

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ХОЛОДНОЙ СВАРКИ РАЗЪЕМНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ

© Ю. С. Бойко

Державне конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля

З'ясовано, що при збиранні та випробуваннях пневмогідравлічних систем роз'ємні фланцеві з'єднання після зняття з них зусилля затяжки не втрачають своєї герметичності навіть в умовах штатних навантажень. На основі теорії металевих зв'язків розраховано діаметр одиничної плями дотикання і фактичної площі дотикання прикладеного тиску і від виду обробки матеріалу. Пропонується математична модель, яка дозволяє судити про характер процесу холодного зварювання в роз'ємних з'єднаннях, а також вибирати його оптимальні параметри.

Рассмотрена конструкция пневмогидравлической системы (ПГС), где основными соединительными элементами между трубопроводами являются фланцевые разъемные соединения. Установлено, что при сборке и испытании ПГС разъемные фланцевые соединения после снятия с них усилия затяжки не теряют своей герметичности даже в условиях штатных нагрузок.

Было предположено, что причиной сохранения плотности стыка является холодная сварка, так как созданные условия благоприятствуют ее протеканию.

В связи с различными подходами к одному и тому же явлению и большой его сложностью в настоящее время есть восемь гипотез о природе и механизме холодной сварки: рекристаллизационная, диффузионная, пленочная, энергетическая, дислокационная, деформационная, металлических связей, теория активных центров [4].

В основу предлагаемых расчетов положена теория металлических связей как наиболее раскрывающая сущность наблюдаемого эффекта и хорошо зарекомендовавшая себя в практическом плане. В связи с этим все выводы и расчеты основаны на ее использовании.

Расчеты, проведенные ранее [1, 2] на штатных фланцевых замковых соединениях, показали, что в зоне контакта прокладки из меди МЗ или алюминия АЛ4С и фланца из стали 12Х18Н10Т-ВД напряжения составляют величину порядка $P = 260...280$ 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.

При холодной сварке давлением необходим вы-

бор оптимального режима сварки. Одним из основных факторов является давление, обеспечивающее физический контакт. Основное назначение усилия — вызвать микропластическую деформацию, образовать максимальный контакт, необходимый для получения физического контакта и развития взаимной диффузии. При холодной сварке приложенные давления практически не приводят к макроскопической деформации и изменению размеров. Общее время сварки исчисляется минутами, пластическое течение и сглаживание микровыступов в первый период формирования сварного соединения происходит с достаточно большой скоростью.

Опираясь на исследования [4], мы рассчитали средний диаметр единичного пятна касания и фактическую площадь касания в зависимости от приложенного давления и качества обработки поверхности. При этом принималось, что выступы имеют форму равносторонних треугольников. При стороне каждого треугольника a и на высоте h число выступов n на длине 1 мм составит

$$n = \frac{\sqrt{3}}{2h}.$$

Каждый треугольник заменяется вписанной в него окружностью. Получаемая при таком допущении погрешность является бесконечно малой величиной высшего порядка по сравнению с h^2 . Таким образом, радиус скругления вершин выступов

$$r \approx \frac{1}{3h}.$$

Согласно работе [3] средний диаметр $d(N)$ единичного пятна касания в зависимости от нагрузки N определяется по формуле

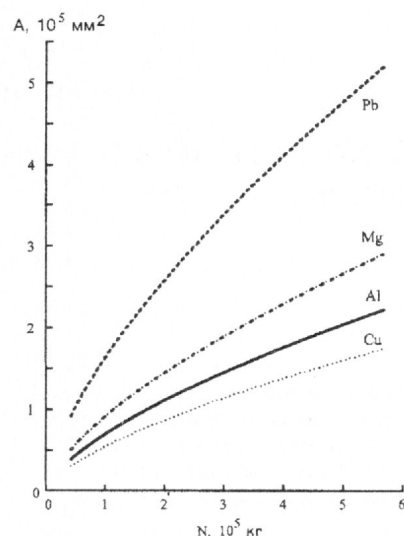


Рис. 1. Зависимость фактической площади A касания от нагрузки N для некоторых пар пластичных металлов со сталью при одинаковой шероховатости $H = Rz40$

$$d(N) = 2 \left(\frac{rh}{\nu} \right)^{1/2} \left(\frac{N}{bc\sigma_T A(N)} \right)^{1/(2\nu)}, \quad (1)$$

где: b , c , ν — некоторые постоянные (при пластическом контакте $c = \nu = 3$; $b = 5 \dots 10$); $A(N)$ — фактическая площадь касания; σ_T — предел текучести; N — приложенная нагрузка.

Учитывая, что максимальные размеры не превышают 2 мм, фактическую площадь касания можно вычислить из выражения

$$A(N) = n^2 ar(N), \quad (2)$$

где $ar(N) = \pi \rho^2$ — площадь единичного пятна касания; ρ — радиус этого пятна касания, определяемый по формуле Герца:

$$\rho(N) = 0.9 \left(\frac{1 - \mu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \mu_2^2}{E_2} \right)^{1/3} (2r)^{1/3} N^{1/3},$$

Здесь μ — коэффициент Пуассона; E — модуль упругости материала.

Выведенные формулы (1) и (2) позволяют выразить зависимость фактической площади касания от нагрузки, сжимающей материалы с неодинаковыми физическими свойствами и имеющими микронеровности различной высоты через элементарные функции. Это дает возможность судить об общем характере изменения процесса и выбрать оптимальное давление. Зависимости представлены на рис. 1 для некоторых пар пластичных металлов со сталью: Al, Cu, Mg, Pb. При этом Mg, Pb не используются в ракетной технике и взяты только для сравнения.

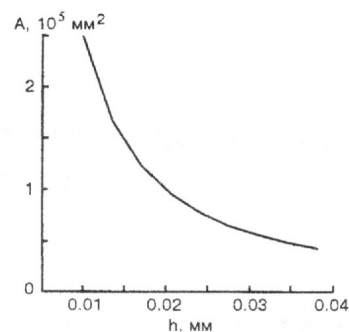


Рис. 2. Зависимость фактической площади A касания от высоты h неровности поверхности для пары сталь — алюминий при постоянном нагружении $N = 42 \cdot 10^9$ кг

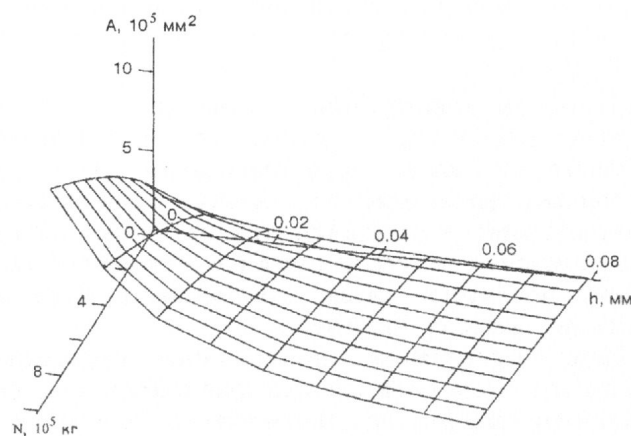


Рис. 3. Зависимость фактической площади касания от приложенной нагрузки и вида обработки материала

Видно, что для поверхностей с шероховатостью больше чем $Rz40$ одним из основных факторов, определяющих площадь касания, есть предел текучести σ_s и связанная с ним твердость. Чем меньше твердость, тем больше площадь касания.

Изменение касания при постоянном нагружении в зависимости от максимальной высоты неровностей поверхности можно проследить на втором графике (рис. 2). Фактическая площадь касания растет с улучшением чистоты контактируемых поверхностей. Для поверхностей с шероховатостью больше чем $Rz40$ влияние шероховатости на площадь контакта не превышает 3 %. Только начиная с поверхностей, имеющих качество обработки $Rz10$ и выше, фактическая площадь контакта начинает расти.

Представленные графики поверхностного типа на рис. 3 показывают зависимость фактической пло-

щади касания от приложенной нагрузки и вида обработки материала.

Расчеты фактической площади касания в зависимости от нагружения с учетом механических особенностей контактируемых материалов представляют особый интерес для специалистов, занимающихся отработкой режимов холодной сварки и обеспечением герметичности разъемных соединений трубопроводов.

1. Бойко Ю. С. Влияние холодной сварки на герметичность разъемных соединений с пластичной прокладкой // Космична наука та технологія. Додаток.—2001.—7, № 1.
2. II Всеукраїнська молодіжна науково-практична конференція з міжнародною участю «Людина і космос»: Зб. тез. — Дніпропетровськ: НЦАОМУ, 2000.
3. Россошинский А. А., Заплитная А. Т., Кислицин В. М. Влияние давления на фактическую площадь касания при сварке давлением // Автоматическая сварка.—1969.—№ 7.

4. Саханский Г. П. Технология сварки металлов в холодном состоянии. — К.: Машиностроение, 1970.

DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODEL OF COLD WELDING IN DETACHABLE CONNECTIONS

Yu. S. Boiko

It is ascertained that at assembly and trial of pneumahydraulic systems (PHS), detachable seam of connection after removal from them the efforts of a tightening do not lose the air-tightness even in conditions of nominal loads. Basing on the theory of metal links and the carried out researches the calculations of diameter of a single spot of contact and actual square of contact depended on the pressure and from sort of processed material are done. The mathematical model is developed and offered which allows to judge about common character of the process cold weld in detachable connections, and also to select his optimal parameters.

УДК 669.1017

СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИ СТАРЕНИИ МАРТЕНСИТОСТАРЕЮЩИХ СТАЛЕЙ

© Н. Е. Калинина, А. В. Дейнега

Дніпропетровський національний університет

Проведено оцінку способів зміцнення мартенситостаріючих сталей легуванням і термічною обробкою. Представлено механізм гомогенного і гетерогенного зародження інтерметалічних фаз при старінні. Розглянуто поетапне старіння багатокомпонентних сплавів системи Fe-Ni-Cr-Co-Mo.

Мартенситостареющие стали в настоящее время применяются для получения деталей и узлов ответственного назначения в ракетостроении, судостроении, оборонной промышленности и других отраслях техники.

Существуют две основные группы мартенситостареющих сталей: высоконикелевые (высокопрочные) и хромоникелевые (нержавеющие), некоторые представители указанных групп представлены в таблице.

В обычных углеродистых и легированных сталях высокая прочность достигается за счет формирования углеродистого мартенсита закалки или за счет карбидного упрочнения основы сплава. Мартенситостареющие стали представляют собой совершенно иной класс высокопрочных, высоколегированных, практически безуглеродистых сталей. Содержание углерода не превышает, как правило, трех сотых процента.

Их упрочнение происходит при отпуске за счет выделения в мартенситной матрице интерметал-

лидных фаз в условиях высокой плотности дислокаций ($\approx 10^{12} \text{ см}^{-2}$).

Высокая плотность дислокаций в мартенсите обеспечивает высокие прочностные свойства, а легирование никелем, хромом, молибденом и другими элементами способствует подвижности дислокаций и облегчает их скольжение в мартенситной матрице, что обеспечивает необходимую пластичность и вязкость.

Мартенситостареющие стали легируют, помимо Ni, также Cr, Co, Mo, Ti, Al, Mn, Si, Nb, Be, W, и Ce. Роль легирующих элементов в достижении прочности не одинакова:

- Никель, хром и кобальт упрочняют твердый раствор и уменьшают предел растворимости ряда элементов (Ti, Al, Mo), в α -фазе, обеспечивая возможность получения частиц интерметаллидной фазы, содержащей Ni [1, 2, 4].
- Молибден упрочняет сталь при старении за счет выделения дисперсных частиц фаз типа Ni_3Mo , Fe_2Mo [1, 3]. Наличие молибдена в