шестеренными клетями и двигателем, имеющим общую ступицу с маховиком, установлены брехшпиндели (по одному на каждую рабочую клеть).

Каждый брехшпиндель имеет два тrefовых участка, соединяющих его с коренной и моторной муфтами. Кроме того, он имеет в средней части цилиндрический участок, соединенный с гидравлическим устройством, которое может сдвигать брехшпиндель, рассоединяя главную линию одной из рабочих клетей. Это рассоединение выполняется при замене разрушенного брехшпинделя, а также при проведении ремонтных работ на одной из рабочих клетей.

Брехшпиндель имеет сечение, ослабленное кольцевой проточкой. Разрушение брехшпинделя происходит по этому ослабленному сечению. Наиболее важен вопрос о том, насколько эффективно выполняет свои функции брехшпиндель, и нужен ли он для подобных маховичных станов вообще.

Испытания брехшпинделей проводились с 2006 по 2008г. на пильгерстане 6÷12" ЦПТиБ ПАО «ММК им. Ильича». Приводной двигатель пильгерстана 6÷12" мощностью $N = 2000$ кВт с числом оборотов $n = 60$ об/мин дополнен маховиком с запасом кинетической энергии вращения около $12 \cdot 10^3$ кДж. Двигатель оснащен максимальной

токовой защитой с коэффициентом перегрузки по току $\hat{\epsilon} = \frac{I_{\max}}{I_{\text{н}}}$ = 2,0. Естествен-

но, наличие энергоемкого маховика исключает отключение двигателя по причине его перегрузки по току, поэтому для такого стана нужна механическая защита с помощью предохранителей [1, 2]. Выбор места установки предохранителя связан с особенностями нагружения главных линий и клетей пилигримовых станов [3,4].

На рис.2 представлены осциллограммы, отражающие качественную сторону нагружения:

- а) момента сил упругости в соединительном шпинделе;
- б) силы прокатки, измеренной в рабочей клет.

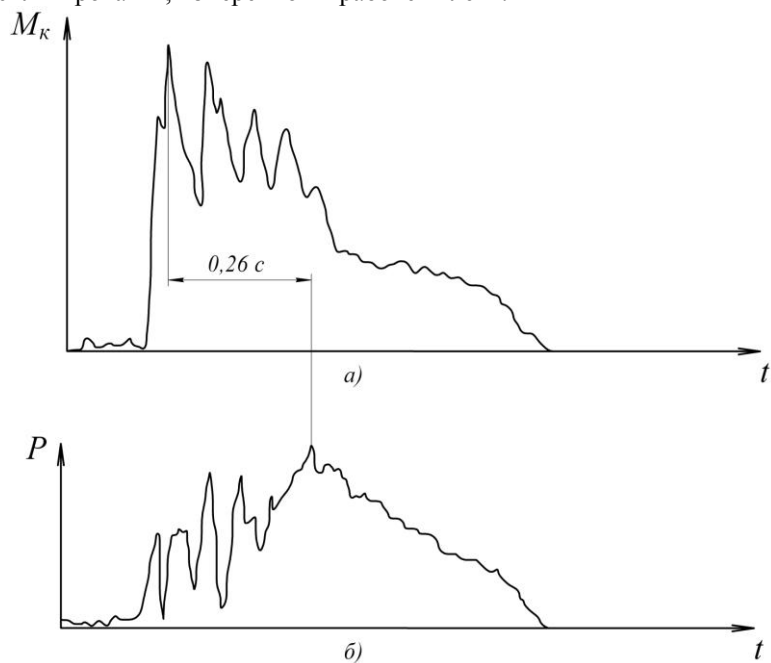


Рис. 2. Осциллограммы нагрузок при прокатке на пильгерстане 6÷12''

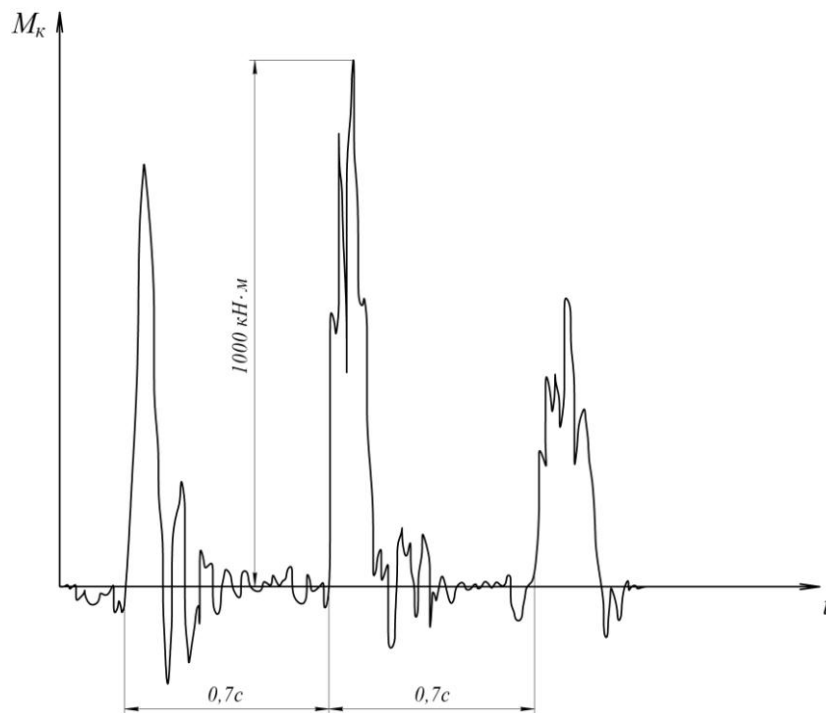


Рис. 3. Осциллограмма моментов упругости в соединительном шпинделе при заправке

На осциллограммах видно, что максимальная нагрузка в шпинделе (то есть в главной линии) возникает раньше, чем в рабочей клетке, поэтому при синхронной работе клетки, главной линии и подающего аппарата пильгерстана защита по линии момента прокатки необходима, то есть применение брехшпинделя вполне оправданно.

На рис.3 приведена осциллограмма момента сил упругости в соединительном шпинделе при затравке, когда нарушается синхронизм. Пики моментов, действующих в главной линии, соответствуют горизонтальным ударам гильзы в рабочие валки, при этом гильза практически не раскатывается (наклепу подвергается ее передняя часть), поэтому сила прокатки в этот момент очень мала. В то же время, моменты в шпинделях представляют реальную опасность разрушения. Это еще раз подтверждает необходимость установки предохранительного устройства именно в главной линии пильгерстана.

Достаточно ли будет такого устройства для предохранения пильгерстана от поломок? Этот вопрос должен быть рассмотрен отдельно с учетом всех нюансов имеющихся конструкций и всего разнообразия характера нагружения.

Что касается работы брехшпинделей, то опыт эксплуатации в ЦПТиБ ПАО «ММК им. Ильича» подтверждает их недостаточную эффективность.

Рассмотрение теоретических вопросов защиты прокатных станов при помощи брехшпинделей позволяет сформулировать основные требования к ним и проанализировать основные причины невыполнения этих требований [5].

Главными требованиями можно считать два:

1. Постоянство величины выключающего момента.
2. Экономическая эффективность.

На практике эти требования не выполняются [6]. В процессе работы брехшпиндель подвергается усталостным повреждениям, вследствие чего снижается его выключающая нагрузка. Для работающих в настоящее время литых брехшпинделей это снижение весьма существенно; оно может за 3...5 дней достигать величины 50%, то есть через несколько дней эксплуатации выключающий момент брехшпинделя уменьшается с 2000кН·м до 1000кН·м, что приводит к неоправданно частым разрушениям брехшпинделей; последние, несмотря на свое назначение, являются весьма дорогими деталями.

Неопределенность величины выключающего момента объясняется и другими причинами. Одна из них – это большие характерные размеры брехшпинделей, другая – неопределенность прочностных характеристик материала.

В таблице 1 приведены механические характеристики материалов отливок для сталей 15Л – 50Л.

Характерной особенностью данной таблицы является ограничение прочностных характеристик всех материалов только снизу. Это вполне объяснимо, если оценивается прочность материалов обычных деталей, для которых желательно исключить разрушение, и совершенно бессмысленно для расходуемых элементов предохранителей, функциональным назначением которых является разрушение при нормируемой нагрузке. Брехшпиндель пилигримового стана 6÷12" ПАО «ММК им. Ильича» изготавливался литьем из стали 35Л II по ГОСТу 977-88. При этом испытания образцов материалов, полученных для разрушившихся брехшпинделей, показали, что прочность их материала доходит до $\sigma_a = 740$ МПа, что соответствует выключающему моменту порядка 3000кН·м.

При таком моменте не исключены усталостные разрушения деталей главной линии. Кроме того, при такой характеристике прочности разрушение брехшпинделя всегда является хрупким. Это приводит к «косому излому», представляющему особую опасность для главной линии из-за возможности появления распорного усилия.

Практика эксплуатации пилигримовых станов знает немало случаев повреждения главных линий со смещением приводного двигателя и маховика, вызванных косыми поломками брехшпинделей по причине неоправданно завышенной прочности и пониженной пластичности материала.

Таблица 1

Механические характеристики материалов отливок для сталей 15Л – 50Л

Марка стали	Категория прочно-сти	Предел текучести σ_t , МПа	Временное сопротивление $\sigma_{\text{в}}$, МПа	Относительное удлинение δ , %	Относительное сужение ψ , %	Ударная вязкость КСЧ, кДж/м ²	Категория прочно-сти	Предел текучести σ_t , МПа	Временное сопротивление $\sigma_{\text{в}}$, МПа	Относительное удлинение δ , %	Относительное сужение ψ , %	Ударная вязкость КСЧ, кДж/м ²
		Не менее						Не менее				
Нормализация или нормализация с отпуском							Закалка и отпуск					
Стали конструкционные нелегированные												
15Л	K20	196	392	24	35	491	-	-	-	-	-	-
20Л	K20	216	412	22	35	491	-	-	-	-	-	-
25Л	K20	235	441	19	30	392	КТ30	294	491	22	33	343
30Л	K25	255	471	17	30	343	КТ30	294	491	17	30	343
35Л	K25	275	491	15	25	343	КТ35	343	540	16	20	294
40Л	K30	294	520	14	25	294	КТ35	343	540	14	20	294
45Л	K30	314	540	12	20	294	КТ40	392	589	10	20	245
50Л	K30	334	569	11	20	245	КТ40	392	736	14	20	294

Многочисленные попытки повысить эффективность работы брехшпинделей сводились к периодическим повышением или снижением его прочности за счет изменения диаметра ослабляющей проточки. Эти мероприятия заканчивались либо увеличением количества поломок брехшпинделей, что приводило к материальным потерям, либо к поломкам дорогостоящих деталей со столь же негативными последствиями.

Предпринимались и другие попытки повысить качество брехшпинделей, например, изменив их форму или материал. Наиболее интересным из них был вариант, который заключался в существенном изменении формы. Такой брехшпиндель вместо глубокой канавки-концентратора имел плавное ослабление [5]. Эта форма позволила значительно снизить концентрацию напряжений и, соответственно, повысить усталостную прочность брехшпинделя. Средний ресурс этих брехшпинделей был увеличен с 5...7 дней до 60...90 дней, однако практически все поломки брехшпинделей были косыми, что исключает надежную работу стана.

Характерными особенностями разрушения были зарождение трещины под углом 45° к оси брехшпинделя и медленное развитие трещины (от ее появления до разрушения брехшпинделя проходило 7...10 дней). Поскольку появившиеся трещины ничем не тормозились, то поломка (как и зарождение трещины) была также косой. Было испытано 8 подобных брехшпинделей. Эти испытания показали, что высокие берега у ослабляющей канавки могут выполнять функцию торможения зародившейся трещины.

Сложная форма брехшпинделя затрудняет теоретическое решение задачи анализа напряженного состояния в зоне ослабляющей канавки. В данной работе методами МКЭ в программном комплексе САПР SolidWorks исследовалось напряженное состояние в зоне ослабления брехшпинделей.

В наборе брешшпинделей было шесть вариантов ослаблений. Они имели одинаковый радиус скругления канавки $r = 16$ мм и одинаковый минимальный диаметр $d = 330$ мм, что предполагало одинаковую прочность этих брешшпинделей. Это надо было проверить. Отличались брешшпиндели внешним диаметром в зоне канавки, который изменялся от $D = 390$ мм до $D = 490$ мм. На рис. 4а и 4б показаны расчетная схема (способ закрепления и разбивка) и распределение эквивалентных напряжений в зоне ослабляющей канавки брешшпинделя при нескольких вариантах глубины канавки.

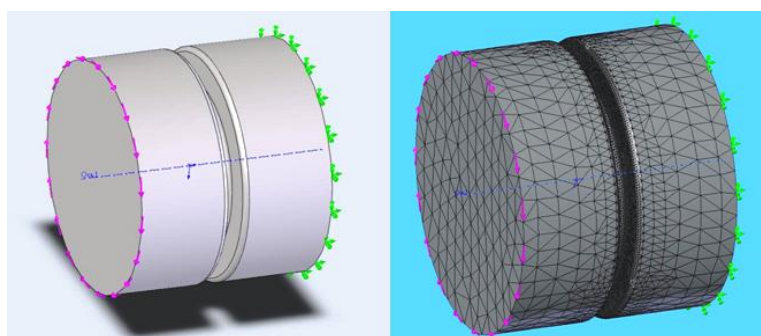


Рис. 4а. Расчетная схема

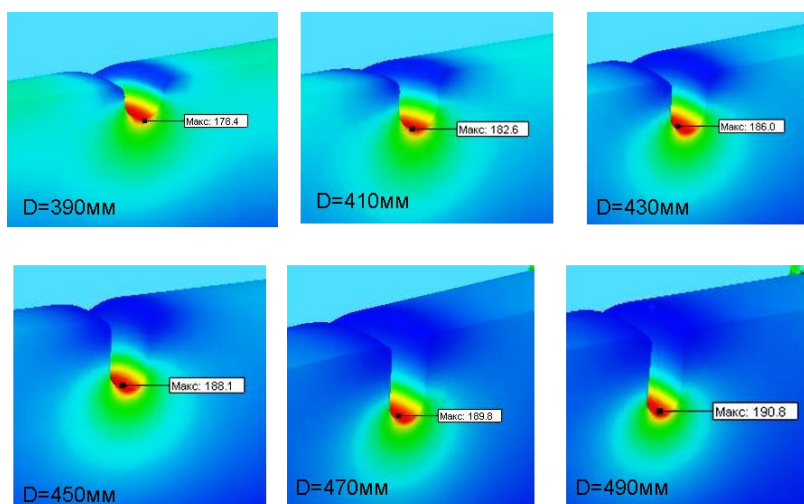


Рис. 4б. Распределение эквивалентных напряжений в зоне ослабляющей канавки брешшпинделя

Исследование этих вариантов позволило найти подходы к решению задачи обеспечения безусловного прямого излома. Основным результатом выполнения расчета следует считать полученную зависимость максимального напряжения от глубины канавки, показанную на рис. 5.

Видно, что максимальное напряжение практически не зависит от глубины канавки, поэтому трещина появляется почти одновременно при всех вариантах и будет иметь одинаковую форму. Для всех вариантов брешшпинделей в процессе работы трещины зарождаются на дне канавки. Они направлены под углом 45° к продольной оси. Дальнейший рост трещины может происходить по разному, различным может быть и конечный результат – при зарождении кривой трещины это либо кривой, либо квазипрямой излом.

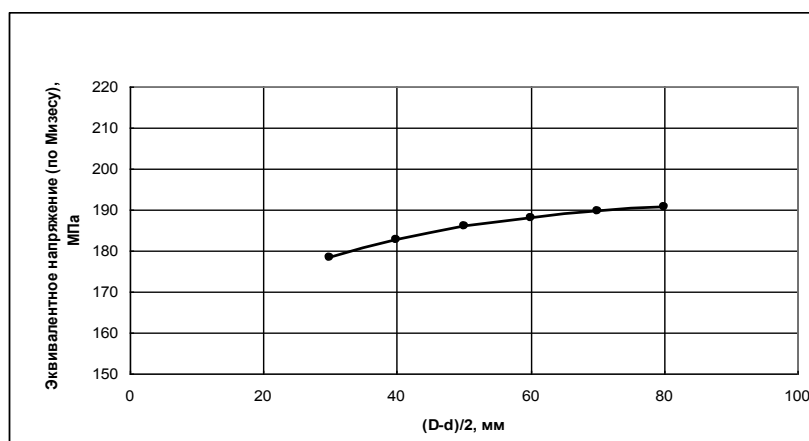


Рис. 5. Зависимость максимального напряжения от глубины канавки

По результатам этого расчета спроектирован и изготовлен брехшпиндель с параметрами $r = 16$ мм; $d = 330$ мм; $D = 490$ мм. Испытания этого брехшпинделя показали, что все разрушения были прямыми.

Выявление особенностей появления и развития трещин при разрушении позволит повысить качество брехшпинделей. Так, может применяться облегченный вариант брехшпинделя с $D = 390$ мм, у которого концентрация напряжений меньше, чем у варианта $D = 490$ мм, примерно на 20%, а значит, усталостная прочность выше. На характер излома можно повлиять установкой в зоне канавки отдельных деталей – прочных колец, сдерживающих развитие косых трещин. Такая конструкция брехшпинделя (составная) может влиять и на напряженное состояние в канавке.

ВЫВОДЫ

Излом брехшпинделя может быть квазипрямым, то есть не вызывающим повреждения главной линии прокатного стана, даже при зарождении не прямой, а косой трещины. Для этого глубина проточки, ослабляющей брехшпиндель, должна быть достаточно большой, либо в районе проточки должны быть установлены слева и справа от нее упрочняющие кольца.

Перечень ссылок

1. Гребеник В.М. Оценка надежности механической защиты главной линии пильгерстана / В.М. Гребеник, А.В. Гордиенко, В.К. Цапко // Известие вузов. Черная металлургия. – 1973. – № 2. – С.170-174.
2. Артюх В.Г. Перспективы защиты прокатных станов Украины от аварийных поломок / В.Г. Артюх, Г.В. Артюх, В.З. Мазай // Металл и литье Украины. – 2000. – № 3-4. – С.45-46.
3. Артюх В.С. Защита пилигримовых станов от перегруза / В.С. Артюх // Сталь. – 1969. – № 2. – С.33-36.
4. Большаков В.И. Новые технические решения в металлургическом оборудовании / В.И. Большаков // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2000. – № 4. – С.10-13.
5. Артюх В.Г. Точность предохранителей для металлургических машин / В.Г. Артюх. – Мариуполь: ПГТУ, 2000. – 177с.
6. Артюх В.Г. Опыт опробования и эксплуатации брехшпинделей с повышенной усталостной прочностью / В.Г. Артюх, Г.В. Артюх, С.Ю. Карлушин, Мухаммед

Иса Ахмед // Защита металлургических машин от поломок. – Мариуполь, 2008. – Вып.10. – С. 88 – 94.

Рецензент: д.т.н., проф. С.С.Самотугин

Статья поступила 20.12.2012

УДК 621.771.06

КАРЛУШИН С.Ю. Совершенствование параметров брехшпинделей // Защита металлургических машин от поломок. – Мариуполь, 2012. – Вып.13. – С .

В данной работе рассмотрены вопросы необходимости установки механической защиты пилигримовых станов. Сформулированы требования по выбору формы и материала брехшпинделя и предложены варианты удовлетворяющие этим требованиям.

Ключевые слова: ПИЛИГРИМОВЫЙ СТАН, БРЕХШПИНДЕЛЬ, ЗАЩИТА, ПРОЧНОСТЬ.

КАРЛУШИН С.Ю. Вдосконалення параметрів брехшпінделів

У даній роботі розглянуті питання необхідності установки механічного захисту пилигримових станів. Сформульовані вимоги до вибору форми і матеріалу брехшпінделя і запропоновані варіанти що задовольняють цим потребам.

Ключові слова: ПІЛІГРИМОВИЙ СТАН, БРЕХШПІНДЕЛЬ, ЗАХИСТ, МІЦНІСТЬ.

KARLUSHIN S.Y. Perfection of parameters of preventive shpindeley

The questions of necessity of setting of mechanical defence of piligrimovykh figures are considered in this work. Formulated requirement on the choice of form and material of preventive shpindelya and variants are offered satisfying these requirements.

Key words: RENTAL STAN, PREVENTIVE SHPINDEL, DEFENCE, DURABILITY.