

Б. С. ЦФАС

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОРИЕНТИРОВОЧНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЖЕСТКОСТИ СТЫКОВ ПО ОГРАНИЧЕННОМУ ЧИСЛУ ОПЫТНЫХ ДАННЫХ

В последнее время большое внимание уделяется выяснению влияния жесткости стыков на работу соприкасающихся деталей. Для этого определены экспериментальные значения показателей жесткости некоторых стыков. Но количество данных, полученных опытным путем, ограничено и требуются новые определения таких показателей для большого количества еще не исследованных стыков. В настоящей статье предлагаются приближенные зависимости, пользуясь которыми можно по имеющимся значениям показателей жесткости одних стыков определить ориентировочные значения показателей жесткости многих других стыков.

Стыки деталей машин работают, как правило, в условиях повторных нагружений. Для такой работы, согласно с выполненными к настоящему времени экспериментами [1, 2, 3, 4, 5], характерно сохранение постоянной зависимости между нагрузкой на стык и деформацией стыка. Это обстоятельство объясняется тем, что стыки, предварительно обжатые под нагрузкой, равной максимальной эксплуатационной, впоследствии работают в упругой области. При указанных условиях зависимость между нормальной центральной нагрузкой и деформацией стыка может [1, 6, 2, 3, 4, 5] в первом приближении интерпретироваться линейным соотношением

$$\lambda = \frac{\sigma}{e}, \quad (1)$$

λ — абсолютное сжатие стыка, соответствующее напряжению сжатия σ ;

e — коэффициент жесткости стыка.

Зависимостью (1) широко пользуются, в частности, в станкостроении.

По своему виду (1) близко напоминает уравнение закона Гука для упруго сжатого стержня,—

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}, \quad (2)$$

ε — относительное укорочение стержня из материала с модулем Юнга E при сжимающем напряжении σ .

Сопоставляя (1) и (2), можно предположить, что коэффициент e пропорционален модулю E материала, из частей которого образован стык. Основываясь на таком предположении, для двух стыков, отличающихся только своими материалами, справедливо записать

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{E_1}{E_2}. \quad (3)$$

Зная e , например, для чугуниного шлифованного стыка и пользуясь (3), можно найти e для такого же стального стыка. Положим, что для материала первого из этих стыков $E_1 = 1,5 \cdot 10^4 \text{ кг/мм}^2$, для второго — $E_2 = 2,0 \cdot 10^4 \text{ кг/мм}^2$. Значение e для первого стыка примем из [1], $e_1 = 172 \text{ кг/мм}^3$. Тогда, искомая величина $e_2 = 229 \text{ кг/мм}^3$. Только что полученный результат не противоречит имеющемуся в [2] заключению о том, что коэффициенты жесткости чугунных и стальных стыков близки между собой. Из содержащихся, в частности, в [4] результатов испытаний стыков можно заключить, что равенство (3) более или менее удовлетворительно подтверждается такими результатами тем лучше, чем ниже класс чистоты поверхностей стыка.

Для смешанного стыка из поверхностей одного класса чистоты, но различных материалов можно, в первом приближении, допустить, что деформация стыка подчиняется (4), —

$$\lambda = \frac{\lambda_1}{2} + \frac{\lambda_2}{2}, \quad (4)$$

λ_1 и λ_2 — деформации стыка из только одного или только другого из двух указанных материалов.

Можно также предположить, что формула (4) применима с несколько большей погрешностью и к стыкам, поверхности которых обработаны по неодинаковым классам чистоты.

Пользуясь (1) и (4), получим

$$\frac{1}{e^*} = \frac{1}{2 \cdot e_1} + \frac{1}{2 \cdot e_2}$$

или

$$e^* = 2 \cdot \frac{e_1 \cdot e_2}{e_1 + e_2}, \quad (5)$$

e^* — приведенный коэффициент жесткости, коэффициент жесткости смешанного стыка.

Выражением, близким к (5), но не содержащим множителя 2, пользуются в работе [7].

Прибегая к помощи (3) и в случае смешанного стыка, запишем

$$\frac{e^*}{e_1} = \frac{E^*}{E_1},$$

что вместе с (5) дает

$$E^* = 2 \cdot \frac{E_1 \cdot E_2}{E_1 + E_2}, \quad (6)$$

E^* — приведенный модуль упругости, модуль упругости смешанного стыка.

Выражение (6) аналогично выражению приведенного модуля упругости, фигурирующему в контактных задачах прикладной теории упругости [8], в которых рассматриваются идеально гладкие контакты.

Имея (3) и (5), можно находить ориентировочные значения e для смешанных стыков, когда известны материалы и классы чистоты их поверхностей и значения e для стыков с такими же по чистоте поверхностями, но из других материалов. В этих случаях искомая величина

$$e^* = 2 \cdot \frac{e_3 \cdot \frac{E_1}{E_3} \cdot e_4 \cdot \frac{E_2}{E_4}}{e_3 \cdot \frac{E_1}{E_3} + e_4 \cdot \frac{E_2}{E_4}}, \quad (7)$$

E_1 и E_2 — модули упругости материалов первой и второй поверхностей смешанного стыка с еще неизвестным коэффициентом e^* ; e_3 и E_3 — известные величины для однородного стыка с классом чистоты поверхностей, равным классу чистоты первой поверхности смешанного стыка; e_4 и E_4 — известные величины, аналогичные e_3 и E_3 , второго однородного стыка с поверхностями того же класса чистоты, как и у второй поверхности смешанного стыка.

Выполним численные примеры на использование уравнений (5) и (7).

1. Имеется плоский чугуно-стальной шлифованный стык, для которого требуется определить e^* .

Согласно предыдущему, $e_r = 172$ кг/мм³, $e_c = 229$ кг/мм³. На основании (5), $e^* = 196$ кг/мм³.

2. Найти e^* чугунного стыка, образованного шлифованной и шабренной поверхностями.

Согласно [1], для чугунного шабренного стыка $e_1 = 76$ кг/мм³, для чугунного шлифованного $e_2 = 172$ кг/мм³. Из (5) $e^* = 105$ кг/мм³.

3. Известны e однородных чугунных шабренного и шлифованного стыков. Определить e^* смешанного стыка из стальной шлифованной и бронзовой шабренной поверхностей. Приняв для бронзы $E_B = 1,0 \cdot 10^4$ кг/мм², имея (7) и взяв из предыдущего E_c , E_n , $e_{ч.шб}$, $e_{ч.шл}$, получим для указанного смешанного стыка $e^* = 83$ кг/мм³.

Из исследований касательной (тангенциальной) жесткости стыков [9] можно сделать заключение, что выражение (1) применимо и к касательному нагружению стыков, если такое нагружение не превышает предельного состояния, за которым следует срыв, то есть начало скольжения друг по другу сопряженных в

стыке поверхностей. Следовательно, все вышеизложенное может быть распространено и на стыки, нагруженные в касательном направлении. Для этого в вышесообщенных зависимостях нормальные деформации и напряжения, коэффициенты нормальной контактной жесткости, модули нормальной упругости следует заменить аналогичными величинами, соответствующими касательному нагружению стыка.

Зависимости (3), (5), (7) были подвергнуты контрольной проверке, заключавшейся в опытном определении коэффициентов нормальной жесткости стальных, чугунных и смешанных (чугунно-стальных) плоских стыков. Эксперименты производились при повторных нагружениях стыков. Причем, указанные определения выполнялись как для стыков с одинаковой геометрией обеих поверхностей и параллельном расположении неровностей одной поверхности по отношению к неровностям другой, так и для стыков с различной геометрией и с взаимно перпендикулярным расположением неровностей одной поверхности к неровностям второй. Нагружение стыков центральной силой осуществлялось с помощью механического пресса, предназначенного для взятия проб твердости по Бринеллю. Продольные деформации нагруженных образцов и стыков измерялись рычажными тензometрами типа Гугенбергера. Стыки комбинировались из поверхностей, обработанных по 3, 5, 7 классам чистоты по ГОСТ 2789—51.

Сопоставление результатов опытных определений коэффициентов жесткости указанных стыков с вычисленными по вышеполученным зависимостям показало, что вычисленные значения даже в самых невыгодных случаях отличались от опытных не более, чем на 29%. Таким образом, полученные в настоящей работе зависимости являются в первом приближении приемлемыми для целей ускоренного и простого определения показателей жесткости различных плоских стыков.

ЛИТЕРАТУРА

1. К. В. *Вотинов*. Жесткость станков. ЛОНИТОМАШ, 1940.
2. З. М. *Левина*. Исследование и расчет суппортов, ползунов и столов металлорежущих станков в совместной работе с направляющими (автореферат диссертации), МОССТАНКИН, 1955.
3. Н. Б. *Демкин*. Фактическая площадь касания твердых поверхностей, Изд. АН СССР, 1962.
4. Э. В. *Рыжов*. Основы расчета стыковых поверхностей деталей машин на контактную жесткость, Машгиз, 1962.
5. П. В. *Дьяченко* и др. Площадь фактического контакта сопряженных поверхностей, Изд. АН СССР, 1963.
6. Д. Н. *Решетов*. Расчет деталей станков, Машгиз, 1945.
7. И. В. *Крагельский* и И. Э. *Виноградова*. Коэффициенты трения, Машгиз, 1955.
8. В. М. *Макушин*. Деформация и напряженное состояние деталей в местах контакта, Машгиз, 1952.
9. З. М. *Левина* и Д. Н. *Решетов*. О касательной податливости затянутых стыков деталей машин, «Станки и инструмент», № 5, 1958.