

Машиностроение

УДК 621.81

УГЛОВАЯ ТОЧНОСТЬ ПРОФИЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

А.Ф. Денисенко, Д.В. Назаров, И.К. Рыльцев

Самарский государственный технический университет

443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

E-mail: ask@samgtu.ru

Рассматривается методика определения угловой точности профильных соединений с зазорами и с переходными посадками. Определены участки профиля, требующие особого контроля точности при изготовлении. Оценено влияние погрешностей профиля на угловую точность соединения.

Ключевые слова: *соединение, профиль, угол поворота, точность изготовления, зона контакта, погрешность профиля.*

В узлах машин одними из наиболее ответственных соединений являются разъемные соединения для передачи крутящего момента. К ним предъявляются высокие требования по усталостной прочности, долговечности и др. В настоящее время в машинах разного функционального назначения для передачи крутящего момента наибольшее применение находят шлицевые и шпоночные соединения. Однако весьма перспективным является использование для таких целей профильных бесшпоночных соединений (ПБС), сопряжение деталей в которых осуществляется по гладким цилиндрическим или конусообразным поверхностям, имеющим в поперечном сечении некруглый профиль.

К основным эксплуатационным преимуществам ПБС перед шлицевыми и шпоночными можно отнести следующие: вес профильных валов может быть сокращен до 40 % и более (особенно при использовании пустотелых валов); длина ступицы может быть сокращена до 10 %; более высокая долговечность (особенно при знакопеременных нагрузках) за счет отсутствия острых углов, канавок и резких переходов профиля; меньшие энергозатраты на совершение работы по передаче крутящего момента и т. д.

Кроме того, трехгранные ПБС автоматически центрируются под нагрузкой, так как зазоры в соединении при приложении момента выбираются равномерно с трех сторон, что приводит уменьшению шума и вибраций при работе.

В работе [1] убедительно показаны достоинства профильных валов по ряду технико-экономических показателей по сравнению со шпоночными и шлицевыми: по изгибной жесткости, максимальному прогибу вала на единицу длины, по надежно-

Александр Федорович Денисенко (д.т.н., проф.), заведующий кафедрой «Автомобили и станочные комплексы».

Денис Викторович Назаров, аспирант.

Игорь Константинович Рыльцев (д.т.н.), профессор.

сти, по максимальному действующему изгибающему моменту, показателям прочности, жесткости, веса на единицу длины и площади сечения вала. Там же приведены данные по сравнению ПБС со шлицевыми и шпоночными соединениями по усталостной прочности, износу, весовым характеристикам.

Профильные соединения могут быть выполнены с гарантированным зазором или натягом, а также с переходными посадками. В цилиндрических профильных соединениях с зазором допускаются относительные осевые перемещения деталей как при отсутствии нагрузки от передаваемого крутящего момента, так и под действием нагрузки.

Профильные соединения эффективно используются не только для передачи большого крутящего момента, но и для точной передачи вращательного движения при относительно небольшом крутящем моменте. Кроме того, их можно применять в реверсивных механизмах.

Различают ПБС с четным и нечетным числом граней сопрягаемых деталей. Контуры сечения детали с нечетным числом граней обладает свойством равноосности: постоянством расстояния («диаметра») D между двумя параллельными и касательными к контуру прямыми, которое не зависит от угла поворота контура относительно параллельных касательных. Свойством равноосности обладают все контуры с нечетным числом граней, но лишь трехгранный контур самоцентрируется под воздействием нагрузки. Последний называют равноосным контуром (РК), а соответствующее соединение – РК-профилем.

Наибольшее распространение получили трехгранные и четырехгранные профильные соединения.

Трехгранные профильные соединения рекомендуется применять как неподвижные при передаче крутящего момента, четырехгранные – как подвижные, допускающие передачу крутящего момента и осевое перемещение втулки относительно вала.

Возможность расширения использования ПБС в прецизионных узлах и механизмах станков требует обеспечения не только минимальных отклонений от параллельности осей собираемых деталей, то и достижения требуемой угловой точности. Особенно это актуально для прецизионных механизмов, работающих в реверсном режиме.

В соединениях с зазорами и с переходными посадками при изменении направления вращения элементы ПБС имеют возможность дополнительного поворота до момента касания профилей вала и втулки. Сложность определения этого угла определяется его зависимостью от величины диаметрального зазора в соединении, его расположением в поле допуска и криволинейностью контактирующих профилей. Эти обстоятельства делают изначально неопределенными координаты точек профиля, в которых произойдет контакт.

Примем за исходное положение вала и втулки ПБС, когда возможный зазор распределяется симметрично по профилю (рис. 1).

В общем случае угловая точность ПБС будет определяться углом поворота θ в пределах имеющегося диаметрального зазора (при приложении минимального крутящего момента) (см. рис. 1).

Однако поскольку углы поворота точек профиля вала до касания с профилем отверстия θ при повороте вала вследствие криволинейности контуров будут различными и зависят от текущих координат, то поворот вала будет определяться касанием точек, для которых $\theta \rightarrow \min$.

В соответствии с ОСТ 92-4742-86 в полярной системе координат

$$\begin{cases} R = \sqrt{(D/2 - E \cos t)^2 + (NE \sin t)^2}; \\ \varphi = t/N + \arctg(NE \sin t / (D/2 - E \cos t)), \end{cases} \quad (1)$$

где D – условный диаметр профильного соединения:

$$D = (D_1 + D_2)/2;$$

D_1 и D_2 – диаметры вписанной и описанной окружностей;

E – эксцентриситет кривой (основной параметр некруглого профиля):

$$E = (D_2 - D_1)/4;$$

N – число граней соединения;

t – независимый параметр, рад ($0 \leq t \leq 2\pi N$).

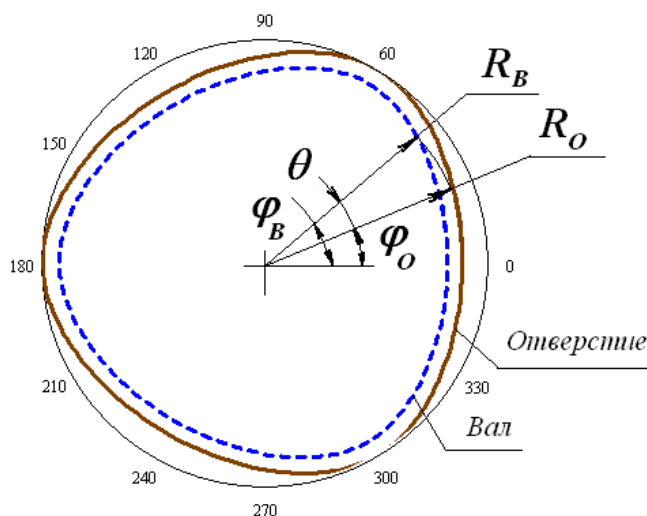


Рис. 1. Исходное положение вала и отверстия в соединении при симметричном распределении зазора по профилю

Для стандарта ОСТ 92-4742-86 величина эксцентриситета E выбрана из условия возможности обработки профиля отверстия втулки цилиндрическим инструментом с наружным диаметром $D_H = D/2$:

– для трехгранного профиля ($N = 3$)

$$E = D/32;$$

– для четырехгранного профиля ($N = 4$)

$$E = D/60.$$

Диаметры D_1 и D_2 вписанной и описанной окружностей контурной кривой определяются по формулам:

$$D_1 = D - 2E; \quad D_2 = D + 2E.$$

Подставив в уравнения (1) значения $E = D/32$ и $N = 3$ для трехгранного профиля РК-3, получим

$$\begin{cases} R = \frac{D}{32} \sqrt{(16 - \cos t)^2 + (3 \sin t)^2}; \\ \varphi = t/3 + \arctg(3 \sin t / (16 - \cos t)). \end{cases} \quad (2)$$

С учетом необходимости обеспечения в соединении требуемых посадок сборка соединения осуществляется из деталей, параметры которых могут меняться в пределах допуска. Таким образом,

– для отверстия:

$$\begin{cases} R_O = \frac{D_O}{32} \sqrt{(16 - \cos t_O)^2 + (3 \sin t_O)^2}; \\ \varphi_O = t_O/3 + \arctg(3 \sin t_O / (16 - \cos t_O)), \end{cases} \quad (3)$$

– для вала:

$$\begin{cases} R_B = \frac{D_B}{32} \sqrt{(16 - \cos t_B)^2 + (3 \sin t_B)^2}; \\ \varphi_B = t_B/3 + \arctg(3 \sin t_B / (16 - \cos t_B)), \end{cases} \quad (4)$$

где $D_O = D + \Delta_O$;

$D_B = D - \Delta_B$ (т. к. рассматриваем только соединения с зазором);

Δ_O ; Δ_B – отклонения отверстия и вала соответственно, определяемые допусками на изготовление.

Из равенства $R_O = R_B$ находим связь параметров t_B и t_O :

$$t_B = \arccos(-2 \pm \frac{1}{2} \sqrt{B}), \quad (5)$$

$$\text{где } B = 16 + \frac{1}{2} \left[265 - \left(\frac{D_O}{D_B} \right)^2 (265 - 32y - 8y^2) \right]; \quad y = \cos t_O.$$

Подставив найденное значение t_B (выражение (5)) в формулу (4), получим зависимость $\varphi_B = f(t_O)$ и искомый угол поворота:

$$\begin{aligned} \theta = \varphi_B - \varphi_O = \frac{1}{3} \arccos(-2 \pm 0,5\sqrt{B}) + \arctg \frac{3\sqrt{-3 \pm 2\sqrt{B} - 0,25B}}{18 \mp 0,5\sqrt{B}} - \\ - \frac{t_O}{3} - \arctg \frac{3 \sin t_O}{16 - \cos t_O}. \end{aligned} \quad (6)$$

Условие $\theta \rightarrow \min$ будет выполняться для значения t_O , находимого из уравнения

$$\frac{d(\theta)}{dt_O} = 0,$$

или

$$\begin{aligned} \frac{1,5(18 \mp 0,5\sqrt{B})}{\sqrt{-3 \pm 2\sqrt{B} - 0,25B}} \left(\pm \frac{1}{\sqrt{B}} - \frac{1}{4} \right) \cdot \frac{dB}{dt_O} \pm \frac{3}{4\sqrt{B}} \sqrt{-3 \pm 2\sqrt{B} - 0,25B} \cdot \frac{dB}{dt_O} \mp \\ \mp \frac{(18 \mp 0,5\sqrt{B})^2 + 9(-3 \pm 2\sqrt{B} - 0,25B)}{12\sqrt{B - B(-2 \pm 0,5\sqrt{B})^2}} \cdot \frac{dB}{dt_O} - \frac{1}{3} - \frac{3(16 \cos t_O - 1)}{(16 - \cos t_O)^2 + 9(\sin t_O)^2} = 0. \end{aligned} \quad (7)$$

Решение полученного уравнения осуществлялось численным методом с использованием пакета Mach Cad.

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что величина угла θ изменяется пропорционально величине исходного зазора в соединении (рис. 2).

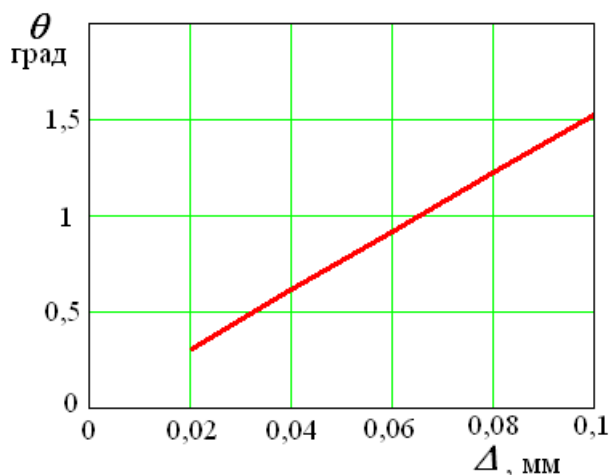


Рис. 2. Зависимость изменения угла θ от величины зазора в соединении
($D = 40$ мм; $\Delta_O = \Delta_B = \Delta$)

По рекомендациям [2] точность изготовления элементов соединения с треугольным равноосным контуром поперечного сечения: вал по размеру D при неподвижном соединении – k6; при подвижном соединении (без нагрузки) – g6 или h6; втулка по размеру D при любом соединении H7.

Анализ влияния точности изготовления вала и отверстия на угловую точность соединения был выполнен на примере трех РК-3 соединений: соединения $D = 40$ мм с посадкой H7/h6 ($\Delta_{O\max} = 0,025$ мм; $\Delta_{B\max} = 0,016$ мм); соединения $D = 30$ мм с посадкой H7/h6 ($\Delta_{O\max} = 0,021$ мм; $\Delta_{B\max} = 0,013$ мм) и соединения $D = 20$ мм с посадкой H7/h6 ($\Delta_{O\max} = 0,021$ мм; $\Delta_{B\max} = 0,013$ мм). На рис. 3 и 4 приведены графики изменения угла θ при сборке соединения при различных размерах вала и отверстия (в пределах допуска) при сохранении постоянства диаметрального зазора $\Delta_O + \Delta_B = 0,015$ мм.

Из приведенных графиков следует, что смещение зазора в верхнюю часть поля допуска ведет к снижению угла θ . Причем интенсивность снижения увеличивается с уменьшением диаметра соединения.

Расчеты показывают, что в зависимости от соотношения действительных размеров D_O и D_B (при отклонениях Δ_O и Δ_B в пределах допуска) зона контакта располагается в следующих диапазонах углов φ_O и φ_B (для первого квадранта):

- для $D = 20$ мм: $\varphi_{O\text{кас}} = 39,186612^\circ \dots 39,395944^\circ$; $\varphi_{B\text{кас}} = 39,495078^\circ \dots 39,704991^\circ$;
- для $D = 40$ мм: $\varphi_{O\text{кас}} = 39,289850^\circ \dots 39,415033^\circ$; $\varphi_{B\text{кас}} = 39,476036^\circ \dots 39,602423^\circ$.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что независимо от диаметра соединения при малых передаваемых крутящих моментах особое внимание при контроле точности изготовления профиля должно уделяться участкам с углами (в полярной системе координат) $39^\circ \dots 40^\circ$; $159^\circ \dots 160^\circ$ и $279^\circ \dots 280^\circ$.

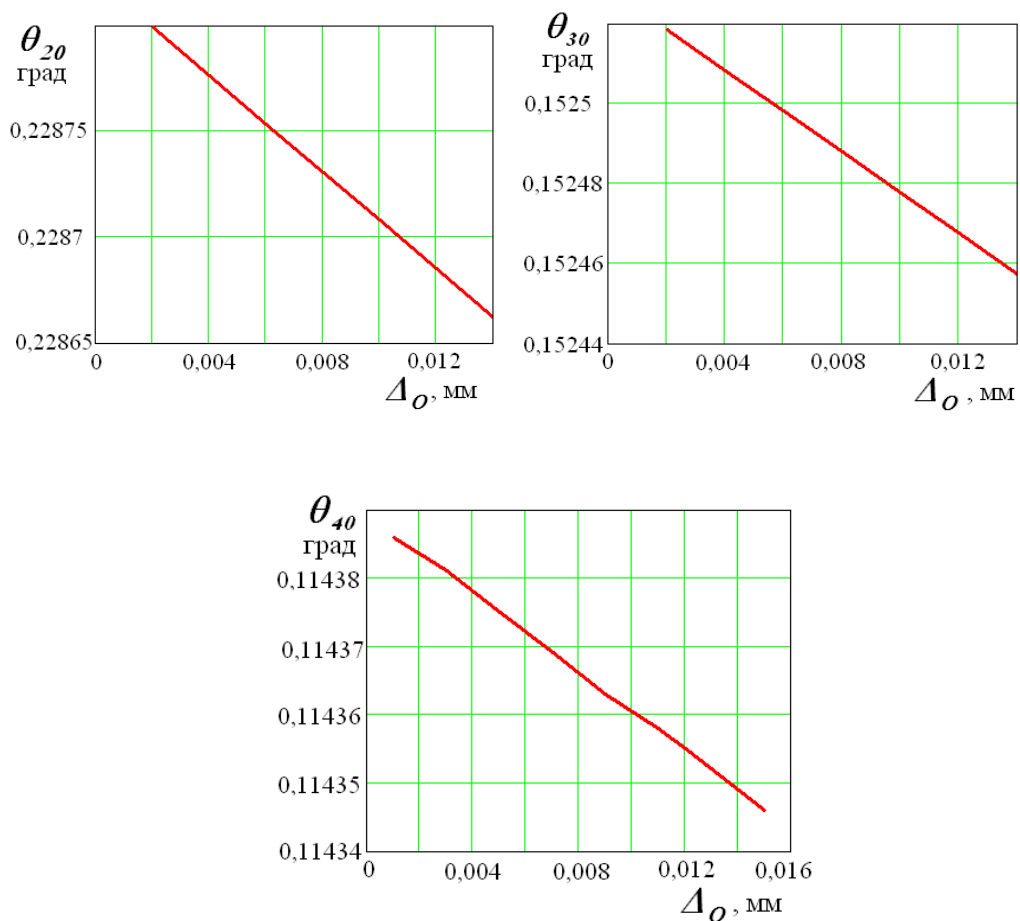


Рис. 3. Изменение угла θ соединения ($\theta_{20}; \theta_{30}; \theta_{40}$ при $D=20; 30; 40$ мм соответственно) при сохранении постоянства диаметрального зазора $\Delta_O + \Delta_B = 0,015$ мм

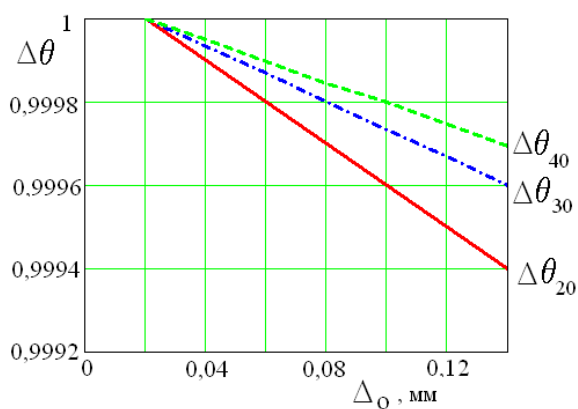


Рис. 4. Сравнение изменения угла θ для различных диаметров соединения при сохранении постоянства диаметрального зазора $\Delta_O + \Delta_B = 0,015$ мм ($\Delta\theta = \frac{\theta}{\theta_{\Delta_0=0,002}}$)

В случае, когда диаметральный зазор в соединении неравномерный, то есть зависит от параметра t , касание вала и отверстия не может произойти одновременно по трем точкам.

Отнесем погрешности формирования зазора к валу. Таким образом, $\Delta_O = const$, а $\Delta_B = f(t)$.

Рассмотрим два частных случая:

- первоначальный контакт в одной точке, зазоры по двум другим возможным точкам контакта одинаковы и равны δ (рис. 5, а);
- первоначальный контакт в двух точках, зазор по третьей возможной точке контакта равен δ (рис. 5, б).

Будем также считать, что вал имеет погрешности профиля по диаметрам контакта только в точках касания.

Если пренебречь изменением угла между радиус-векторами точек контакта при достижении одинакового зазора Δ' по трем направлениям, то можно считать, что $\Delta' \approx 0,5\delta$ и угол поворота вала до касания с профилем отверстия увеличится на величину, определяемую по приведенной выше методике, за счет уменьшения расчетного диаметра вала.

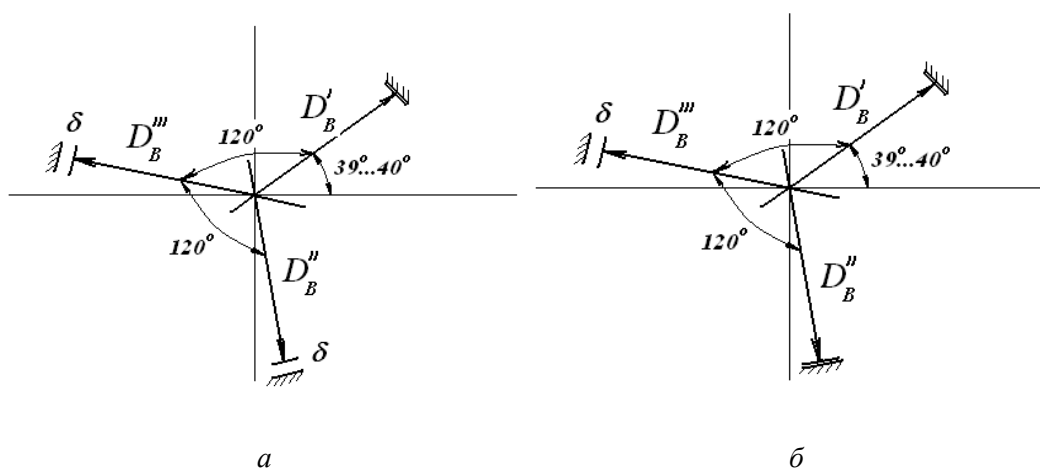


Рис. 5. Частные случаи неравномерного диаметрального зазора

Для случая, представленного на рис. 5, а, имеем три диаметра вала в точках касания, лежащих в пределах допуска:

$$D_B'; D_B''; D_B''' \quad (D_B' > D_B'' = D_B''' ; D_B' = D ; D_B' - D_B'' = \delta ; D_B' - D_B''' = \delta).$$

Тогда расчетный диаметр вала следует принимать равным

$$D_B = D - \Delta' = D - 0,5\delta = D - \frac{D_B' - D_B''}{2} = \frac{D + D_B''}{2}.$$

Для случая, представленного на рис. 5, б,

$$D_B'; D_B''; D_B''' \quad (D_B''' < D_B' = D_B'' = D ; D_B' - D_B''' = \delta ; D_B'' - D_B''' = \delta)$$

и расчетный диаметр вала определяется по тем же зависимостям, что и для случая, приведенного на рис. 5, а.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тимченко А.И. Технология изготовления деталей профильных бесшпоночных соединений. – М.: МОССТАНКИН, 1988. – 143 с.
2. Детали машин. Расчет и конструирование. Справочник / Под ред. Н.С. Ачеркана. Т. 1. – М.: Машиностроение, 1968. – 440 с.

Статья поступила в редакцию 15 октября 2012 г.

ANGULAR ACCURACY OF PROFILE LINKS

A.F. Denisenko, D.V. Nazarov, I.K. Rylcev

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

Discusses the method of determining the angular accuracy of profile joints with gaps and transitional plantings. Identifies areas requiring special profile control of precision in manufacture. Influence of errors of the profile on the angular precision of the connection.

Keywords: connection, profile, angle, precision manufacturing, contact profile error.

*Alexander F. Denisenko (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.
Denis V. Nazarov, Postgraduate Student.
Igor K. Rylcev (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.*

ВЛИЯНИЕ СВАРОЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ НА ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ДВУХФАЗНЫХ СТАЛЕЙ

А.П. Фалалеев

Севастопольский национальный технический университет
99053, Украина, г. Севастополь, ул. Университетская, 33
E-mail: a_falaleev@mail.ru

Исследован механизм разупрочнения двухфазных сталей во время сварочных операций. Экспериментально определены механические характеристики сварных соединений деталей из двухфазных сталей.

Ключевые слова: *двухфазная сталь, дуговая сварка, термическое разупрочнение.*

Двухфазные стали являются одним из наиболее перспективных материалов для производителей кузовов легковых автомобилей. За счет неполного отпуска из зоны критических температур в стали формируется ферритная структура с мартенситными включениями. Такая композиция демонстрирует уникальные свойства с низким пределом пластичности, высокой степенью упрочнения при деформации и высокой прочностью. Это позволяет изготавливать особо высокопрочные кузовные детали методом холодной штамповки. Технологическим недостатком двухфазных сталей можно считать наличие термообработки, которая является причиной чувствительности сталей к нагревам различного рода. Необходимость использования при производстве и ремонте сварочных операций приводит к падению прочности. При массовом производстве существует возможность применения лазерной и контактной сварки, которые значительно уменьшают зону нагрева, однако во время выполнения кузовного ремонта используется дуговая сварка, влияние которой может значительно изменить первоначальные характеристики деталей.

Исследованию механизмов изменения прочности двухфазных сталей посвящены работы [1, 2], но остается недостаточно исследованным вопрос механизмов разупрочнения, что не позволяет обобщить существующие результаты единым подходом. В работе [3] исследуется механизм изменения прочности в процессе горячей штамповки деталей. Неисследованным остается вопрос изменения свойств двухфазных сталей при выполнении дуговой сварки.

Методика экспериментальных исследований. Для проведения экспериментальных исследований использовались двухфазные стали DP590, DP980 производства корпорации TATA-STEEL. Числа в обозначении сталей определяют предел прочности стали в МПа.

Механические свойства исследуемых сталей в состоянии поставки указаны в таблице.

Химический состав исследуемых сталей:

- DP980 – 0,135 C; 2,1 Mn; 0,35 Mo; 0,05 Si; 0,15 Cr; 0,45 Al; 0,007 B;
- DP590 – 0,326 C; 1,7 Mn; 0,123 Si; 0,0162 P; 0,0009 S.

Прямоугольные пластины 300×100 мм толщиной 1,0 мм сваривались по длинной стороне. Из сваренной заготовки вырезались образцы для испытания на растяжение в соответствии со стандартом ASTM-E08 таким образом, чтобы сварочный шов ока-

зался посередине образца. Образцы сваривались дуговой сваркой в среде защитного газа с автоматической подачей сварочной проволоки. Использовалась сварочная проволока ER90S-D2 диаметром 0,9 мм, прочностью 620 МПа. Сварка велась в среде аргона (90 %) и углекислого газа (10 %) при скорости расхода 30 л/мин.

Механические свойства исследуемых автомобильных сталей

Материал	Предел текучести, МПа	Предел прочности, МПа	Макс. удлинение, %
DP980	534	980	12,2
DP560	340	560	16,2

Образцы растягивали при комнатной температуре на универсальной разрывной машине MTS 810 [4] со скоростью деформации $0,001 \text{ с}^{-1}$, удлинение фиксировалось лазерным экстензометром LE-05. По диаграмме определялись предел текучести, предел прочности, максимальное удлинение до разрушения, скорость упрочнения. Предел текучести определялся при деформации 0,2 %.

Распределение микротвердости металла исследовалось микротвердомером Инстرون-Волперт (Instron-Wolpert) по Виккерсу под нагрузкой 300 Н продолжительностью 15 с с шагом 0,5 мм. Все значения микротвердости представляют собой среднее значение по результатам трех идентичных измерений. Мониторинг температуры проводился с помощью бесконтактного инфракрасного пирометра.

Исследование механизма разупрочнения. Для анализа механизма разупрочнения сравнивались диаграммы растяжения сварного образца и цельного образца в состоянии поставки. Сварное соединение DP590 продемонстрировало незначительное уменьшение прочности (рис. 1) по сравнению с базовым и значительное уменьшение максимального удлинения. Перед наступлением упрочнения образец демонстрировал площадку текучести.

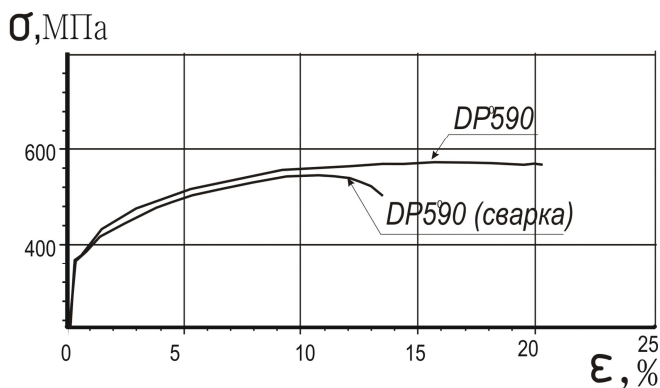


Рис. 1. Диаграммы растяжения сварных и однородных образцов из стали DP590

Образцы из стали DP980 демонстрировали плавное пластическое течение металла с упрочнением (рис. 2). Все образцы разрушались в области термической деградации (рис. 3). Основная пластическая деформация накапливалась в этой зоне до окончательного разрушения.

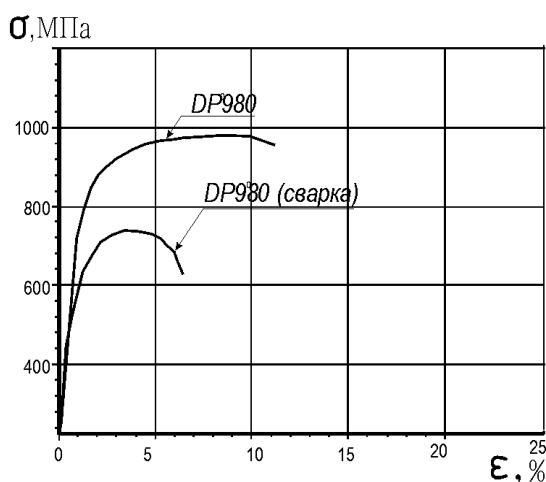


Рис. 2. Диаграммы растяжения сварного и однородного образцов из двухфазной стали DP980

Разрушение образцов происходило в зоне нагрева рядом со сварочным швом (рис. 3). Предел прочности сварных соединений DP590 был несколько ниже значения цельных образцов, в то время как сварные соединения DP980 демонстрировали значительное уменьшение предела прочности (рис. 2). Поскольку степень разупрочнения сварных соединений DP590 была не столь значительна, то уменьшения предела прочности практически не ощущалось.

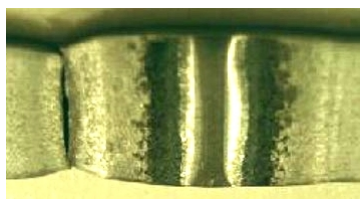


Рис. 3. Пример разрушения сварного образца DP980 при растяжении

Наличие площадки текучести у стали DP590, возможно, объясняется промежуточной диффузией, которая может происходить в процессе сварки. Высокая температура, создаваемая электрической дугой, является достаточной для принуждения атомов углерода или азота в железе перемещаться на более высокий энергетический уровень, на дополнительную атомную плоскость на позитивной границе дислокаций [5]. Для наступления пластичности в таких материалах требуется некоторое начальное нагружение, после которого дислокации освобождаются и могут двигаться свободно.

Сварочные соединения DP590 и DP980 в процессе растяжения демонстрировали несколько более высокие пределы пластичности, чем базовый материал. Анализ механизмов упрочнения, включающихся в стали при деформации, удобно выполнять с помощью зависимости скорости упрочнения $\theta \left(\frac{d\sigma}{d\varepsilon} \right)$ от напряжения течения материала $(\sigma - \sigma_T)$ (рис. 4, 5). Эти графики строятся на основе анализа диаграмм растяжения металла.

Традиционно двухфазные стали могут демонстрировать три различных стадии деформирования металла [5].

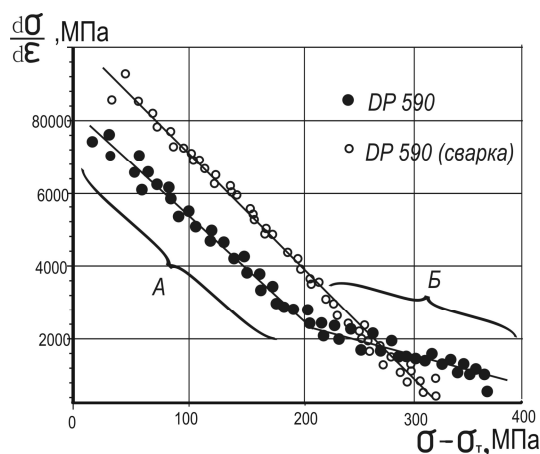


Рис. 4. Скорость упрочнения сварных и однородных образцов из стали DP590

На первой стадии деформируется феррит, затем происходит совместная деформация феррита и мартенсита, и на заключительной стадии возможна деформация мартенсита. Изначально базовый металл и сварное соединение DP590 (рис. 4) демонстрировали схожее упрочнение, связанное, видимо, с деформацией феррита и представляющее первую стадию упрочнения (отрезок А), т. е. плавное линейное уменьшение θ по мере увеличения $(\sigma - \sigma_T)$. После достижения $(\sigma - \sigma_T)$ значения 200 МПа базовый металл продемонстрировал вторую стадию упрочнения (отрезок Б) несмотря на малые изменения θ . При растяжении сварного соединения DP590 другие стадии упрочнения обнаружены не были.

Базовая сталь DP980 продемонстрировала три этапа упрочнения, что свидетельствует о последовательном включении в работу механизмов деформации (рис. 5).

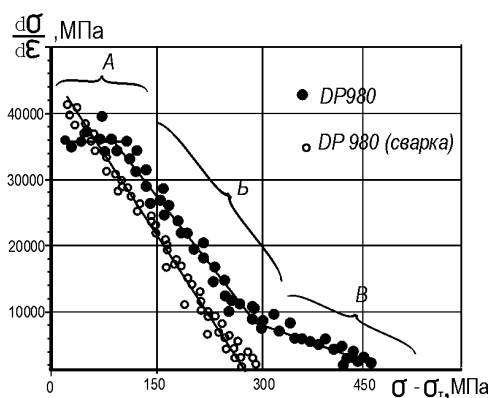


Рис. 5. Скорость упрочнения сварных и однородных образцов из стали DP980

Базовый металл DP980 проявил первую стадию упрочнения (отрезок А, см. рис. 5), сохраняя θ постоянной до значения $(\sigma - \sigma_T) = 120$ МПа. Затем – линейное уменьшение с ростом напряжений (отрезок Б) до наступления третьей стадии упрочнения (отрезок В) при напряжениях $(\sigma - \sigma_T) = 260$ МПа. В сварном соединении DP980, как и у DP590, проявилась только одна стадия упрочнения.

Постоянное значение скорости упрочнения на всем этапе деформирования похоже на деформацию ферритной матрицы. Зерна мартенсита в зоне сварки, видимо, потеряли свою прочность из-за термического воздействия, поэтому второй этап объединен с первым и наблюдается один механизм деформации. Причем совместное деформирование двух фаз проходило на протяжении всего процесса растяжения. При нагреве до температур выше критической точки AC_1 диаграммы «железо – углерод» происходит отпуск мартенсита, что значительно снижает его прочность. Для сварки характерны неизотермические нагревы и охлаждения, что является причиной неравновесных фазовых переходов и последующего старения. Для таких операций характерен разброс значений при испытаниях, который определяется степенью изменений микроструктуры. Отпуск мартенсита подтверждается потерей микротвердости стали в зоне термической деградации (зона 3, рис. 6). В зоне сварочного шва (зона 1, см. рис. 6) наблюдалось значительное увеличение твердости, которое свидетельствует о полной закалке данного участка в результате нагрева выше температуры плавления.

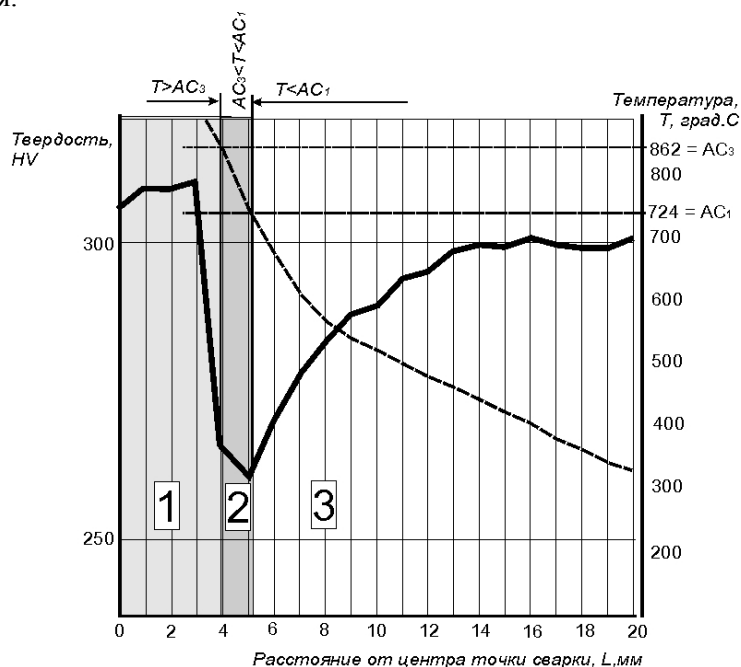


Рис. 6. Профиль микротвердости сварного соединения двухфазной стали DP980

Линейное увеличение скорости упрочнения на стадии Б (см. рис. 5) происходит из-за одновременной деформации феррита и мартенсита с одновременным скольжением дислокаций и динамическим восстановлением феррита. На стадии В наблюдается возросшая мобильность дислокаций за счет активного поперечного скольжения, что приводит к снижению скорости упрочнения.

Выводы. В целом двухфазные стали продемонстрировали значительное падение механических свойств при выполнении сварки. Пренебрегать таким снижением прочности во время ремонтных операций нельзя, особенно при ремонте деталей, отвечающих за пассивную безопасность кузова. Более прочные стали, у которых содержание мартенситной фазы выше, продемонстрировали большее относительное снижение прочности, чем менее прочные стали. Такое поведение объясняется тем,

что механизм разупрочнения связан с отпуском мартенсита во время нагрева до температур, близких к точке AC_1 .

С точки зрения обеспечения механических свойств двухфазных сталей их свариваемость можно охарактеризовать как неудовлетворительную, особенно это относится к высокопрочным сталям с высоким содержанием мартенсита. При планировании сварочных операций необходимо учитывать разупрочнение и выбирать технологию соединения с меньшими температурами нагрева и меньшей длительностью термического воздействия. Бесконтрольные нагревы могут привести к значительному падению прочностных характеристик. Актуальным остается вопрос влияния на разупрочнение различных способов соединения деталей и их режимов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Xia M.S. Failure Study on Laser Welds of Dual Phase Steel in Formability Testing / Xia M.S., M.L. Kuntz, Z.L. Tian, and Y. Zhou // Science and Technology of Welding & Joining, 13. – 2008. – p. 378-387.
2. Miles M.P. Comparison of Formability of Friction Stir Welded and Laser Welded Dual Phase 590 Steel Sheets / Miles M.P., J. Pew, T.W. Nelson, M. Li // Science and Technology of Welding & Joining, 11. – 2006. – p. 384-388.
3. Kang C.-Y. Characteristics of Nd: YAG Laser Welded 600 MPa Grade TRIP and DP Steels / Kang C.-Y., T.-K. Han, B.-K. Lee, and J.-K. Kim // Material Science Forum, 2007, 539-543, p 3967-3972.
4. Фалалеев А.П. Обеспечение пассивной безопасности автомобилей при кузовном ремонте: Монография. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2012. – 153 с.
5. Byun T.S. Tensile Properties and Inhomogeneous Deformation of Ferrite-Martensite Dual-Phase Steels / Byun T.S., I.S. Kim // Journal of Materials Science & Technology, 28. – 1993. – p. 2923-2932.

Статья поступила в редакцию 4 октября 2012 г.

WELDING INFLUENCE TO THE MECHANICAL PROPERTIES OF DUALPHASE STEELS

A.P. Falaleev

Sevastopol National Technical University
33, Universitetskaya st., Sevastopol, Ukraine, 99053

The mechanism of dualphase steels unstrengthening during welding operations is investigated. Mechanical properties of dualphase steel welding joints is determined experimentally.

Keywords: *dualphase steel, arc welding, thermal unstrengthening.*