

ВЛИЯНИЕ ИЗНОСА НА ОБЩУЮ НАРАБОТКУ ДО ОТКАЗА ПРУЖИННОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА

Кургузиков А. М., Партнов С. Б.

Могилевский машиностроительный институт

Технологические процессы большинства производств содержат такой энергоемкий процесс как измельчение. Это наиболее насыщенный процесс многообразием технических средств и в тоже время наиболее несовершенный. КПД наиболее распространенных мельниц для размола минеральных материалов не превышает 1% в лучшем случае, не говоря уже о других существующих проблемах в этой области, например, износ и недолговечность рабочей фурнитуры мельниц.

В качестве мельниц с невысокой производительностью (0,5...5 т/ч) на рынок технических средств постепенно выходят пружинные мельницы (ПМ) в основе конструкции которых рабочие органы в виде пружин (ПРО). Новый класс аппаратов позволяет существенно снизить энергоемкость процесса, металлоемкость, габариты и повысить удельную производительность. Область применения их - тонкое и сверхтонкое измельчение минеральных материалов исходной крупностью до 5 мм с твердостью до 5...7 единиц по шкале Мооса и $R_{сж} = 250...300$ МПа. Общие энергозатраты при размолу кварцевого песка до $S_{уд} = 300$ м²/кг в циклическом режиме составляют 12...18 кВт ч/т, а в непрерывном - 8...12 кВт ч/т.

Наиболее узким местом этих аппаратов является надежность и износостойкость ПРО. Исследования выполненные авторами показывают реальные пути увеличения в будущем надежности ПРО.

В процессе эксплуатации мельниц в ПРО в основном подвергаются износу боковые поверхности витков (см. рисунок 1). Уменьшение сечения витка пружины приводит к увеличению зазора между соседними витками, значительному уменьшению жесткости пружины и как следствие снижению усилия обжатия P_x частиц обрабатываемого материала и снижению производительности.

Результаты эксперимента по определению влияния среды и условий работы пружинного рабочего органа на его общую наработку на отказ и абразивный износ отражены на гистограмме (рисунок 2).

В процессе эксперимента параллельно контролировалась температура местного разогрева как подшипниковых опор, так и рабочего органа с камерой обработки. При работе мельницы без рабочей камеры происходило значительное отклонение рабочего органа от плоскости осей вра-

щения валов в поперечном направлении с амплитудой $\lambda > 2 D_{cp}$ пружины. Чрезмерная перегрузка- первых витков рабочего органа и их разогрев приводит к образованию усталостно-температурных трещин и выходу пружины из строя.



Рисунок 1 - Вид ПРО вышедшего из строя по причине усталостного разрушения

При работе пружинного рабочего органа с камерой без материала, подлежащего обработке, в меньшей мере, но все же присутствуют поперечные колебания пружины и удары о стенку камеры, последующий разогрев ее и выход из строя.

Присутствие материала, подлежащего обработке в камере мельницы, стабилизирует процесс колебания и значительно уменьшает амплитуду как поперечных, так и продольных колебаний, повышая при этом наработку до отказа.

Однако, износ рабочих поверхностей витков Δd , уменьшение момента сопротивления изгибу и кручению приводит в последующем к снижению долговечности рабочего органа.

Для определения усилия обжатия P_k с минимальной ошибкой в данном диапазоне измерений в результате измерения необходимо ввести поправочный коэффициент по износу $k_n = 1,1...1,18$.

Из исследованных рабочих органов наиболее предпочтительным материалом для их производства может служить клапанная пружинная проволока типа 51ХФА-А-П-ХП-5,50 ГОСТ 14963-78. Более предпочтительными условиями работы при этом являются: оптимально заполненная рабо-

чая камера, рубашка охлаждения и защитная футеровка.

Материал рабочего органа работает в условиях сложного напряженного состояния при симметричном цикле нагружения, и поэтому оценка долговечности работы пружины по пределу сопротивления усталости имеет важное значение.

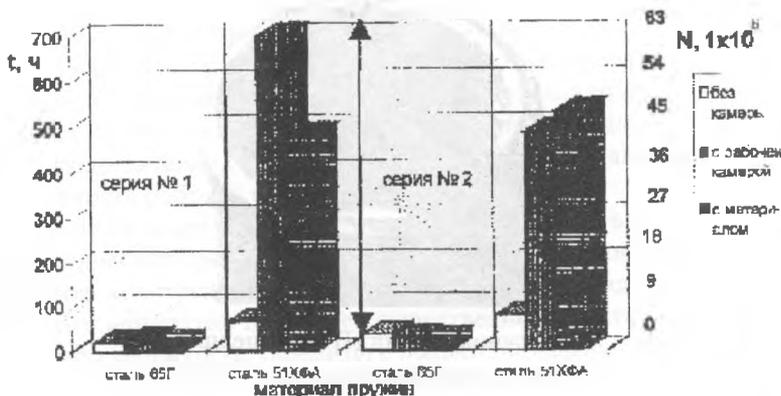


Рисунок 2.-Влияние материала ПРО и условий работы на наработку до отказа

Экспериментальные исследования отражают влияние многих факторов на износостойкость и циклическую долговечность упругих элементов машин и приборов, тем более пружинных рабочих органов.

Для оценки долговечности принимаем обобщающий коэффициент снижения степени предела выносливости рабочего органа по отношению к гладкому полированному лабораторному образцу К:

$$K = \frac{\sigma_1}{\sigma_{1d}} = \left(\frac{K_\sigma}{K_{d\sigma}} + \frac{1}{K_F} - 1 \right) \cdot \frac{1}{K_v \cdot K_A}$$

Для пружинных рабочих органов, с учетом технологии и качества материала применяемых при их изготовлении, условий проведения испытаний (температура, износ, коррозия и др.) был проведен расчет сопротивления усталости в соответствии с методикой по ГОСТ 25.504-82 «Расчеты испытания на прочность».

Для пружинной стали 65Г согласно ГОСТ 14959-79:

$$K = \left(1,06 + \frac{1}{0,9} - 1\right) \cdot \frac{1}{1,5 \cdot 0,83} = 0,94$$

Для стали 51ХФА согласно ГОСТ 14959-79:

$$K = \left(1,06 + \frac{1}{0,88} - 1\right) \cdot \frac{1}{1,3 \cdot 0,8} = 1,15$$

Коэффициент, учитывающий снижение механических свойств металла (σ_b , σ_T , σ_{-1}) с ростом размеров заготовки:

$$K_1 = 1 - 0,21 \lg \frac{d \cdot k_w}{d_0}$$

где d - диаметр проволоки из которого навита пружина, $d=(4...10)$ мм;

d_0 - диаметр гладкого лабораторного образца, $d_0 = 7,5$ мм.

В нашем случае $K_1 = 0,95 \dots 0,96$. Предел выносливости материала заготовки с учетом K_1 :

$$\sigma_{-1} = K_1 \cdot \sigma_b$$

где σ_b - временный предел сопротивления, МПа.

Для стали 65Г $\sigma_b = 980$ МПа, $\sigma_{-1} = (930...945)$ МПа.

Для стали 51 ХФА $\sigma_b = 1275$ МПа, $\sigma_{-1} = (1220...1233)$ МПа.

Таким образом средний предел выносливости детали (пружины):

$$\sigma_{-1D} = \frac{\sigma_{-1}}{K}$$

Для стали 65Г $\sigma_{-1D} = (990... 1005)$ МПа.

Для стали 51 ХФА $\sigma_{-1D} = (1060... 1072)$ МПа.

Используя полученные данные построим приближенную кривую усталости ПРО. По оси ординат откладываются значения σ , а по оси абсцисс $\lg N$ или $\lg T$, где N - количество циклов нагружения; T - время работы пружины до отказа, часы.

На рисунке 3 представлены приближенные кривые усталости.

Область значений σ значений заключается между кривыми усталости определяет долговечность ПРО по усталостной прочности и составляет

54...72 10^6 циклов, что соответствует 600...800 часов работы мельницы.

Необходимо отметить достаточно высокую сходимость результатов теоретического расчета предела выносливости и результатов эксперимен-

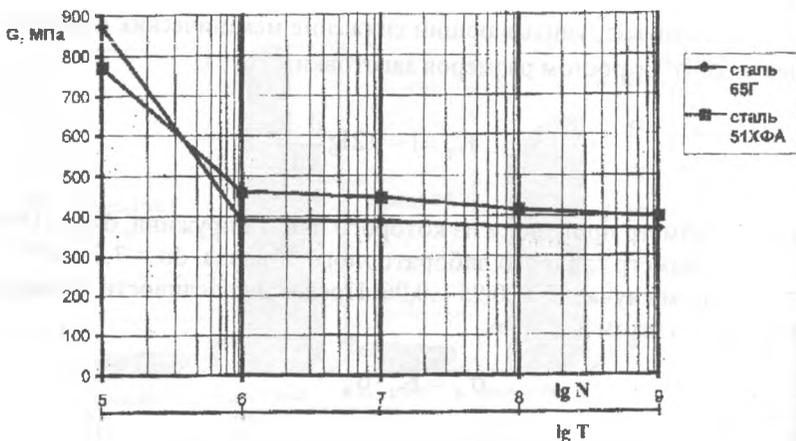


Рисунок 3 - Кривые усталости ПРО из пружинных сталей

тальных исследований в двух сериях опытов для по составу материалов пружин (рисунок 2 и рисунок 3).

Проведенные испытания ПРО показали, что они обладают высокой технологической эффективностью. Однако работоспособность ПРО ограничена не только факторами усталостной прочности и износа, но и крутильной жесткостью, поперечной устойчивостью, поперечными и продольными колебаниями, скоростью соударения витков и износом наружных поверхностей витков о стенки камеры измельчения или материал. Отказы происходили в основном из-за усталостной прочности. Износ рабочих поверхностей витков был незначительным, так для стали 60С2А с $d = 10$ мм после 420 часов работы с гранулированным шлаком износ составил 2,5...2,8 мм на диаметр витка. Для пружины из стали 51 ХФА с $d = 5$ мм после 126 часов размола кварцевого песка максимальный износ витка составил 0,5...0,6 мм на диаметр.

Пути устранения указанных недостатков определяются в каждом конкретном случае с учетом основных параметров рабочего органа, динами-

ки и условий работы.

Снизить внутренние напряжения в витке пружины и увеличить число циклов нагружения в единицу времени можно путем уменьшения центрального узла изгиба и применением устройств усиливающих жесткость пружины. Повысить надежность ПРО можно также за счет снижения частоты вращения и увеличения габаритных размеров ПРО. Применение проката проволоки с улучшенной поверхностью, использование последних разработок в металловедении по пружинным сталям и новых методов поверхностной обработки позволит повысить предел выносливости ПРО.

Снижение износа можно добиться путем применения специальных износостойких сталей, а также за счет твердости рабочих поверхностей и защиты их с помощью футеровок и повехностной самофутеровки материалом обработки.

Износ может быть снижен с помощью организационных мероприятий проведения процесса помола, а особенно при механоактивации компонентов строительных смесей. Идея в том, что для получения прироста прочности и улучшения других свойств смесей и изделий из-них не совсем обязательно обрабатывать весь объем смеси.

Следует заметить, что в данной работе предложены лишь некоторые варианты идей по модернизации ПМ многие из. которых, из-за значительного объема изложения, не нашли должного отражения.