

УДК 621.797

ПОВЫШЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ПРОЦЕССА ГИБКИ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ДУГ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ

М. В. Загирняк, А. А. Шаповал, Е. А. Наумова, А. В. Литвиненко, В. В. Драгобецкий

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: vldrag@kdu.edu.ua

В. М. Бугайчук

ОАО «АВМ Ампер», председатель наблюдательного совета
ул. Красина, 6, г. Кременчуг, 39605, Украина.

А. И. Кулик

Государственное предприятие «Инженерный центр твердых сплавов «Светкермет»
ул. Комсомольская, 34, г. Светловодск, 27500, Украина.

Обоснована целесообразность применения профильных заготовок из разнородных материалов для изготовления гибкой элементов каркаса транспортных средств. Рассмотрено растяжение бинарной системы при наличии внешнего трения. Напряжения контактного трения определяются по зависимостям молекулярно-механической теории. Представлена методика определения параметров процесса гибки с растяжением дуг пассажирских вагонов из биметаллической заготовки: нержавеющая сталь + углеродистая сталь. Систематизированы, обобщены и предложены способы и технологические приемы повышения деформируемости сварного шва заготовки на этапах его формирования, перед, во время и после формоизменяющих операций. Рассмотрены вопросы определения напряженно-деформированного состояния при изгибе биметаллической дуги пассажирского вагона. Определен критерий разрушения.

Ключевые слова: гибка, растяжение, биметалл, профиль, трение.

ПІДВИЩЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ ПРОЦЕСУ ГНУТТЯ БІМЕТАЛІЧНИХ ДУГ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ

М. В. Загірняк, О. О. Шаповал, О. О. Наумова, О. В. Литвиненко, В. В. Драгобецький

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: vldrag@kdu.edu.ua

В. М. Бугайчук

ВАТ «АВМ Ампер», голова наглядової ради
вул. Красіна, 6, м. Кременчук, 39605, Україна.

А. І. Кулик

Державне підприємство «Інженерний центр твердих сплавів «Світкермет»
вул. Комсомольська, 34, м. Світловодськ, 27500, Україна.

Обґрунтована доцільність застосування профільних заготовок із різнорідних матеріалів для виготовлення гнучких елементів каркасу транспортних засобів. Розглянуто розтягнення бинарної системи за наявності зовнішнього тертя. Напруги контактного тертя визначаються за залежностями молекулярно-механічної теорії. Наведено методику визначення параметрів процесу гнуття з розтягуванням дуг пасажирських вагонів із біметалічної заготовки: нержавіюча сталь + вуглецева сталь. Систематизовано, узагальнено і запропоновано способи і технологічні прийоми підвищення деформування зварного шва заготовки на етапах його формування, перед, під час і після формозмінних операцій. Розглянуто питання визначення напружено-деформованого стану при гнутті біметалічної дуги пасажирського вагона. Отримано критерій руйнування.

Ключові слова: гнуття, розтягування, біметал, профіль, тертя.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Слоистые металлы нашли широкое применение во многих отраслях промышленности. Их применение обусловлено возможностью создания изделий с комплексом физико-механических свойств, недостижимых в монометаллах, при экономии черных и цветных металлов. И если вопросы применения дорогостоящих сплавов с применением слоистых металлических композиций в различных конструкциях достаточно глубоко раскрыты и обоснованы [1–4], то технологические аспекты и возможности их использования в полной мере еще не раскрыты.

Использование принципа слоистости для решения комплекса технологических задач в процессах

листовой штамповки рассмотрено в работах [4, 5]. Однако далеко не все аспекты применения биметаллов для решения задач экономии дорогостоящих сплавов в процессах металлообработки освещены в научно-технической литературе, теоретически не обоснованы и не описаны.

В производстве средств наземного, водного и воздушного транспорта находят применение силовые элементы, получаемые из профилей гибкой с растяжением (дуги пассажирских вагонов, шпангоуты, лонжероны, балки и т.д.). Для их изготовления все шире используются нержавеющие стали, титановые и высокопрочные алюминиевые сплавы. При гибке и при гибке с растяжением неизбежны потери

металла из-за зажима концевых зон в зажимных патронах и их закруткой [1].

Избежать потерь можно при использовании сварной заготовки, состоящей из дорогостоящего материала – центральной часть и периферийных участков – из дешевого.

Например, дуги пассажирских вагонов, применяемые в широком ассортименте на ПАТ «Крюковский вагоностроительный завод» целесообразно и экономически обосновано специалистами предприятия, изготавливать из сварной заготовки нержавеющей стали (X18H10T) + углеродистая сталь (08кп).

Этот способ широко используется в процессах сварки взрывом плоских заготовок по схеме с боковым нависанием. Элементы, обеспечивающие боковое нависание, их называют «доточки», как правило, изготавливают из более дешевого материала (чаще всего это низкоуглеродистые конструкционные стали) и прихватывают в нескольких точках электродуговой или газовой сваркой. Под действием взрывной нагрузки «доточки» отлетают, а плакирующая пластина из более дорогостоящего металла приваривается к плакируемой поверхности.

В процессах глубокой вытяжки деталей различной пространственной конфигурации, оставшаяся фланцевая часть отштампованной заготовки, отрезается по контуру. И эту часть заготовки, тоже целесообразно изготавливать из дешевого материала. Таким же способом можно экономить металл для деталей, получаемых вырубкой и обтяжкой. Однако, если при сварке взрывом прочность соединения «доточек» с плакирующей пластиной, не имеет значения, то в формоизменяющих операциях листовой штамповки, в большинстве случаев, необходимы мероприятия, предотвращающие его разрушение.

Основные способы увеличения возможности формоизменения при деформации сварных заготовок является компенсация ослабления сварного шва (СШ), повышение пластичности более прочного материала бинарной системы и исключение деформации зоны сварного шва. Кроме того, технологические приемы для повышения деформируемости сварной заготовки могут производиться: при формировании сварного шва, перед процессом формоизменения, при формоизменении, после формоизменения. На рис. 1 представлена блок-схема таких приемов+текст.

Перемешивание сварной ванны в процессе сварки приводит к измельчению структуры СШ, что приводит к улучшению его пластических свойств. Применение флюсов и оптимизация режимов сварки приводит также к измельчению структуры СШ, а также исключает образование газовых пор в СШ. Воздействие на СШ взрывом или проковка его также приводят к измельчению структуры, т.е. увеличению пластичности. Воздействие на условия деформирования СШ также расширяет технологические возможности штамповки сварных заготовок,

путем исключения деформирования СШ или перераспределения деформаций в СШ.



Рисунок 1 – Блок-схема технологических приемов, повышающих штампуемость сварных заготовок

Однако в каждом конкретном случае формоизменяющей операции листовой штамповки необходимо обосновать применяемый метод увеличения возможностей деформируемости сварных заготовок.

Наиболее просто повысить деформируемость сварного шва в условиях плоского напряженного состояния при изгибе можно при выполнении шва под углом к плоскости поперечного сечения. При этом следует учитывать то, что в условиях предварительного растяжения профильной заготовки наклон сварного шва на 15-25 % снижает прочность сварного шва. Но разрушение сварного шва происходит при изгибе, в зоне растяжения, когда радиальные и широтные напряжения растягивающие. В зависимости от соотношения радиальных и широтных напряжений характер разрушения шва не одинаков. Наложение на сварной шов растягивающих напряжений, действующих вдоль шва, приводит к расслоению ориентированных поперек шва текстур. В этом случае наклон сварного шва приводит к уменьшению растягивающих напряжений.

Процесс гибки с растяжением бинарной (составной) заготовки имеет значительные отличия от процесса деформации монолитной заготовки. Эти отличия в основном связаны с отсутствием изотропности среды и разрывной неоднородностью ее свойств. Поэтому возникла необходимость в анализе растяжения и изгиба бинарной системы и уточнении модели процесса совместного пластического деформирования разных металлов. При предварительном растяжении профильных заготовок из разнородных металлов на гибочно-растяжных машинах (рис. 2) внешнее трение отсутствует.

Физическая модель процесса одноосного растяжения бинарной системы соответствует модели растяжения слоистого тела при свободных условиях на контуре. Однако, при последующей гибке и калибровочном растяжении внешнее трение на одном из контуров играет существенную роль на процесс де-

формирования бинарной системы.



Рисунок 2 – Гибочно-растяжной станок в процессе гибки дуги пассажирского вагона

Поэтому цель работы можно сформулировать следующим образом – разработка модели и определение технологических параметров формоизменения и предельных деформаций профильной заготовки при гибке с растяжением.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.

При предварительном растяжении заготовки из разнородных материалов, зону сварного шва не учитываем, внешнее трение и межслойное трение отсутствует. Основной материал (центральная часть заготовки), как правило, менее пластичный (H), а периферийный более пластичный (S). При предварительном растяжении профильной заготовки из монолитного материала усилия предварительного растяжения $P_{расм}$ определялось по зависимости $P_{расм} = \sigma_s F$, где σ_s – текущий предел текучести материала заготовки; F – площадь поперечного сечения заготовки. При заготовке из разнородных материалов в первую очередь начнет деформироваться материал S . Его деформация будет продолжаться до тех пор, пока его текущий предел текучести при растяжении не станет равен начальному пределу текучести при растяжении материала F .

Если материал S не упрочняется, то совместная пластическая деформация разных металлов невозможна. Будет только деформироваться материал S до его полного разрыва. Первые попытки изготовления дуг пассажирских вагонов были не удачны при нарушении режимов сварки (перегрев зоны сварного шва) зона сварного шва не склонная к деформационному упрочнению разрушалась (рис. 3).

Диаграмма истинных напряжений для стали 08кп аппроксимируется в полной третьей степени или степенной функцией [6]:

$$\sigma_s = 240 + 1279 \varepsilon - 1599 \varepsilon^2 + 914 \varepsilon^3 = 230 + 548 \varepsilon^{0.6}, \quad (1)$$

где σ_s – текущий предел текучести материала; ε – интенсивность деформаций.

Для нержавеющей коррозионностойкой стали эта диаграмма аппроксимируется зависимостью

$$\sigma_i = 1490 (0,016 + \varepsilon_i)^{0.5} = 470 + 2691,6\varepsilon - 5508,7\varepsilon^2 + 4185,2\varepsilon^3 \quad (2)$$

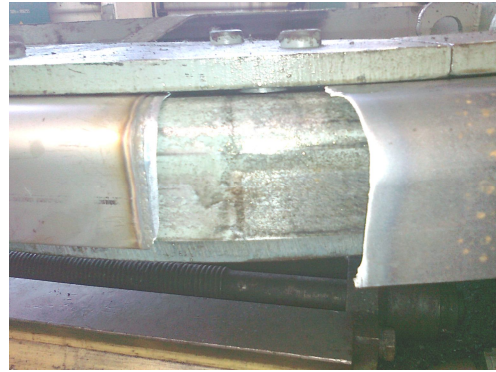


Рисунок 3 – Разрыв сварного шва при гибке с растяжением дуг пассажирских вагонов из разнородных металлов

Однако кривые упрочнения не имеют общих точек пересечения и совместная пластическая деформация оказалась невозможной. Поэтому сталь 08кп была заменена сталью 15ЮА.

Усилие предварительного растяжения заготовки из разнородных материалов целесообразно определять по зависимости

$$P_{расм} = \sigma_{расм} F, \quad (3)$$

где $\sigma_{расм}$ – ордината пересечения кривых упрочнения материалов заготовки.

При этом $\sigma_{расм} > \sigma_{см}$, где $\sigma_{см}$ – напряжение сжатия при изгибе заготовки.

Кроме того, деформации $\varepsilon_{равн}$, которые соответствуют $\sigma_{равн}$, должны удовлетворять условию $\varepsilon_{равн} < \varepsilon_{пр} + \varepsilon_u$, где $\varepsilon_{пр}$ – предельная деформация менее прочного материала; ε_u – максимальная деформация заготовки при изгибе.

При растяжении на заключительной стадии процесса растяжение + гибка + растяжение изогнутая профильная заготовка обтягивается по пуансону, принимая при этом заданную форму и размеры. Силы трения, действующие между заготовкой и пуансоном, уменьшают растягивающее усилие по мере удаления от крайних точек касания заготовки с пуансоном. При этом менее нагруженными оказываются сечение, расположенное в середине очага деформаций. Наименее нагруженным является сечение профиля расположенного в середине очага деформации. Поэтому, при калибровочной операции растяжения после гибки, ограничивающим фактором является разрушение заготовок на свободных, наиболее нагруженных участках. В связи с этим, экономические преимущества, связанные с экономией металла, дополнены техническими. Последние связаны с целесообразностью использования пластичных металлов в периферийных участках. При этом

сварной шов располагается в зоне контакта с пуансоном. Общее усилие растяжения можно представить в следующем виде:

$$P = P_{деф} + P_{тр} + P_{изг}, \quad (4)$$

где $P_{деф}$ – усилие деформирования заготовки в данном сечении; $P_{тр}$ – сила внешнего трения; $P_{изг}$ – усилие гибки.

В первом приближении влияние изгибных напряжений и деформаций можно не учитывать. Это допущение достаточно обосновано, т.к. радиус кривизны детали существенно больше ее толщины.

Изгиб заготовки после предварительного растяжения до деформаций, соответствующих пересечению кривых упрочнения металлов составной заготовки, происходит в условиях совместной пластической деформации разнородных металлов. Учитывая, что деформации заготовки незначительны, то усилие гибки определяется по известным зависимостям [6].

При совместной пластической деформации бинарной заготовки течение компонент последней тормозится силами внешнего трения в зоне контакта с пуансоном.

Для анализа рассматриваемого процесса формирования (фланцевой части заготовки, гибки) необходимо указать закон, по которому должны изменяться напряжения внешнего трения на контактных поверхностях заготовки. В теории обработки металлов давлением применяют зависимости для определения величины напряжения контактного трения, у которых в качестве аргумента содержится какой-либо физический фактор (нормальное давление, предел текучести, вязкость смазки и др.)

Наиболее широко применяемым является закон трения Амонтона-Кулона, устанавливающий пропорциональную зависимость между силой трения и нормальной сжимающей силой. Закон Амонтона-Кулона выполняется наиболее точно при холодной пластической деформации с применением технологических смазок. В жестких условиях трения при отношении силы давления к пределу текучести выше 2–3, при отсутствии смазки применяют закон Зибеля [3].

Напряжения трения определим по зависимости:

$$\sigma_{тр} = \frac{\mu^F q l^F B}{F_{np}} + \frac{\mu^S q l^S B}{F_{np}}, \quad (5)$$

где μ^F, μ^S – коэффициенты трения металлов F и S по пуансону; B – ширина полки; l^F, l^S – длины участков контакта пуансона с материалом F и S , F_{np} – площадь поперечного сечения профиля.

Напряжения, действующие в различных сечениях заготовки на заключительной стадии растяжения:

– зона I свободного участка, расположенная между поверхностью пуансона и защитного патрона. На этом участке силы внешнего трения отсутствуют, а деформации не должны превышать предель-

ной деформации металла S . Предельное усилие растяжения составит:

$$P_{расч} = F(\sigma_{ос} + A_s \varepsilon_{il}^{ns}) = F(\sigma_{ос} + A_s \varepsilon_{i2}^{ns}) = F(\sigma_{от} + A_f \varepsilon_{iF}^{nF} + \sigma_{тр}), \quad (6)$$

где A_s, A_f, n_s, n_f – модули упрочнения и показатели системы упрочнения материалов S и F ; $\sigma_{ос}$ и $\sigma_{от}$ – пределы текучести материалов S и F ;

– зона II контакта материала S с поверхностью пуансона;

– зона III контакта материала F с поверхностью пуансона.

Определим предельную степень деформации в зоне сварного шва.

Математическая запись условия возникновения локального увеличения тангенциальных деформаций ε_θ в краевом слое с учетом остаточных напряжений в торце заготовки может быть представлена в виде

$$dP = d(\sigma_\theta F_\theta) + d(\tau_{\rho\theta} F_\tau) + d(\sigma_{осм} F_{осм}) = 0, \quad (7)$$

где $\sigma_\theta, \varepsilon_\theta$ – тангенциальные напряжения и деформация, действующие в краевом слое; $\tau_{\rho\theta}$ – касательные напряжения, действующие на границе между краевым слоем и смежным, более удаленным от края; F_τ – площадь, по которой действуют касательные напряжения.

Выполнив все необходимые преобразования в соответствии со схемой решения задачи при отыскании предельной степени деформации, установили, что остаточные напряжения не оказывают влияния на локализацию деформаций, предшествующую разрушению.

Рассмотрим, как оказывает влияние сварной шов на локализацию деформаций в кольцевом слое, граничащем с краем продольной заготовки.

При растяжении профиля, в начале начнут пластически деформироваться более податливые элементы. Чаще всего – это околошовная зона.

Деформация будет продолжаться до тех пор, пока текущий предел текучести зоны шва не достигнет предела текучести основного материала. Если более податливый материал не упрочняется, что для материалов, используемых в листовой штамповке нехарактерно, то локализация деформаций происходит в нем, т.е. нет необходимости в рассмотрении совместной пластической деформации зоны сварного шва заготовки.

Процесс деформирования включает две стадии – докритическую, происходящую с увеличением объема активно деформированного линейного размера более пластического компонента (при растяжении), и послекритическую – происходящую с совместной пластической деформацией основного материала заготовки и сварного шва.

Взаимосвязь истинных напряжений системы, материала заготовки и сварного шва при $\delta \geq \delta_{и}$ имеет вид:

$$\sigma_s = \sigma_e e^{\delta_{и}} \left(\frac{\delta}{\delta_{и}} \right)^{\delta_{и}}, \quad (8)$$

где $\delta_{и} = \ln \frac{l_{и}}{l_o}$ – главная логарифмическая деформация удлинения до образования шейки при испытании на растяжение; $\delta = \ln \frac{\rho}{R_o}$ – главная логарифмическая деформация крайнего слоя с координатой ρ и радиусом нейтрального слоя R_o ; σ_e – предел прочности системы; σ_s – напряжение текучести.

Без большого ущерба для точности можно принять $\left(\frac{\delta}{\delta_{и}} \right)^{\delta_{и}} \approx 1$.

Кривая истинных напряжений материала заготовки выражается как

$$\sigma_s = \sigma_e^M e^{\delta^M}, \quad (9)$$

где σ_e^M – предел прочности материала заготовки.

Закон упрочнения зоны сварного шва описывается в виде

$$\sigma_s = \sigma_e^c e^{\delta_{и}^c}. \quad (10)$$

где σ_e^c – предел прочности материала зоны сварного шва; $\delta_{и}^c$ – логарифмическая деформация удлинения до начала образования шейки при испытании на растяжение.

Уравнения (8)–(10) описывают соотношения деформаций растяжения (сжатия) элементов сварной заготовки.

Выразив соотношения между общей деформацией системы δ через частные деформации сварного шва $\delta_{и}^c$ материала заготовки по уравнению

$$\delta = -\ln \left(\frac{A_{ом}}{e^{\delta^M}} + \frac{A_{ос}}{e^{\delta^c}} \right). \quad (11)$$

где $A_{ом}$ и $A_{ос}$ – отношения начальных длин элементов заготовки к начальной длине окружности $2\pi R_o$ сварной заготовки.

В докритической области уравнения (10) можно найти значение δ_c или e^{δ^c} при $\delta_M = 0$, $e^{\delta^M} = 1$. Подставив это условие в уравнение (3.60), получим уравнение системы:

$$\sigma_s = \frac{\sigma_e^c e^{\delta} A_{ос}}{1 - e^{\delta} A_{ом}}. \quad (12)$$

В послекритической области уравнение системы после аналогичных преобразований имеет вид:

$$e^{\delta^c} = e^{\delta} (A_{ом} e^{\delta_{кп}} + A_{ос}), \quad (13)$$

где $\delta_{кп} = \ln \frac{l_{ос}}{l_{скп}}$ – критическая степень деформации, при которой начнет деформироваться менее податливый материал; $l_{ос}$ – начальная длина сварного шва; $l_{скп}$ – критическая длина зоны сварного шва.

Учитывая условие наступления критического состояния $\sigma_e^c e^{\delta_{кп}} = \sigma_e^M$, $e^{\delta_{кп}} = \frac{\sigma_e^M}{\sigma_e^c}$ и подставляя (12) в уравнение (13), получим:

$$\sigma_s = \sigma_e^c (A_{ом} e^{\delta_{кп}} + A_{ос}). \quad (14)$$

Решая интегральное уравнение интегральной суммы отрицательных элементарных сил для всего участка квазиустойчивой деформации

$$dP_{\theta} = \sigma_e^c R_o S_o (A_{ом} e^{\delta_{кп}} + A_{ос}) (e^{\delta_{к}/2} - e^{3/2 \delta_{к} - \delta_{и}}), \quad (15)$$

где dP_{θ} – элементарная тангенциальная сила, интегрируемая в пределах от $\delta_{и}$ до $\delta_{к}$ ($\delta_{к}$ – деформация краевого удлинения), получим:

$$P_{\theta} = \sigma_e^c R_o S_o (A_{ом} e^{\delta_{кп}} + A_{ос}) * \left(2e^{\delta_{к}/2} - 2/3 e^{3/2 \delta_{к} - \delta_{и}} - 4/3 e^{\delta_{и}/2} \right). \quad (16)$$

Без большого ущерба для точности можно заменить экспоненциальную функцию первыми членами разложения по соотношению $e^{\delta} = 1 + \delta$. Приравняв P_{θ} величине касательной силы P_{τ} , действующей на границе участка квазиустойчивой деформации, получаем значение $\delta_{к}$, характеризующее предельную степень деформации при раздаче (обжиме):

$$\delta_{к} = \left[0,5 S_o - \frac{2}{3} (1 + \delta_{и}) B \right] / \delta_{и} B, \quad (17)$$

$$\text{где } B = R_o (A_{ом} e^{\delta_{кп}} + A_{ос}).$$

В докритической стадии деформирования с учетом того, что $e^{\delta} A_{ос} \ll 1$,

$$\delta_{к}^* = (A_{ом} S_o / R_o + 2/5 \delta_{и} - 3/5) / (3/2 - \delta_{и}). \quad (18)$$

Размеры зоны термического влияния по обе стороны от сварного шва можно определить из [1]:

$$b = 10 (S_o + 3). \quad (19)$$

По величине b определяем значение $A_{ом}$ и $A_{ос}$.

Расчет параметров процесса гибки производится в следующей последовательности:

- наложение кривых упрочнения материалов заготовки и определение точки их пересечения;
- определение усилия предварительного растяжения заготовки по зависимостям (5) и (6) и деформаций напряжения и предельных деформаций в зоне сварного шва;
- определение номинального внешнего момента гибки заготовки и изгибных деформаций;
- определение калибровочного растяжения и предельных деформаций. Дуга пассажирского вагона из разнородных металлов представлена на рис. 4.



Рисунок 4 – Дуга пассажирского вагона из разнородных металлов после гибки с растяжением

ВЫВОДЫ. Установлена целесообразность применения профильных заготовок из разнородных материалов для изготовления методом гибки с растяжением элементов каркаса транспортных средств, например, дуг пассажирских вагонов.

Усилие предварительного растяжения рассчитывается, как произведение текущей площади профильной заготовки на напряжение текущего предела

текучести, который соответствует точке пересечения кривых упрочнения материалов заготовки.

Усилие гибки определяется как для монолитной заготовки при равных текущих пределах текучести ее материалов. Калибровочное растяжение соответствует предельным деформациям дешевого материала.

Предельная деформация в зоне сварного шва зависит от толщины заготовки, радиуса нейтрального слоя и механических характеристик материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аркулис Г.Э., Дорогобид В.Г. Теория пластичности: учебное пособие для вузов. – М.: Металлургия, 1987. – 352 с.
2. Воронцов А.Л. К вопросу о контактном трении, кривых упрочнений и эффекте Баушингера // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. – 2011. – № 3. – С. 39–47.
3. Евстратов В.А. Теория обработки металлов давлением. – Харьков: Высшая школа. Издательство при Харьк. ун-те, 1981. – 246 с.
4. Weertman J. Dislocation mechanics at high strain rates // Metallurgical effects at high strain rate. – N. Y.; L.: Plenum Press. 1973. – PP. 319–332.
5. Битков В.В. Оценка неоднородности деформации при пластической обработке осесимметричных биметаллических изделий // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. – 2011. – № 5. – С. 3–12.
6. Драгобецкий В.В., Мороз Н.Н., Мосьпан Д.В., Пузир Р.Г. Расчет технологических параметров получения деталей с элементом жесткости последовательной гибкой // Обработка материалов давлением: сбор. науч. трудов. – Краматорск: ДГМА, 2010. – № 4 (25). – С. 133–137.
7. Драгобецкий В.В., Бойко Ю.А., Пузырь Р.Г. Описание процесса формоизменения сварных заготовок // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – 2008. – Вип. 2/2008 (49). – С. 79–83.

INCREASING STABILITY OF BENDING BIMETALLIC CARLINES OF PASSENGER CARS

M. Zagirnyak, A. Shapoval, E. Naumova, A. Litvinenko, V. Dragobetskiy

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University
vul. Pervomayskaya 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: vldrag@kdu.edu.ua

V. Bugaychuk

ABM Amper, JSC
vul. Krasina, 6, Kremenchuk, 39600, Ukraine.

A. Kulik

Engineering centre of firm alloys “Svetkermet”, State Enterprise
vul. Komsomol, 34, Svetlovodsk, 27500, Ukraine.

Applicability of specialized pieces of dissimilar materials for the vehicle frame elements manufacturing by bending is grounded. Stretching of the binary system if the external friction is available is considered. Contact friction stresses were determined by the dependences of the molecular-mechanical theory. The authors have presented the method to determine the parameters of the radial-draw forming of the passenger cars' bimetallic carlines: stainless steel + carbon steel. The technological methods and techniques to increase deformability of a blank weld during its forming, before it and after forming have been systemized, generalized and presented. Also, the problems of determination of the stress-strain state of the bimetallic carline of a passenger car at bending are investigated and the destruction criteria are found.

Key words: bending, stretching, bi-metal, profile, friction.

REFERENCES

1. Arculis, G.E., Dorogobid, V.G. (1987), *Teoriya plastichnosti* [The plasticity theory], Metallurgiya, Moscow, USSR.
2. Vorontsov, A.L. (2011), "On the problem of contact friction, hardening curves and the Bauschinger effect", *Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. Obrabotka metallov davleniem*, no. 3, pp. 39–47.
3. Yevstratov, V.A. (1981), *Teoriya obrabotki metallov davleniem* [Theory of metal forming], Vysshaya Shkola, Kharkiv, USSR.
4. Weertman, J. (1973), "Dislocation mechanics at high strain rates", *Metallurgical effects at high strain rate*, Plenum Press, New York, USA, pp. 319–332.
5. Bitkov, V.V. (2011), "Estimation of heterogeneity of plastic deformation during the axisymmetric bimetallic products processing", *Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. Obrabotka metallov davleniem*, no. 5, pp. 3–12.
6. Dragobetskiy, V.V., Moroz, N.N., Mospan, D.V., Puzyr, R.G. (2010), "Calculation of technological parameters of manufacturing by progressive bending of articles with stiffening elements", *Obrabotka materialov davleniem*, Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine, no. 4 (25), pp. 133–137.
7. Dragobetskiy, V.V., Boiko, Yu.A., Puzyr, R.G. (2008), "Description of the deformation process of welded blanks", *Transaction of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy State Polytechnic University*, no. 2 (49), pp. 79–83.

Стаття надійшла 24.01.2014.