

Значения указанных показателей следующие :

	2	3	4	5	6	7	8	9	10
η_{02}	0,7386	0,7319	0,7283	0,7199	0,7249	0,7316	0,743	0,7542	0,7654
η_{03}	0,9892	0,5428	0,5196	0,4902	0,5001	0,5139	0,5192	0,519	0,530
η_{04}	1,0643	0,775	0,6392	0,5820	0,538	0,5264	0,5184	0,518	0,5039
η_{05}	0,7849	0,713	0,580	0,553	0,5484	0,5448	0,5419	0,515	0,519

Анализ полученных результатов показывает, что минимальную себестоимость агрегата при рассматриваемой схеме технологического процесса обеспечивает членение агрегата на 9 панелей.

Л и т е р а т у р а

Совершенствование экономики и организации производства в машиностроении. Межвузовский сборник, вып. I, КуАИ, 1974.

УДК 621.791.1

Н.Б.Демкин, А.С.Шевченко,
П.А.Бордаков, А.А.Ланков

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КАСАТЕЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ ФАКТИЧЕСКОЙ ПЛОЩАДИ КОНТАКТА ПРИ СДВИГЕ

В настоящее время все большее применение находит диффузионная сварка [1], одной из стадий которой является формирование фактической площади касания в результате пластической деформации. Для интенсификации развития фактического контакта В.В.Абрамов и др. [2] предложили использовать циклическое приложение давления сжатия. Эффективность этого способа в значительной степени снижается из-за увеличения времени сварки. С другой стороны, общеизвестно, что приложение сдвигающих усилий приводит к возрастанию фактической площади контакта.

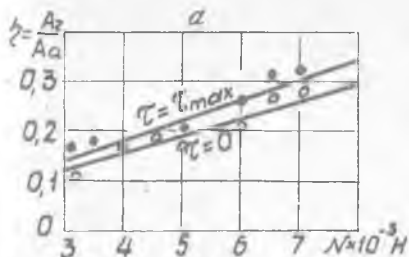
В настоящей работе исследовалось влияние сдвига на формирование площади касания в условиях сверхвысокого вакуума и температур до $+200^{\circ}\text{C}$. Исследование проводилось на алюминиевом сплаве АМг-6, титановом сплаве ВТ-14 и на меди М1.

Вакуумная камера откачивалась турбомолекулярным насосом типа ТМН-200. Величина вакуума составляла при $+20^{\circ}\text{C}$ $(4 \div 7) 10^{-6}$ тор, при $+200^{\circ}\text{C}$ $(5 \div 8) 10^{-7}$ тор. Температура измерялась непосредственно на шероховатом образце полупроводниковым терморезистором типа КМТ-14 с точностью $\pm 20\%$. Нормальная нагрузка прикладывалась и измерялась тензометрическим кольцом с точностью $\pm 8\%$, тангенциальное усилие не измерялось, но фиксировался момент достижения им максимальной величины. Контактированию подвергались шероховатые образцы из указанных материалов с жестким гладким штампом. Фактическая площадь определялась планиметрированием по сечениям. Погрешность метода составляла 16% . Шероховатость наносилась строганием и контролировалась на профилометре типа Калибр ВЭИ-201. Чистота образцов была порядка $\nabla 5 \div \nabla 6$. Эксперимент повторялся шестикратно, в некоторых точках число экспериментов повышалось с целью подтверждения хода кривой. На рисунках нанесен доверительный интервал с доверительной вероятностью 0,95.

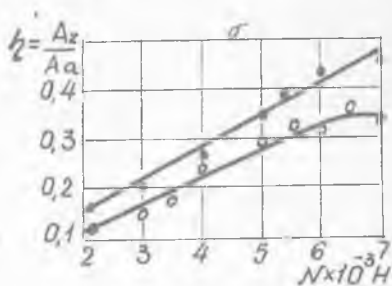
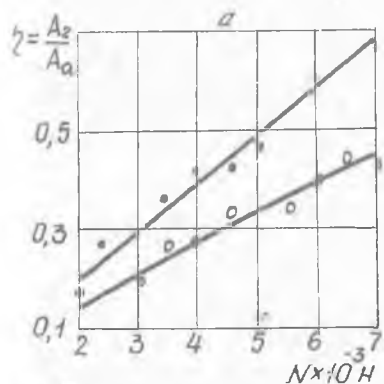
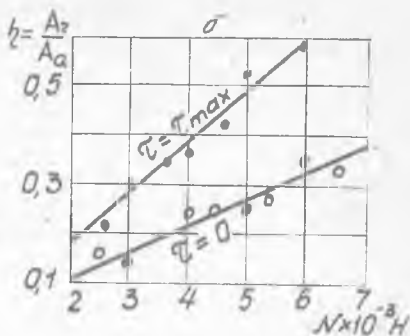
На рис. 1-3 представлены экспериментальные зависимости фактической площади контакта от нагрузки при сдвиге, когда тангенциальное усилие достигало своего наибольшего значения $\tau = \tau_{max}$, и в статике, когда $\tau = 0$. Анализ экспериментальных данных показывает, что увеличение фактической площади при сдвиге по сравнению со статикой увеличивается: для АМг-6 при $+20^{\circ}\text{C}$ - в 1,12 раза, при $+200^{\circ}\text{C}$ - 1,65 раза; для ВТ-14 при $+20^{\circ}\text{C}$ - 1,2 раза, при $+200^{\circ}\text{C}$ - 1,5 раза; для меди М1 при $+20^{\circ}\text{C}$ - 1,2 раза, при $+200^{\circ}\text{C}$ - 1,45 раза. Таким образом, при температуре $+200^{\circ}\text{C}$ площадь контакта возрастает значительно, чем при $+20^{\circ}\text{C}$.

На некоторых кривых (рис. 2, 3) наблюдается отклонение от линейного закона. Уменьшение скорости роста фактической площади контакта может быть объяснено взаимным влиянием деформации микронеровностей.

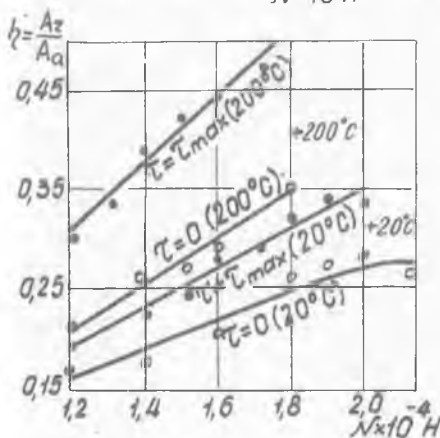
В работе [3] экспериментально доказано увеличение несущей способности микровыступов при высокой плотности пятен контакта, т.е. при $A_2/A_0 > 0,25 - 0,35$, где A_2, A_0 - фактическая и номинальная площади контакта соответственно.



Р и с.1. Зависимость относительной площади фактического контакта образцов из сплава АМГ-6 при 20(а) и 200(б)°С в глубоком вакууме ($z = A_z / A_a$)



Р и с.2. Зависимость относительной площади фактического контакта образцов из сплава ВТ-1 при 20(а) и 200(б)°С в глубоком вакууме



Р и с.3. Зависимость относительной площади фактического контакта образцов из меди М-1 при 20(а) и 200(б)°С в глубоком вакууме ($z = A_z / A_a$)

Рассмотрим теоретическую задачу смятия со сдвигом шероховатой поверхности гладкой жесткой. Будем моделировать шероховатый слой набором клиньев с углом раствора 2θ и бета-распределением по высоте с плотностью распределения

$$f(h) = \rho h^{\alpha-1} (1-h)^{\beta-1}, \quad (1)$$

где h - высота клина;
 ρ - нормирующий коэффициент;
 α, β - постоянные.

Очевидно, что

$$\rho \int_{h_{\min}}^{h_{\max}} f(h) dh = M, \quad (2)$$

где M - полное число выступов на поверхности.

Как показано в работе [4], бета-распределение наиболее полно описывает реальное распределение выступов по высоте по сравнению такими законами, как нормальное распределение, гамма-распределение, распределения Рэлея и Коши. В частности, для поверхностей, обработанных строганием по классу чистоты $\nabla 5$, $\alpha = 2,74$, $\beta = 4,17$.

При сближении поверхностей на величину a выступ с высотой h_i сминается на величину $h_i - (h_{\max} - a)$, при этом площадь контакта будет равна:

$$A_{zi} = 2 \operatorname{tg} \theta [h_i - (h_{\max} - a)] \frac{\cos \theta}{\cos \theta - \sqrt{2} \sin \gamma \sin \sigma}, \quad (3)$$

где γ - угол наклона плоскости скольжения пластической области, примыкающей к вершине клина;

σ - угол, зависящий от γ и θ .

Согласно [5], нормальное напряжение на клине

$$\sigma_i = K \left(1 + 2\theta + 2\gamma - \frac{\pi}{2} - 2\sigma + \sin 2\gamma \right), \quad (4)$$

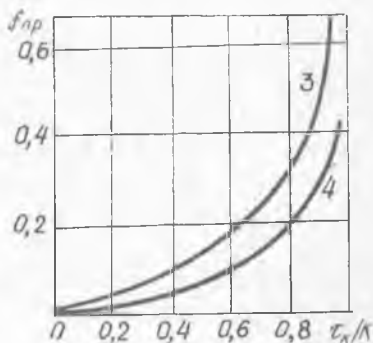
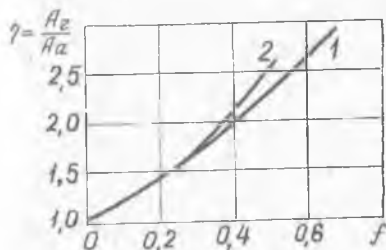
где K - пластическая постоянная.

Учитывая равенства (1) - (4), для фактической площади касания A_2 и коэффициента трения f получим:

$$A_2 = 2 \operatorname{tg} \theta \frac{\cos \theta}{\cos \theta - \sqrt{2} \sin \gamma \sin \sigma} \int_{h_{\max}-a}^{h_{\max}} [h - (h_{\max} - a)] f(h) dh; \quad (5)$$

$$f = \frac{\cos 2\gamma}{\sigma(\theta, \gamma, \sigma)}. \quad (6)$$

Уравнения (5) и (6) интегрировались на электронной вычислительной машине М-222 при $\alpha = 2,74$, $\beta = 4,17$, $\theta = 70^\circ$ и $\theta = 85^\circ$. Результаты вычислений приведены на рис. 4. Кривые 1,3



Р и с. 4. Зависимость коэффициента трения металлических поверхностей от величины касательных напряжений на контакте: 1,3 - $\theta = 70^\circ$; 2,4 - $\theta = 85^\circ$

получены при $\theta = 70^\circ$, кривые 2,4 - при $\theta = 85^\circ$.

Полученные данные показывают, что величина A_2 существенно зависит от коэффициента трения, который определяется величиной касательных напряжений на контакте τ_{κ}/κ . Присутствие на поверхности окисных и адсорбированных пленок значительно снижает отношение τ_{κ}/κ .

В проведенных экспериментах шероховатые образцы перед контактированием не подвергались какому-либо специальному воздействию (кроме пребывания в вакууме до момента выхода установки на режим, около 8 ч), следовательно, на них оставались ненарушенными окисные пленки. Кроме того, монослой адсорбированного газа на поверхности образуется при экспозиции порядка 10^{-5} тор·с [6], следовательно, кроме окисных пленок на поверхности присутствовала и адсорбированная пленка остаточных газов. В работе [6] показано значительное снижение коэффициента трения при толщине адсорбированной пленки, превышающей толщину монослоя. Отсюда становится понятным незначительное увеличение фактической площади при сдвиге по сравнению с теоретически возможным при температуре $+20^\circ\text{C}$. Увеличение

температуры до $+200^{\circ}\text{C}$ приводит к смещению динамического равновесия в сторону илиминирования поверхностных пленок. При температуре $+200^{\circ}\text{C}$ и вакууме 10^{-7} тор начинается испарение даже окисных пленок [1], что обуславливает возрастание тангенциальных напряжений на контакте и значительный рост фактической площади.

На основании изложенного материала можно сделать следующие выводы. Условия диффузионной вакуумной сварки (вакуум, большие температуры) способствуют значительному росту тангенциальных напряжений. Это позволяет рекомендовать приложение сдвигающих усилий для ускорения формирования фактической площади касания. Поскольку указанный эффект проявляется в области предварительных смещений, когда образцы смещаются относительно друг друга на величины, сравнимые с высотой микронеровностей, применение сдвигающих усилий возможно при сварке любых (даже сложнопрофильных) деталей.

Л и т е р а т у р а

1. Ко н ю ш к о в Г.В., К о п ы л о в Ю.Н. Диффузионная сварка в электронике. М., "Энергия", 1974.
2. А б р а м о в В.В., К а р а к о з о в Э.С., П е т р о в В.А. Кинетика образования соединения при сварке в твердом состоянии статическим и циклическим нагружением с подогревом. "Физика и химия обработки материалов", 1970, № 4, с. 107-113.
3. Д о б ы ч и н М.Н., Л и т в и н о в В.Я., М и х и н Н.М. Несущая способность микроконтактов при высокой плотности пятен касания. Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции. Брянск, 1976.
4. Д е м к и н Н.Б., К у р о в а М.С. Распределение выступов и впадин профиля и шероховатой поверхности. Известия вузов. "Машиностроение", № 7, 1975.
5. К о р о т к о в М.А. Влияние трения при сдвиге на механические и электрические свойства контакта металлов. Кандидатская диссертация. Калинин, 1973.
6. *Buckley. D.H. Influence of Chemisorbed Films of Various Gases on Adhesion and Friction of Tungsten. NASA, Lewis Research Center, Cleveland, Ohio, 1968.*