

стью уменьшения площади сечения более пластичной детали или разрушения более хрупкой [4].

Напряжение, необходимое для начала пластической деформации, рассчитывается по формуле [3]:

$$\sigma = \sigma_T \left(1 + \frac{2}{3} \frac{s}{ih} \right),$$

где s — сечение сдавливаемой детали, мм; i — периметр сечения, мм; h — высота заготовки, мм.

По предложенной зависимости для медной прокладки пластическая деформация наступает при $\sigma = 20$ МПа. Как следует из [5], для холодной сварки необходимо, чтобы в зоне контакта выполнялись условия $P \geq (4...5)\sigma_T$ и $P > \sigma$.

Расчеты, проведенные на штатных фланцевых замковых соединениях, показали, что в зоне контакта прокладки из меди М3 и фланцами из стали 12Х18Н10Т напряжения составляют $P = 260...280$ МПа, что в 13—14 раз превышает напряжения, необходимые для начала пластической деформации прокладки, и в 17.3 раза превышает напряжения, необходимые для осуществления холодной сварки.

Расчеты фактической площади касания в зависимости от давления с учетом механических свойств контактирующих материалов представляют особый интерес для технологов, занимающихся отработкой режимов сварки. Работы [1, 4, 6] позволяют при определенных допущениях уточнить эти расчеты. Как показали опыты [5], с увеличением нагрузки увеличение фактической площади касания замедлялось.

Для оценки фактической площади контакта исследован образец соединения на разрыв. Было принято, что разрыв будет происходить не в самой зоне контакта, а по более хрупкому металлу. При этом площадь, по которой произойдет разрыв, будет мало отличаться от истинной фактической площади

касания. Согласно принятым предположениям для медной прокладки фактическая площадь касания составляет $F = N/\sigma \approx 1.1$ мм, где N — нормальная нагрузка.

Относительная площадь касания η , равная отношению фактической площади F к номинальной S , составляет $\eta = F/S \approx 0.00052$.

1. Демкин Н. Б. Фактическая площадь касания твердых поверхностей. — М.: Изд-во АН СССР, 1962.
2. Казаков Н. Ф. Диффузионная сварка в вакууме. — М.: Машиностроение, 1968.
3. Кочергин К. А. Сварка давлением. — Л.: Машиностроение, 1972.
4. Россшинский А. А., Заплитная А. Т., Кислицин В. М. Влияние давления на фактическую площадь касания при сварке давлением // Автоматическая сварка.—1969.—№ 7.
5. Сахацкий Г. П. Технология сварки металлов в холодном состоянии. — Киев: Машиностроение, 1970.
6. Шоршоров М. Х. и др. К вопросу расчетной оценки режимов сварки давлением // Сварочное производство.—1967.—№ 7.

INFLUENCE OF COLD WELDING ON DETACHABLE JOINTS WITH PLASTIC LINING

Yu. S. Boiko

Assembly and test pneumatic-hydraulic systems showed that detachable flange connections don't lose their tightness after removal the fixtures from them even in conditions of regular loadings. It is supposed that the reason of that is a cold welding. The accounts carried out on regular flange seam connections showed that in a zone of contact of a lining from copper M3 and flanges from steel 12Х18Н10Т-ВД the pressure made size 260—280 MPa, that is 13—14 times large as the pressure necessary for the beginning of plastic deformation of a lining, and 17.3 times large as the pressure necessary for realization of cold welding. The received results allowed to make a conclusion that there is a cold welding in a basis of arising effect of coupling in detachable connections with plastic lining.

УДК 536.416:531.711

ТЕМПЕРАТУРНАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

© О. В. Бондаренко

Дніпропетровський державний університет

Приведено класифікацію конструкцій з точки зору забезпечення їхньої діездатності у широкому діапазоні температур, запропоновано спосіб забезпечення стабільності поведінки конструкції, розглядаються алгоритми розрахунку та приведено критерії вибору параметрів ланки-компенсатора.

В настоящее время в ракетно-космической технике широко используются в качестве рабочих тел вещества при криогенных температурах, которые с од-

ной стороны имеют ряд преимуществ из-за своей эффективности и экологической безопасности, а с другой — ставят перед проектировщиками дополн-

нительные задачи, связанные с обеспечением работоспособности конструкции в широком диапазоне температур.

При значительном перепаде температур от сборки до эксплуатации в конструкции происходят температурные изменения физико-механических свойств и, как следствие, изменение параметров напряженного состояния, что может привести к частичной или полной потере работоспособности. Чтобы обеспечить работоспособное состояние при заданной температуре, необходимо знать характер температурного изменения напряженного состояния и иметь возможность им управлять.

Для описания и систематизации конструкций в широком диапазоне температур разработана классификация их размерных цепей, приведенная в таблице. Наиболее важным пунктом классификации является вид замыкающего звена, определяющий характер напряженного состояния в системе.

Для описания размерных цепей с натягом применяется система уравнений (1), рассмотренная в [2].

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_0 = \frac{\sum_{i=1}^n l_i^{T_0} - \sum_{j=1}^m l_j^{T_0}}{\sum_{i=1}^n \lambda_i^{T_0} + \sum_{j=1}^m \lambda_j^{T_0}}, \\ Q_p = \frac{\sum_{i=1}^n l_i^{T_p} - \sum_{j=1}^m l_j^{T_p}}{\sum_{i=1}^n \lambda_i^{T_p} + \sum_{j=1}^m \lambda_j^{T_p}}. \end{array} \right. \quad (1)$$

Здесь $l_i^{T_0}$ и $l_j^{T_0}$ — размеры i -го увеличивающего и j -го уменьшающего звена размерной цепи конструкции при температуре сборки T_0 ; $\lambda_i^{T_0}$, $\lambda_j^{T_0}$ — коэффициент податливости i -го увеличивающего и j -го уменьшающего звена размерной цепи конструкции при температуре сборки T_0 ; Q_0 , Q_p — усилие в соединении при температуре сборки T_0 и рабочей температуре T_p ; n и m — количество увеличивающих и уменьшающих звеньев размерной цепи соответственно; $l_i^{T_p}$ и $l_j^{T_p}$ — размер i -го увеличивающего и j -го уменьшающего звена размерной цепи конструкции при температуре T_p ; $\lambda_i^{T_p}$ и $\lambda_j^{T_p}$ — коэффициент податливости i -го увеличивающего и j -го уменьшающего звена размерной цепи конструкции при температуре T_p ;

$$\begin{aligned} \lambda_i^{T_0} &= \beta_i^{T_0}(T) l_i^{T_0}, & \lambda_j^{T_0} &= \beta_j^{T_0}(T) l_j^{T_0}, \\ \lambda_i^{T_p} &= \beta_i^{T_p}(T) l_i^{T_p}, & \lambda_j^{T_p} &= \beta_j^{T_p}(T) l_j^{T_p}, \end{aligned} \quad (2)$$

где $\beta_i^{T_0}(T)$, $\beta_j^{T_0}(T)$, $\beta_i^{T_p}(T)$, $\beta_j^{T_p}(T)$ — коэффициенты пропорциональности.

Размеры звеньев при температуре T_p определяются по формуле [2]:

$$l_{i,j}^{T_p} = l_{i,j}^{T_0} + l_{i,j}^{T_0} \cdot \int_{T_0}^{T_p} \alpha(T) dT, \quad (3)$$

где $\alpha(T)$ — коэффициент температурного расширения материала, из которого выполнено данное звено размежной цепи.

Соединения с зазором описываются системой уравнений

$$\begin{cases} l_{\Delta}^{T_0} = \sum_{i=1}^n l_i^{T_0} - \sum_{j=1}^m l_j^{T_0}, \\ l_{\Delta}^{T_p} = \sum_{i=1}^n l_i^{T_p} - \sum_{j=1}^m l_j^{T_p}, \end{cases} \quad (4)$$

где $l_{\Delta}^{T_0}$ и $l_{\Delta}^{T_p}$ — величина зазора при температуре сборки T_0 и при температуре эксплуатации T_p . Расчетные схемы размерных цепей с зазором и с натягом приведены на рис. 1 и 2.

Для управления напряженным состоянием предлагается использовать звено-компенсатор, т. е. звено размежной цепи, размеры и физико-механические свойства которого позволяют обеспечить работоспособность конструкции.

Для выбора параметров звено-компенсатора в конструкциях с натягом используется отношение коэффициентов податливости звена при температуре сборки и эксплуатации Z :

$$Z = \lambda_{i,j}^{T_0} / \lambda_{i,j}^{T_p}. \quad (5)$$

Коэффициент податливости элемента конструкции зависит от упругих свойств материала и размеров. При изменении температуры от 293 К до 20 К модули упругости материалов элементов конструкции первого (E) и второго рода (G) изменяются на 10—15 %. От них зависят параметры $\beta(T)$, а температурное изменение размеров не превышает 0.01—0.1 % от размера звена. Относительное удлинение $\varepsilon(T)$, характеризующее температурное изменение размеров, определяется по формуле [1]

$$\varepsilon(T) = (l_{i,j}^{T_0} - l_{i,j}^{T_p}) / l_{i,j}^{T_0}. \quad (6)$$

Таким образом, главным критерием при выборе параметров звено-компенсатора в размерных цепях с натягом является жесткость, а относительное удлинение, рассчитываемое по формуле (6), — проверочным.

Для соединений с зазором критерием выбора материала для звено-компенсатора является относительное удлинение $\varepsilon(T)$, определяемое по формуле (6).

Звено-компенсатор может вводиться в конструкцию дополнительно к уже имеющимся, или в этом

Классификация размерных цепей, зазоров и натягов

Классификационный признак	Характеристика
КЛАССИФИКАЦИЯ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ	
По степени подвижности	Подвижные Неподвижные
По характеру прилагаемой нагрузки	Отсутствие нагрузки Статическая нагрузка Динамическая нагрузка Ударная нагрузка Вибрационная нагрузка
По времени приложения нагрузки	Одновременно с температурой Не одновременно с температурой
По типу решаемой задачи	Проектная Проверочная
По характеру температурной нагрузки	Однократная Циклическая
По виду замыкающего звена размерной цепи	Зазор Натяг
КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАЗОРОВ	
По моменту возникновения (создания)	При сборке При эксплуатации
По назначению	Сборочный Эксплуатационный
По изменению величины во времени	Постоянный Переменный
КЛАССИФИКАЦИЯ НАТЯГОВ	
По способу создания	Механическое воздействие Не механическое воздействие
По моменту создания	При сборке При эксплуатации
По изменению в течение времени	Постоянный Переменный
По количеству зависимых звеньев размерной цепи	Одно - натяг Два и более - натяги и какие-либо другие звенья

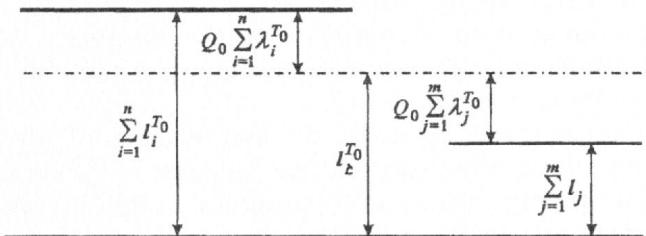


Рис. 1. Расчетная схема соединений с натягом при температуре сборки: $l_i^{T_0}$ и $l_j^{T_0}$ — размер i -го увеличивающего и j -го уменьшающего звена размерной цепи конструкции при температуре сборки T_0 ; $\lambda_i^{T_0}$ и $\lambda_j^{T_0}$ — коэффициент податливости i -го увеличивающего и j -го уменьшающего звена размерной цепи конструкции при температуре сборки T_0 ; Q_0 — усилие в соединении при температуре сборки T_0 ; n и m — количество увеличивающих и уменьшающих звеньев размерной цепи

качестве выступает входящий в состав конструкции элемент. Оно оказывает влияние на характер изме-

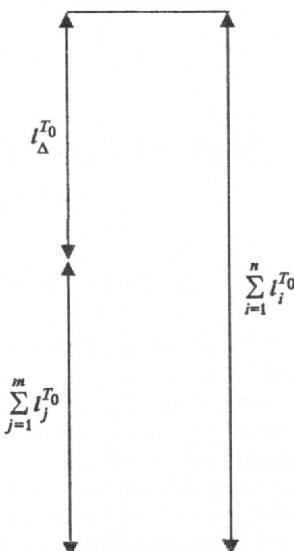


Рис. 2. Общий вид размерной цепи: $l_Δ^{T_0}$ зазор; $l_i^{T_0}$ и $l_j^{T_0}$ — размер i -го увеличивающего и j -го уменьшающего звена размерной цепи конструкции при температуре сборки T_0 ; n , m — количество увеличивающих и уменьшающих звеньев размерной цепи

нения напряженного состояния не только физико-механическими свойствами материалов, но и размерами, т. е. иногда достаточно изменить размеры элементов конструкции для обеспечения ее работоспособности.

Таким образом, определены основные критерии выбора звена-компенсатора для конструкций, эксплуатируемых в широком диапазоне температур:

- для соединений с натягом — это жесткость;
- для соединений с зазором — температурное изменение размеров элемента конструкции, характеризуемое относительным удлинением материала, из которого выполнен данный элемент.

1. Гудков С. И. Механические свойства промышленных цветных металлов при низких температурах. — М.: Металлургия, 1971.—304 с.
2. Зевако В. С. Расчет усилия затяжки в разъемных соединениях. Работающих в широком диапазоне температур // Приднепровский вестник.—1997.

TEMPERATURE STABILIZATION OF MECHANICAL CONSTRUCTIONS

O. V. Bondarenko

Classification of constructions in terms of securing of their efficiency in a wide temperatures range is given. The method securing a stability of construction exploitation is suggested. Algorithms of calculation are considered and the criterions for choosing of element-compensator parameters are proposed.