МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УДК 621.77

Поступила 20.03.2013

В. В. ПЕТРЕНКО, Физико-технический институт НАН Беларуси

ДЕФОРМАЦИОННАЯ ОБРАБОТКА ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ В ПРОЦЕССЕ ПОЛУЧЕНИЯ БИМЕТАЛЛОВ ПРИ ПОПЕРЕЧНО–КЛИНОВОЙ ПРОКАТКЕ

Рассмотрены особенности получения биметаллических деталей при совмещении процессов литья поперечно-клиновой прокатки. Показана возможность изготовления полых деталей типа «ВАЛ» в процессе прокатки двух деталей из разных сталей, а именно литой втулки и материала-основы. Установлено, что процесс сваривания деталей происходит за счет высоких сжимающих напряжений на границе соприкосновения двух разнородных металлов. В результате по всей площади контакта образуется сварное соединение, прочность которого превышает 34% от прочности стали 45 и, судя по микроструктуре, может достигать ее.

The peculiarities of production of bimetallic parts while combining molding processes of cross-wedge rolling are considered. The possibility of manufacturing of a hollow items such as «shaft» in the process of rolling of two different steel parts, namely molded bushing and the base material was shown. It is established that the process of the parts welding occurs due to the high compressive stresses on the interface between two dissimilar metals. As a result along the whole contact area formed a welded joint, the strength of which exceeds 34% of the strength of the steel 45 and judging the microstructure can reach it.

Введение

Существует ряд способов литья, которые позволяют получать полые заготовки. Одним из наиболее эффективных методов является центробежное литье. Благодаря ему возможно получение полых заготовок, которые впоследствии находят свое применение в различных отраслях машиностроения. Однако у данного способа есть недостаток, присущий всем методам литья: невозможность использования литых заготовок в ответственных конструкциях без дополнительных операций, таких, как термообработка, обработка давлением и др.

Зачастую к ответственным деталям (валы, оси, пальцы) предъявляют высокие требования в сопротивлении переменным нагрузкам, кручении, износостойкости и т. д. Это ведет к тому, что полученные литьем детали требуют дальнейших операций, повышающих их эксплуатационные свойства.

Разработанный в ФТИ НАН Беларуси способ получения слоистых деталей позволяет совмещать в одном процессе ряд операций: термообработку, обработку давлением и сварку.

Суть процесса заключается в том, что полученную центробежным литьем трубчатую заготовку помещают на центральный стержень-основу из недорогого материала. Далее в процессе поперечно-клиновой прокатки (ПКП) происходит как формообразование детали, деформационная сварка трубчатой заготовки и центрального стержня, так и измельчение зерен литой втулки под действием высоких сжимающих напряжений и деформаций, которые передает клиновой инструмент вращающейся нагретой детали.

ПКП является одной из областей машиностроения, к которой в последнее время проявляется повышенный интерес. Вызвано это возможностью решения актуальной проблемы по снижению удельной металлоемкости заготовки, существенному сокращению отходов и потерь металлопродукции за счет замены технологических процессов, основанных на резании металла, экономичными методами формообразования деталей, позволяющего использовать металлопрокат с минимальными отходами [1]. ПКП по сравнению с точением валов на токарных автоматах позволяет в 10 раз и более увеличить производительность труда, на 30 – 60 % уменьшить норму расхода металла на получение аналогичной детали [2]. В качестве исходной заготовки могут применяться прутки с круглым, квадратным и шестигранным сечением. Методом ПКП могут обрабатываться практически все конструкционные стали, ряд цветных и жаропрочных сплавов.

В Физико-техническом институте НАН Беларуси разработан и запатентован [3] способ получения сварных слоистых осесимметричных деталей.



Рис. 1. Заготовки (*а*) и сборка перед прокаткой (*б*): *1* – центральный стержень из материала-основы стали 45; *2* – тонкостенная втулка из стали 12ХН3А

Процесс получения деталей типа ВАЛ методом ПКП

Сущность метода получения деталей типа ВАЛ методом ПКП заключается в том, что в поверхностных слоях возникают высокие сжимающие напряжения и значительные накопленные деформации, вследствие чего разнородные материалы втулки и материала-основы свариваются между собой (рис. 1).

При сварке поперечно-клиновой прокаткой соединение образуется в условиях принудительного деформирования и малой длительности циклического взаимодействия при вращении заготовки в процессе прокатки. Вначале происходит смятие микронеровностей и увеличение контактных поверхностей, что ведет к утончению и частичному разрушению оксидных пленок. В отдельных местах контакта между поверхностями образуются участки схватывания, между которыми остаются полости, содержащие газы. Возможность дальнейшего увеличения числа и площади участков схватывания определяется развитием процесса адсорбции остаточных газов металлом. При дальнейшей пластической деформации по мере поглощения газа металлом участки схватывания расширяются, формируются зоны взаимодействия, граница соединения превращается в непрерывную межфазную границу.

Образование соединения заканчивается схватыванием контактных поверхностей и релаксацией напряжений в той мере, в какой это необходимо для сохранения образовавшихся межатомных связей.

Еще одна особенность метода ПКП в том, что можно получать детали типа ВАЛ, состоящих из двух и более слоев разнородных металлов, а именно слоистые валы с высокими эксплуатационными свойствами и более низкой себестоимостью ввиду того, что не вся деталь, а только наружный слой делается из более дорогого и качественного металла с требуемыми свойствами (рис. 2).

Сварка между слоями происходит по поверхности их контакта за счет действия высоких пластических деформаций. В результате получается сплошная осесимметричная деталь с поверхностным слоем из металла с требуемыми свойствами.

Структурные исследования образцов двухслойных валов и испытание их на прочность

В отличие от традиционного процесса сварки с расплавлением металла в нашем случае толщина сварного шва не превышает 5 мкм. Изучение свойств такого шва, несомненно, представляет как научный, так и практический интерес.

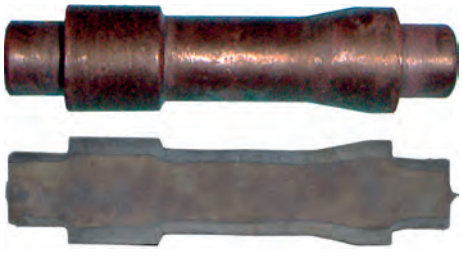


Рис. 2. Сплошной двухслойный вал с внешним слоем из стали 12ХН3А и внутренним слоем из стали 45

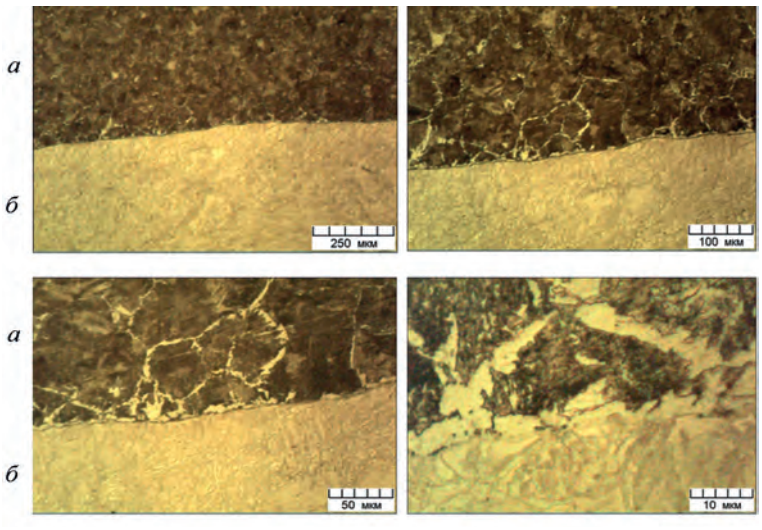


Рис. 3. Микроструктура сварного шва: *а* – сталь 45; *б* – сталь 12ХН3А

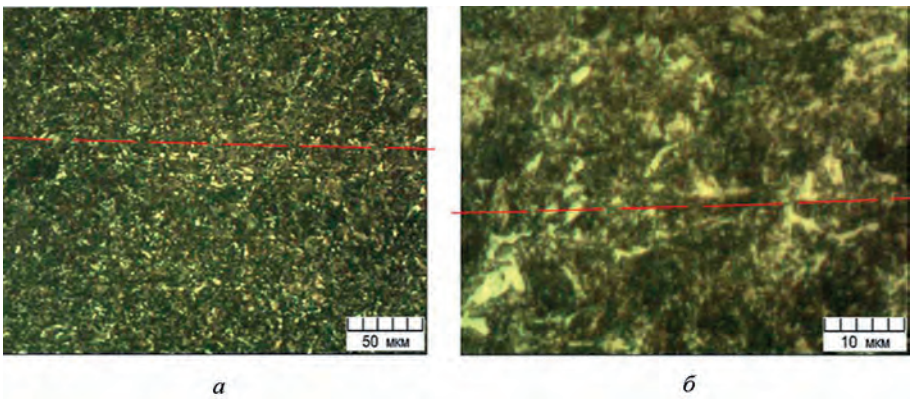


Рис. 4. Микроструктура сварного шва при ПКП двухслойной заготовки стали 45

На рис. 3 показан сварной шов сталей 45 и 12ХН3А.

В процессе ПКП при деформационной сварке одноименных металлов сварное соединение достигает равной прочности основному материалу. В этом случае структура зоны соединения не отличается от структуры основного материала (рис. 4). Для этого в зоне контакта должны образовываться общие для соединяемых материалов зерна. Это возможно за счет миграции границ зерен, осуществляемой либо путем первичной рекристаллизации, либо путем собирательной рекристаллизации [4].

Для выявления прочности полученного соединения были проведены испытания на разрыв и срез (рис. 5).

Из полученных поковок были изготовлены образцы для испытаний (рис. 6). Из различных частей поковок вырезали образцы прямоугольного сечения, после чего полуавтоматической электродуговой сваркой приваривали оснастку, необходимую для фиксации образцов в испытательной машине (рис. 6, *а*). Данные образцы проходили испытания для проверки прочности на разрыв. Для испытания на срез был подготовлен образец круглого сечения, который впоследствии также приваривали к оснастке (рис. 6, *б*).

Для испытаний брали образцы двухслойные из стали 45 (внутренний слой) и стали 12ХН3А (внешний слой).

Сталь 12ХН3А относится к группе ограниченно свариваемых сталей, сталь 45 – трудносвариваемая и требует предварительного подогрева с последующей термообработкой после сварки. В данном исследовании сварка была произведена с отступлениями от технологического режима сварки данного класса сталей, так как целью исследования было предварительное выявление прочностных характеристик соединения.

Сварку производили проволокой диаметром 0,8 мм (08Г2С) на токе 120 А в среде углекислого газа. Так как внешний слой образца из стали 12ХН3А имеет небольшую толщину (около 2 мм) (в случае испытания на разрыв), дуга зажигалась на стержне оснастки и с минимальным проплавлением образца проводили процесс сварки. В случае образца для испытания на срез данная проблема не возникала, так как исключалось проплавление исследуемого слоя.

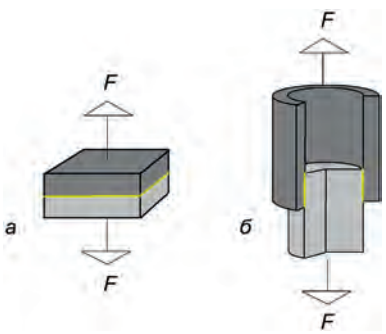


Рис. 5. Эскизы образцов для испытаний сварного соединения: *а* – на разрыв; *б* – на срез

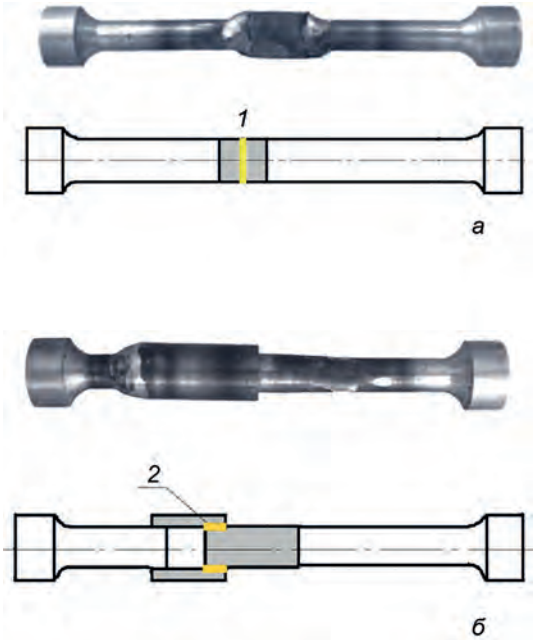


Рис. 6. Образцы для испытаний и их эскизы: *а* – на разрыв; *б* – на срез; *1*, *2* – швы деформационной сварки

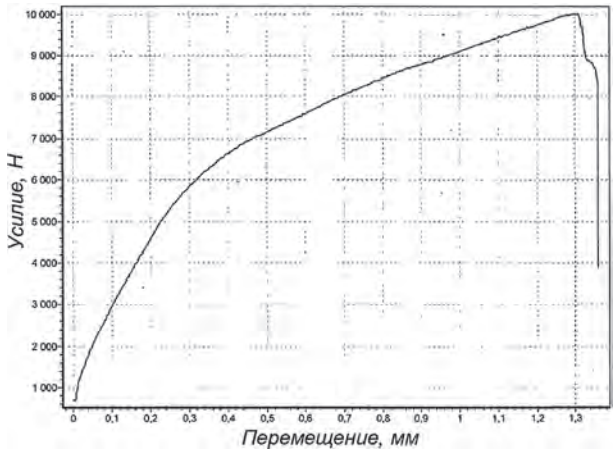


Рис. 7. Зависимость прочности деформационного шва от прикладываемой нагрузки при испытании на разрыв

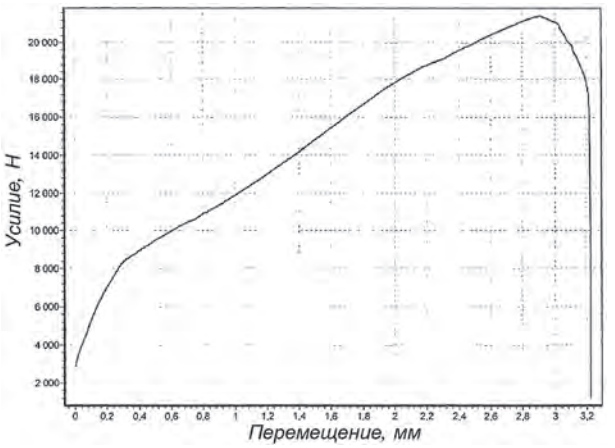


Рис. 8. Зависимость прочности деформационного шва от прикладываемой нагрузки при испытании на срез

Площадь контакта между исследуемыми слоями образцов составляла: при испытании на разрыв – 72 мм^2; при испытании на срез – 141 мм^2.

Испытания проводили на разрывной машине ИР 5143-200-11 при температуре образцов 20 °С, скорость растяжения 1 мм/мин.

В результате испытаний произошло разрушение электросварных швов между исследуемыми образцами и оснасткой при незначительном сужении сечения шейки оснастки с обеих сторон образцов (как при испытании на разрыв, так и на срез), которое составило 1%. Исследуемые образцы деформационной сварки, выдержав приложенную нагрузку, остались без изменений.

При испытании на разрыв разрушение электросварного шва, соединяющего образец и оснастку, произошло при усилии 8330 Н (напряжение 115,69 МПа) (рис. 7). Деформационный сварной шов выдержал нагрузку 10000 Н при площади контакта 72 мм^2, напряжение при этом составило 139 МПа.

При испытании на срез разрушение сварного шва, соединяющего образец и оснастку, произошло при усилии 10940 Н (напряжение 173,89 МПа) (рис. 8). Деформационный сварной шов выдержал нагрузку 21500 Н при площади контакта 141 мм^2, напряжение при этом составило 338 МПа.

Для сравнения был проведен разрыв сплошного образца из стали 45; предел прочности стали составил 430 МПа.

В результате проведенных испытаний установлено, что прочность исследуемого деформационного шва между сталями 45 и 12ХН3А превышает прочность сварных соединений, выполненных полуавтоматической электродуговой сваркой.

Для установления истинных значений прочности деформационного шва необходима корректировка проведения испытаний: изготовление образцов с меньшей площадью контакта между слоями, сварку образца и оснастки необходимо выполнять с соблюдением технологических режимов, проведение динамических испытаний.

Выводы

1. Проведенные эксперименты показали, что ПКП позволяет получать сварные детали, состоящие из двух или более слоев как однородных, так и разнородных сталей.

2. В результате прокатки зона соединения представляет собой линию, что идеально подходит для последующей обработки давлением полученных предварительно отформованных заготовок (получение аналогичной линейной структуры представляет собой определенные сложности при сварке взрывом (как схожий процесс получения сварного соединения в твердой фазе), в результате которой зона соединения представляет собой волну, где два слоя механически блокируют друг друга).

3. Прочность деформационного сварного шва сталь 45 – сталь 12ХН3А, полученного поперечно-клиновой прокаткой, превышает 34% от прочности стали 45 и, судя по микроструктуре, может достигать ее; для определения точного значения прочности шва необходимы дополнительные испытания по скорректированной методике.

Литература

1. К о ж е в н и к о в а, Г. В. Развитие теории и технологии формообразования осесимметричных ступенчатых деталей поперечной прокаткой / Г. В. Кожевникова. Минск: Белорусская наука, 2005.

2. Щ у к и н, В. Я. Основы поперечно-клиновой прокатки / В. Я. Щукин. Минск: Наука и техника, 1986.

3. Заявка на Пат. РБ №a20081431 от 13.11.2008 г. Способ изготовления осесимметричных деталей с поверхностными слоями.

4. С е в е р д е н к о В. П., Г у р с к и й Л. И. Структура в объеме и на поверхности прокатанных материалов. Минск: Наука и техника, 1972.