

ВЛИЯНИЕ НАГРЕВОВ НА УПРУГИЕ СВОЙСТВА ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ МАТЕРИАЛА МР

Борисов В.А., Паровай Ф.В.

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Упругие элементы из материала МР применяются в виброизоляторах и уплотнениях, предназначенных для использования в широком диапазоне температуры.

В настоящей работе рассматриваются упругие элементы уплотнительных колец, которые должны сохранять упругость при высокой температуре. В связи с малыми размерами поперечного сечения уплотнений для изготовления упругих элементов пригодна только проволока диаметром не более $d = 0,09...0,12$ мм. Проволока таких диаметров выпускается промышленностью из ограниченного числа марок сталей. Из них наиболее подходит для уплотнений проволока марок ЭП-322 и ЭИ-708А*. Это нержавеющие аустенитные стали, проволока из которых упрочняется нагартовкой. Для повышения работоспособности пружин из сталей такого типа рекомендуется после навивки проводить отпуск при температуре $450...500^{\circ}\text{C}$ в течение 20 мин.[1]. Возникает вопрос о целесообразности отпуска для элементов из МР.

В связи с тем, что в литературе мало данных по свойствам проволоки указанных марок, вначале было исследовано влияние нагревов на механические свойства проволоки.

Для исследования использовалась установка, которая позволяла проводить испытания тонкой проволоки на разрыв с определением пределов текучести $\sigma_{0,2}$ и прочности σ_b . На этой установке испытывались образцы проволоки, предварительно подвергнутые нагревам до температуры 400, 450, 500 и 550°C , а также в состоянии поставки. Нагрев образцов проводился в муфельной печи до заданной температуры, затем следовала выдержка 20 мин и охлаждение, сначала в течение 20 мин вместе с печью, потом вне печи.

Осредненные результаты испытаний приведены на рис.1.

Различие механических свойств представленных проволок в исходном состоянии объясняется различной степенью их нагартовки. Из результатов испытания видно, что при температуре отпуска выше 500°C механические свойства падают, причем в большей степени для более тонкой проволоки. Объясняется это как снятием нагартовки, так и интенсивным окислением проволоки, которое ограничивает работоспособность проволоки ЭП-322 с диаметром $d = 0,09$ мм при температуре 550°C несколькими часами работы.

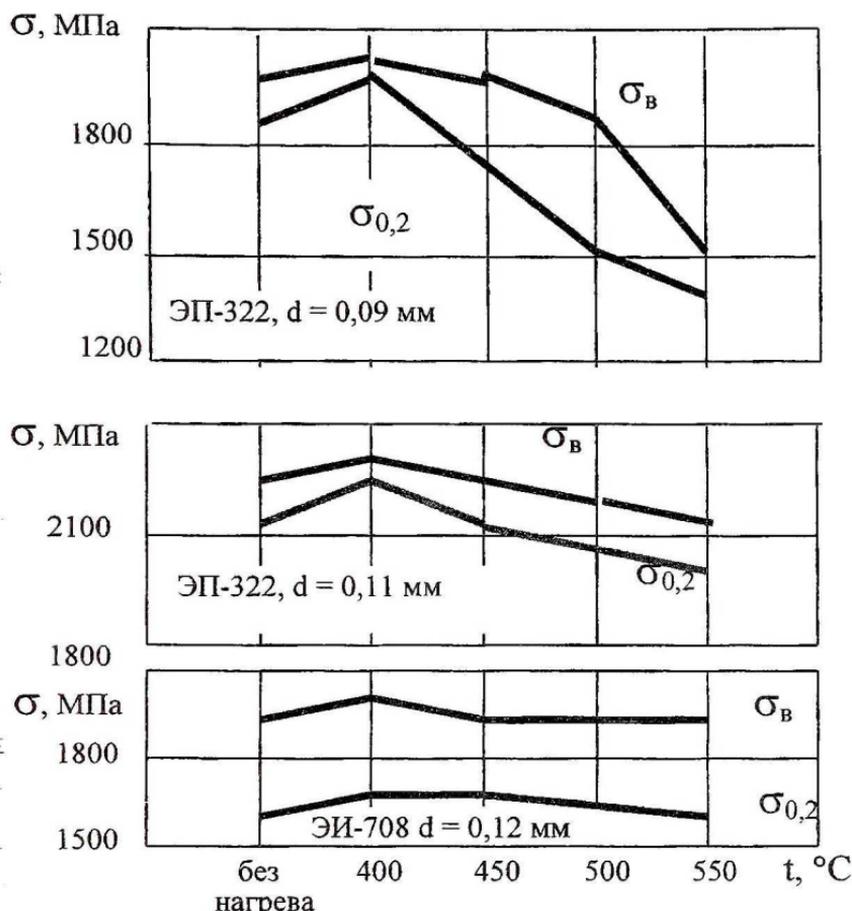


Рис. 1. Зависимость σ_B и $\sigma_{0,2}$ проволоки, используемой в МР, от температуры отпуска

Дальнейшее исследование проводилось на образцах МР, изготовленных из проволоки ЭП-322 $d = 0,09$ мм и $d = 0,11$ мм. Эти образцы представляли собой кольца с наружным диаметром 76 мм, внутренним - 68 мм и высотой сечения $h_0 = 4,5 \pm 0,15$ мм. Они прессовались на прессе при давлении 500 МПа и имели после прессования плотность $\rho_0 = 4,0$ г/см³

На этих образцах определялось влияние нагрева (отпуска) при 450°C в течение 20 мин на упругие свойства МР.

Во время исследования было установлено, что после нагрева происходит увеличение размеров образцов в направлении прессования, в то время как их поперечные размеры практически не изменяются.

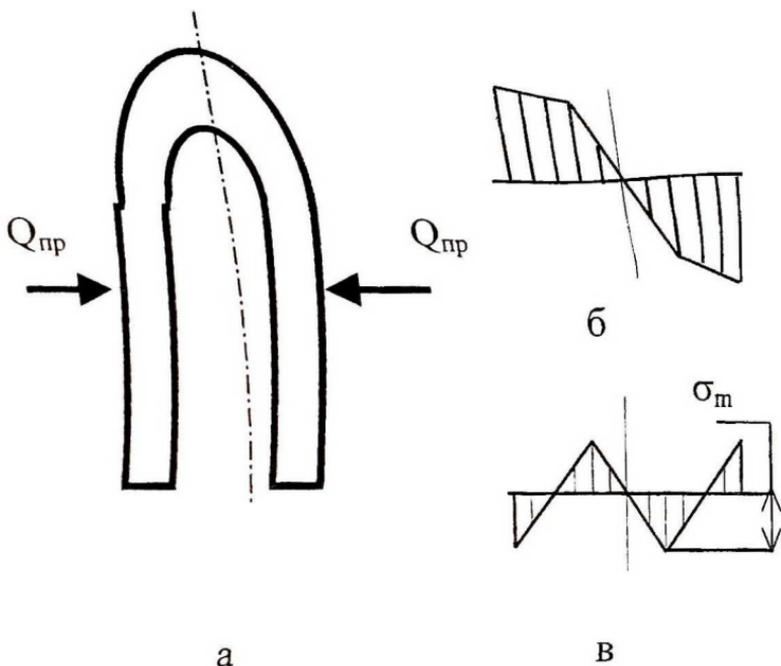


Рис.2. Изгиб витка проволоки при прессовании (а) и эпюры распределения напряжений во время (б) и после (в) прессования

Так для образцов, из проволоки $d = 0,09$ мм увеличение высоты h составляло 5...7%, а для $d = 0,11$ мм - 3...5%. Объяснить это явление можно таким же образом, как и увеличение диаметра пружин после отпуска.

При прессовании МР витки спирали подвергаются пластическому изгибу (рис.2,а), в результате чего после извлечения из прессформы в проволоке имеются остаточные напряжения, эпюра которых должна быть уравновешена (рис. 2,б). При последующем нагреве происходит релаксация в первую очередь максимальных напряжений σ_m . Эпюра остаточных напряжений и после этого остается уравновешенной, но уже при большем радиусе изгиба. В результате этого происходит разрыхление материала, уменьшается его плотность и изменяются упругие характеристики элементов.

В связи с этим были опробованы следующие варианты изготовления образцов:

1. Прессование образца и последующий отпуск по приведенному выше режиму.

2. Прессование образца, отпуск и дополнительное прессование до высоты, которая была у образца до отпуска.

3. Термообработка спирали при 450°C в течение 20 мин до изготовления образца, затем прессование образца до заданной плотности.

У всех образцов, изготовленных таким образом, определялись упругие свойства. Стабильность упругих характеристик проверялась одним или двумя нагревами при температуре 400°C в течение 20 мин, после каждого из которых опять определялись упругие характеристики.

Для оценки упругих свойств использовалась установка, в которой образцы помещались между плоскими поверхностями и подвергались циклическому сжатию-растяжению нагрузкой от $q_{\min} = 0$ до $q_{\max} = 10$ МПа. Для каждой нагрузки q фиксировалась соответствующая ей деформация y и ее относительная величина $\varepsilon = y/h_0$

При первом цикле нагружения определялась максимальная деформация сжатия ε_1 , остаточная деформация после разгрузки $\varepsilon_{\text{ост1}}$ и упругая деформация ε_{y1} . При этом $\varepsilon_1 = \varepsilon_{y1} + \varepsilon_{\text{ост1}}$.

Далее следовало 7...10 циклов нагружения- разгрузки, при которых вначале наблюдалось некоторое увеличение ε_1 и $\varepsilon_{\text{ост1}}$, а затем они стабилизировались. В качестве характеристик упругости использовались величины ε_y и $\varepsilon_y/\varepsilon_{\text{ост}}$, полученные при последнем цикле нагружения.

На рис.3 приведены осредненные результаты, полученные на 5 образцах для каждого варианта изготовления.

Как видно, наибольшую упругую деформацию обеспечивает изготовление образцов по варианту 3, а наименьшую остаточную деформацию дают образцы, полученные по технологии 2. Поэтому у таких образцов значение $\varepsilon_y/\varepsilon_{\text{ост}}$ весьма велико. Если нет последующих нагревов, то термообработка образцов не дает заметного повышения упругости. При наличии нагревов термообработанные образцы сохраняют упругие свойства в большей степени, чем образцы, не прошедшие термическую обработку.

Следует обратить внимание на еще один фактор, влияющий на деформационные характеристики МР. При нагреве наряду с окислением поверхности происходит выгорание смазки, имеющейся на проволоке. В результате этого существенно возрастает трение между проволочками

при деформации образцов, что приводит к увеличению $\epsilon_{ост}$ и снижению ϵ_y . Добавление смазки в термообработанный образец может заметно изменить его деформационные характеристики.

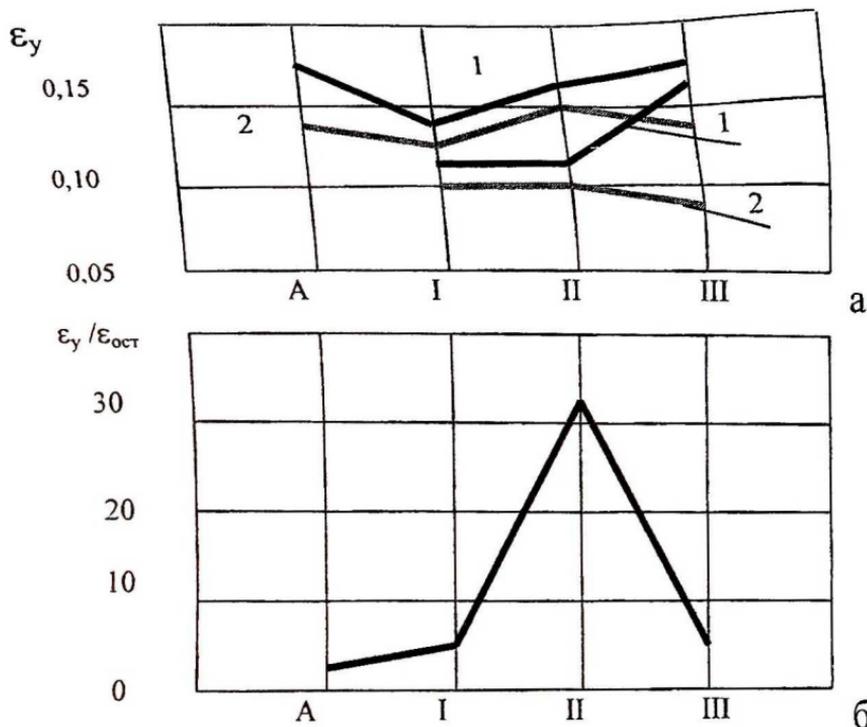


Рис.3. Зависимость ϵ_y и $\epsilon_y/\epsilon_{ост}$ от варианта изготовления образцов (проволока ЭП-322 $\underline{\hspace{1cm}}$ $d = 0,09$ мм; — $d = 0,11$ мм): А – образцы без термообработки; 1 – после изготовления; 2 – после дополнительного нагрева до 400°C.

Из проведенных экспериментов следует, что МР из проволоки ЭП-322 и ЭИ-708А с диаметрами $d = 0,09...0,11$ мм работоспособен только до температуры 450...500°C в течение ограниченного времени (время работоспособности зависит от вида нагружения). При более высокой температуре может использоваться проволока из нихрома Х20Н80, однако такие элементы из МР имеют низкие упругие свойства.

Термообработка может быть целесообразной для элементов МР, выполненных из ЭИ-708А и ЭП-322 и работающих при высокой температуре. В этом случае температура отпуска должна быть 400...450°C, а изготовление упругих элементов лучше проводить по второму варианту.

Список литературы

1. Рахштдт А.Г. Пружинные сплавы.- М.: Металлургия, 1965,-362 с.