

УДК 621.791.14

С.Ю. Смоленский, В.Г. Поднозов

ФОРМИРОВАНИЕ Т-ОБРАЗНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ СВАРКЕ ТРЕНИЕМ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Рассмотрены основные результаты исследований формирования сварных соединений при конвенциональной сварке трением деталей разных сечений. Установлен ряд особенностей формирования Т-образных соединений, связанных с асимметрией температурного поля в деталях и перемещением поверхности трения в процессе сварки, и влияние их на качество полученных сварных соединений. Приведены результаты исследований основных параметров процесса сварки на внешний вид, макроструктуру соединения, профиль поверхности трения, ее расположение при сварке. Исследование установило оптимальные параметры режима сварки, определяющие условия формирования качественных сварных соединений стержень-фланец из прецизионного сплава 36НХТЮ (ЭИ-702). Даны рекомендации по сварке трением деталей разных сечений при отсутствии подготовки торцевой поверхности массивной детали.

Ключевые слова: стержень, фланец, сварка трением, формирование, соединение.

В производстве часто возникает необходимость сварки деталей разного сечения, при этом главной особенностью процесса сварки трением является асимметрия температурного поля в деталях вследствие различия теплопередачи в детали от поверхности трения [1]. Асимметрия температурного поля, различие градиентов температуры сказываются на протекании деформационных процессов, возникают явления, отличные от протекающих при сварке трением стержней равновеликого сечения.

С целью уменьшения асимметрии температурного поля, создания равных условий для протекания пластической деформации и обеспечения высокого качества соединений рекомендуется искусственно сводить задачу сварки асимметричного Т-образного соединения к сварке симметричного соединения путем соответствующей подготовки торцевой поверхности детали большего сечения, а также торцевать поверхность плоской детали в машине для сварки трением [1].

Однако этот вариант подготовки в ряде случаев на производстве создает определенные трудности, и в практике часто встречается необходимость сваривать детали в условиях асимметричного соединения с использованием универсальных машин для сварки трением. В связи с этим представляет определенный практический интерес исследования особенностей процесса формирования Т-соединений, разработки технологии сварки, обеспечивающей получение качественных соединений.

Исследование производилось при конвенциональной сварке трением заготовок стержень (диаметром 16 мм) + фланец (диаметром 60 мм) из прецизионного дисперсионно-твердеющего железоникелевого сплава с высокими свойствами упругости 36НХТЮ (ЭИ-702) [2].

Сварка выполнялась на универсальной машине сварки трением МСТ-23 на режимах с применением ступенчатого цикла приложения давления (с повышением давления при проковке).

В процессе выполнения экспериментов переменными параметрами являлись время нагрева (t_n) в интервале 6-36 с и давление нагрева (p_n) в интервале 60-120 МПа при постоянном давлении проковки ($p_{пр}$) 200 МПа и частоте вращения (n) 25 с⁻¹.

Образцы полученных сварных соединений (рис. 1) использовались для проведения визуального и измерительного контроля (ВИК) и металлографических исследований на

макроструктуру. При этом критериями оценки качества являлись прочностные характеристики соединений.

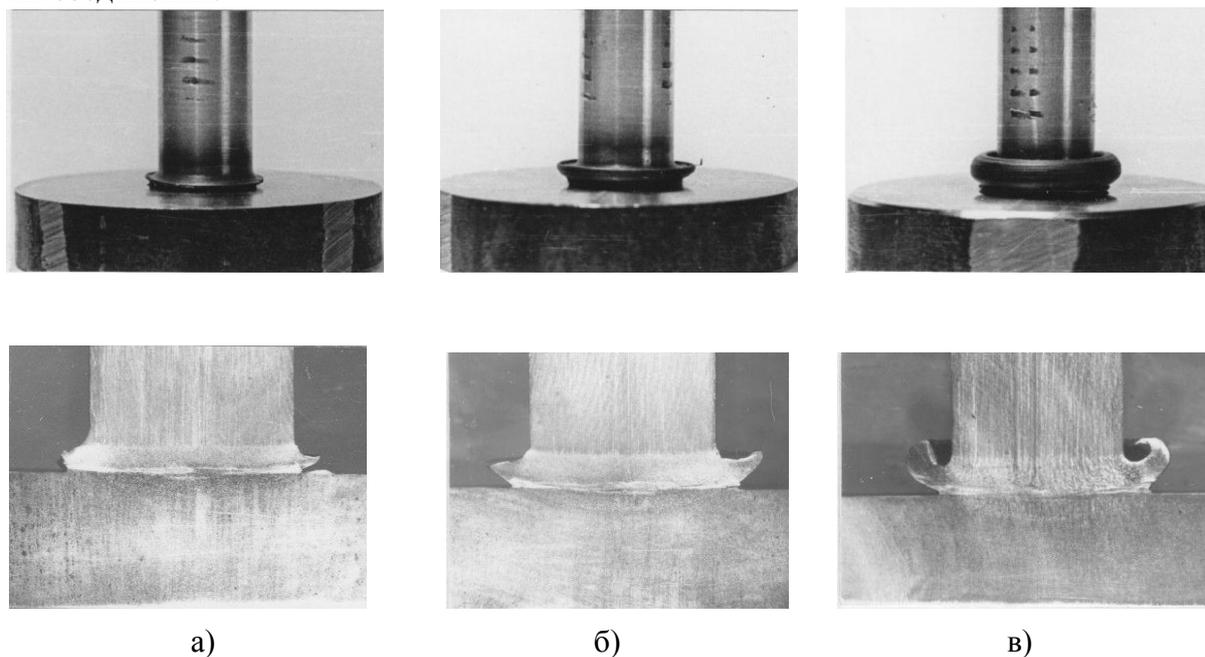


Рис. 1. Внешний вид и макроструктура сварных соединений, полученных с различной длительностью времени нагрева:
a – 6 с; *б* – 14 с; *в* – 24 с ($P_n=100$ МПа)

Исследованиями выявлено, что примерно через 3-4 с после начала нагрева и достаточного прогрева торцевой поверхности стержня и получения способности ее к деформированию между массивной деталью (большого диаметра) и торцом стержня образуется промежуточный слой (прослойка) и происходит «отслоение» воротника грата от поверхности массивной детали. Толщина слоя увеличивается с увеличением времени нагрева, одновременно наблюдается увеличение размеров воротника грата вследствие пластической деформации нагретого металла стержня. Массивная деталь (фланец) в зоне соединения не деформируется. К увеличению толщины прослойки (рис. 2) приводит также уменьшение величины давления нагрева при постоянстве остальных параметров процесса.

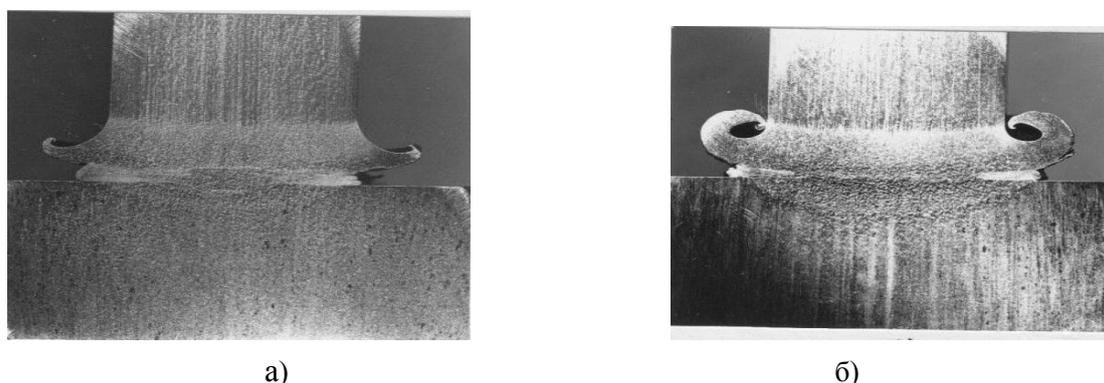


Рис.2. Макроструктура соединений, полученных при различном давлении нагрева:
a – 60 МПа; *б* – 120 МПа ($t_n = 24$ с)

Образование прослойки связано с постепенным переносом металла стержня на поверхность массивного контртела в процессе трения. Вследствие меньшего градиента температуры и более низкого уровня механических свойств более прогретого металла стержня в

нем происходит процесс глубинного вырывания частиц металла, сопровождаемый интенсивным износом, тогда как со стороны массивного тела имеет место процесс полирования поверхности с минимальным его износом. Образуется тонкий слой перенесенного от стержня металла, приваренного к сопрягаемой поверхности контртела.

Таким образом, поверхность трения, совпадающая с граничной поверхностью металлов (деталей) в начале процесса, постепенно перемещается при сварке на стадии нагрева в сторону менее нагретой детали (стержня). На рис. 3 представлена схема формирования соединения при Т-образной сварке.

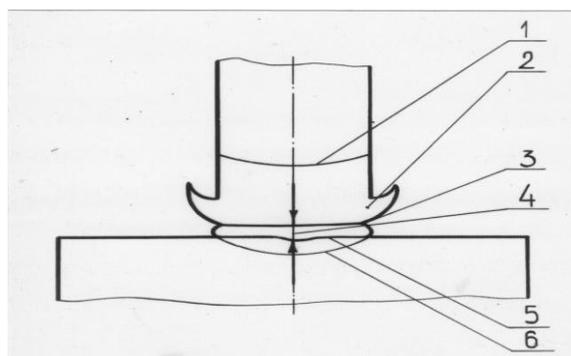
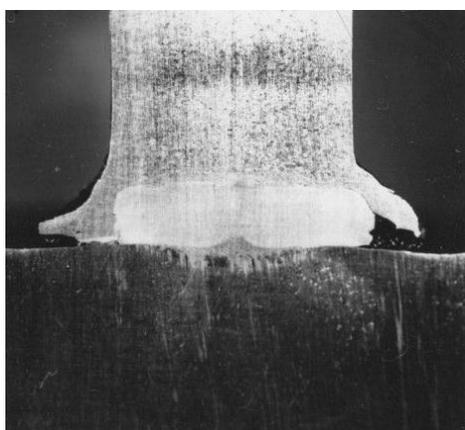


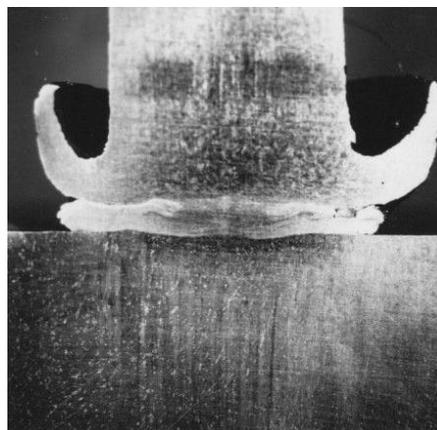
Рис.3. Схема формирования соединения при Т-образной сварке:

- 1 - граница ЗТВ стержня; 2 - грат; 3 - поверхность трения (вращения);
4 - величина перемещения; 5 - плоскость стыка (граничная поверхность металлов);
6 - граница ЗТВ массивного контртела (фланца)

Приложение давления на стадии проковки ($p_{пр}$) приводит к пластической деформации прослойки совместно с нагретыми слоями стержня. При этом уменьшается расстояние между поверхностью трения и граничной поверхностью металлов (величина перемещения), а сами поверхности становятся трудно идентифицировать. В связи с этим часть образцов подвергалась сварке с постоянным давлением $p_n = p_{пр}$, а также с прерыванием сварочного цикла на стадии нагрева через различные интервалы времени, т.е. образцы без прекращения вращения разводили, предотвращая протекания проковки и образования сварного соединения с последующим изготовлением макрошлифов и определением положения поверхности трения. В этих условиях поверхность трения и граничная поверхность металлов не подвергаются воздействию давления большего p_n , что способствует их четкому выявлению (рис. 4).



а)



б)

Рис. 4. Макроструктура соединений, полученных при сварке с постоянным давлением:

$a - 45 \text{ МПа}; \quad b - 95 \text{ МПа} \quad (t_n=30 \text{ с})$

Установлено, что с увеличением давления нагрева величина перемещения поверхности трения становится меньше, изменяется и профиль поверхности (рис. 5).

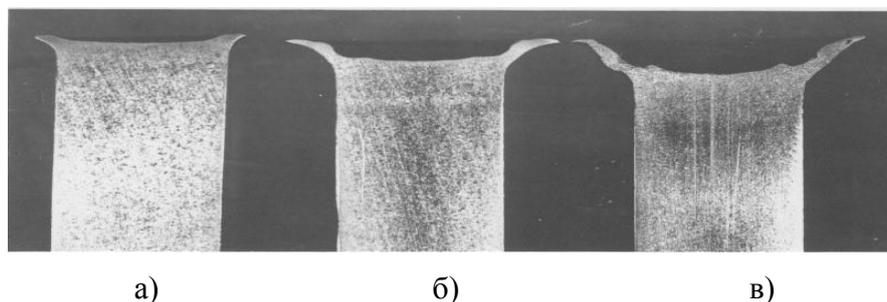


Рис. 5. Профиль поверхности трения (вращения) при различном времени нагрева:
 $a - 10 \text{ с}; \quad b - 30 \text{ с}; \quad v - 50 \text{ с} \quad (p_n=45 \text{ МПа})$

С увеличением длительности нагрева поверхность трения приобретает характерную куполообразную форму с вершиной в менее массивном стержне, а величина перемещения возрастает, постепенно приближаясь к предельному значению (рис. 6).

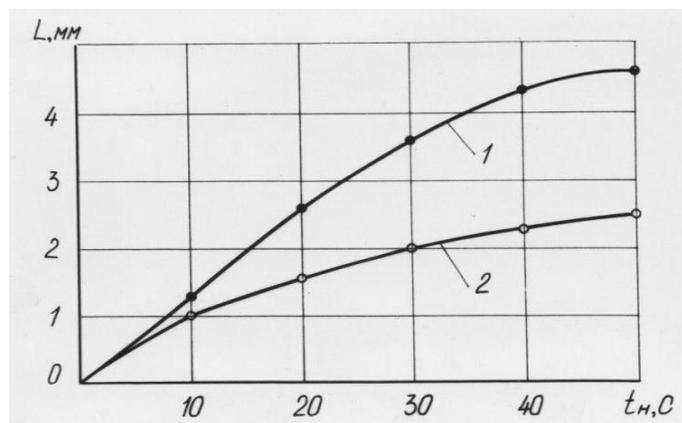


Рис. 6. Зависимость величины перемещения поверхности трения L от времени и давления нагрева:
 $1 - p_n=45 \text{ МПа}; \quad 2 - p_n=95 \text{ МПа}$

Процесс перемещения поверхности трения может быть описан следующей схемой (рис. 7). Как уже было отмечено, при сварке трением стержней разных диаметров температурное поле относительно поверхности трения в начале процесса будет асимметричным. Нагретые слои металла с наиболее высокой температурой относительно поверхности трения расположены со стороны менее массивного тела. При этом имеет место отрицательный градиент механических свойств по глубине от поверхности трения. Далее со стороны стержня большего диаметра слои металла, расположенные вне зоны поверхности трения и менее нагретые, затрудняют деформацию металла, т.е. со стороны менее массивного тела (стержня) имеет место меньшее сопротивление пластической деформации.

В результате поверхность трения (вращения), в начальный момент процесса сварки совпадающая с граничной поверхностью металлов (плоскость стыка), перемещается в сторону стержня меньшего диаметра (менее массивного) до момента устранения влияния массивного стержня и возникновения симметричного температурного поля.

Особенности сварки трением Т-образных соединений непосредственно отражаются на качестве соединений. Полученные результаты свидетельствуют, что при сварке на «мягких»

режимах с давлением нагрева (p_H), равным 60 МПа и менее, наблюдается кольцевой непровар по периферии сечения. Увеличение времени нагрева выше величины, характерной для начала процесса интенсивного отхода воротника грата от поверхности массивного стержня, практически не дает положительных результатов. Разрушение соединений при испытании на статическое растяжение происходит в зоне стыка по граничной поверхности металлов, при этом временное сопротивление ниже нормируемой величины для сплава 36НХТЮ (590- 690 МПа) в состоянии закалки [2].

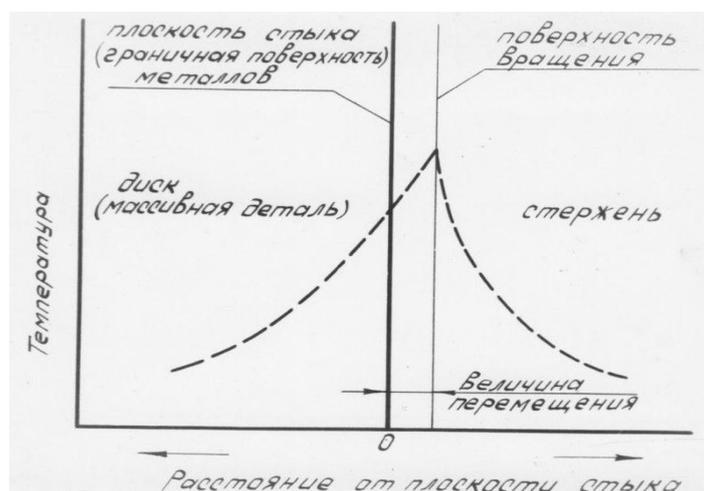


Рис. 7. Схема процесса перемещения поверхности трения (вращения) при сварке

Наличие кольцевого непровара даже при значительном времени нагрева (t_H) следует объяснить образованием первоначального тонкого слоя перенесенного металла на сопряженной поверхности массивного стержня. В дальнейшем перенос металла происходит на ранее образованный слой, не затрагивая зону сцепления (граничную поверхность металлов), образующуюся в начальный период сварки. Процесс сварки заканчивается образованием соединения между «наваренным» в процессе стадии нагрева слоем металла и менее массивным стержнем по поверхности трения.

В работе [1] рекомендуется производить сварку Т-образных соединений при давлении, как и в случаях сварки симметричных соединений. Однако более рациональным следует считать при сварке Т-образных соединений применение более жестких режимов нагрева с форсированным давлением нагрева 100-120 МПа. Увеличение давления нагрева на 15-20%, по сравнению со сваркой стержней равного сечения, позволяет интенсифицировать протекающие термомодеформационные процессы на стадии нагрева.

Увеличение давления нагрева приводит к более интенсивному образованию грата в начальный период сварки, что способствует смещению зоны низких нормальных давлений за пределы исходного сечения стержня меньшего диаметра в грат, выравниванию эпюры нормальных давлений и увеличению поверхности трения. Соответственно возрастают размеры граничной поверхности металлов, по которой происходит образование соединения переносимого слоя металла стержня с контртелом.

Непровар практически исчезает, а прочность соединения возрастает. Так, увеличение давления с нагрева с 60 до 120 МПа обеспечило повышение временного сопротивления с 540 до 650 МПа и выход его на уровень нормируемых значений для закаленного сплава. Разрушение соединений происходит с вырывом металла массивного тела.

Полученные результаты позволили оптимизировать сварку трением Т-образных соединений и подтвердили возможность реализации данной технологии при сварке дисперсионно-твердеющих сплавов.

Библиографический список

1. Вилль, В.И. Сварка металлов трением / В.И. Вилль. – Л.: Машиностроение, 1970. – 176 с.
2. Прецизионные сплавы: справочник / под ред. Б.В. Молотилова. – М.: Металлургия, 1983. – 439 с.

*Дата поступления
в редакцию 11.12.2014*

S. Smolenskiy, V. Podnozov

T JOINTS FORMING UNDER SPIN WELDING

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

Purpose: This Article covers the key findings related to the process of forming of weld joints under conventional spin welding of parts of different cross-sections.

Findings: A number of specific features of T-joints forming has been established, that are related to temperature field asymmetry in parts, movement of friction surface while welding, as well as common quality impact on the weld joints produced. The Article cites the research results concerning the basic welding parameters regarding their impact on the joint layout, macrostructure, friction surface profile and its position while welding.

Originality/value: The study determines the optimal welding condition parameters, as well as governing conditions of forming of high quality weld joints of rod and flange made of precision alloy 36НХТЮ (ЭИ-702). The study also gives recommendations for spin welding of parts of different cross-sections without pretreatment of the solid part butt end.

Key words: rod, flange, spin welding, forming, joint.