

Технология и технологические машины

УДК 621.771.06:669.1

Исследование изменения угла подгибки в процессе роликовой формовки швеллеров двух типов с разными размерами подгибаемых полок при различных режимах формообразования

С.В. Поворов

Рассмотрен процесс роликовой формовки двух типов швеллеров с разными размерами полок из металлической полосы толщиной 4 мм. Исследование проводилось методом математического моделирования процесса в программе Ls-Dyna. По результатам моделирования определялась функция изменения угла подгибки полок в зоне вне контактного деформирования. Выполнено сравнение полученных функций с данными экспериментов, описанных в литературе. Хорошее совпадение результатов моделирования с экспериментальными данными позволило использовать моделирование для получения новых данных.

Ключевые слова: профилегибка, роликовая формовка, швеллер, математическое моделирование, угол подгибки.

Study of Changes in the Angle of Bending During Roll Forming of Channel Bars of Different Types and Sizes under Different Profiling Modes

S.V. Povorov

The article examines the process of roll forming of two types of channel bars with different sizes of flanges. The blank is a metal strip of 4 mm thick. The study has been carried out by mathematical modeling in the Ls-Dyna program. Based on the simulation results the function of changes in the angle of bending of flanges beyond the area of contact deformation has been determined. The



ПОВОРОВ
Сергей Владимирович
кандидат технических наук
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

POVOROV
Sergey Vladimirovich
Candidate of Engineering
Sciences
(MSTU named
after N.E. Bauman)

obtained functions are compared with the experimental data described in the literature. A good agreement between the simulation results and the experimental data allowed to use modeling to obtain new data.

Keywords: roll forming, channel bar, channel, mathematical modeling, angle of bending.

В данной статье исследуется изменение угла подгибки в зоне плавного перехода при профилировании швеллера со стенкой 80 мм и подгибаемыми полками 40, 60, 80 и 100 мм из листа толщиной 4 мм по режиму 0 — 20 — 40 — 60° (рис. 1, а). Такое исследование проводилось экспериментально и описано в книге [1, 2], где приведены кривые изменения угла подгибки в третьей и четвертой рабочих клетях. Для исследования процесса разработана математическая модель в программе Ls-Dyna [4, 3] и выполнена ее верификация с известными экспериментальными данными. Разработанная модель использована для исследования изменения угла подгибки в процессе профилирования при положении центров масс сечений на одной прямой — оси профилирования, схема этой калибровки приведена на рис. 1, б. Проверенные параметры модели применяли при разработке математической модели профилирования С-образного сечения, отличающегося от рассмотренного выше швеллера наличием у исходной заготовки отогнутых на 90° кромок. Исследование изменения угла подгибки полок с дополнительными элементами проводилось для обычного режима профилирования, когда на оси профилирования находится стенка профиля (рис. 1, в), и для режима при ко-

тором на оси профилирования находятся центры масс сечений профиля осевыми плоскостями формирующих роликов (рис. 1, г). Для определения координат центра масс были выведены аналитические уравнения срединной линии поперечного сечения, при интегрировании которых были определены искомые координаты для каждой клетки.

Измерение угла подгибки по результатам решения математических моделей осуществлялось по узловым точкам сетки конечных элементов, которые изначально лежали на линии пересечения срединной поверхности заготовки и плоскости, параллельной осевым плоскостям профилирующих роликов.

На рисунке 2 показаны кривые углов подгибки в зоне плавного перехода третьей и четвертой клетей для каждой заготовки при режиме формовки, соответствующие приведенным на рис. 1, а. Сплошной линией представлены экспериментальные данные, приведенные в книге [1, с. 46, рис. 23], пунктирной — данные, полученные из решения соответствующей математической модели. На рисунках видно, что на некоторых образцах в натуральных экспериментах наблюдался эффект переформовки (2, б, в, г). У некоторых образцов пружинение после выхода заготовки из клетки проявлялось в большей степени (2, а, б). Результаты решения математических моделей не показывают заметного проявления эффекта переформовки, при этом угол подгибки после упругой разгрузки незначительно отклоняется от номинально-

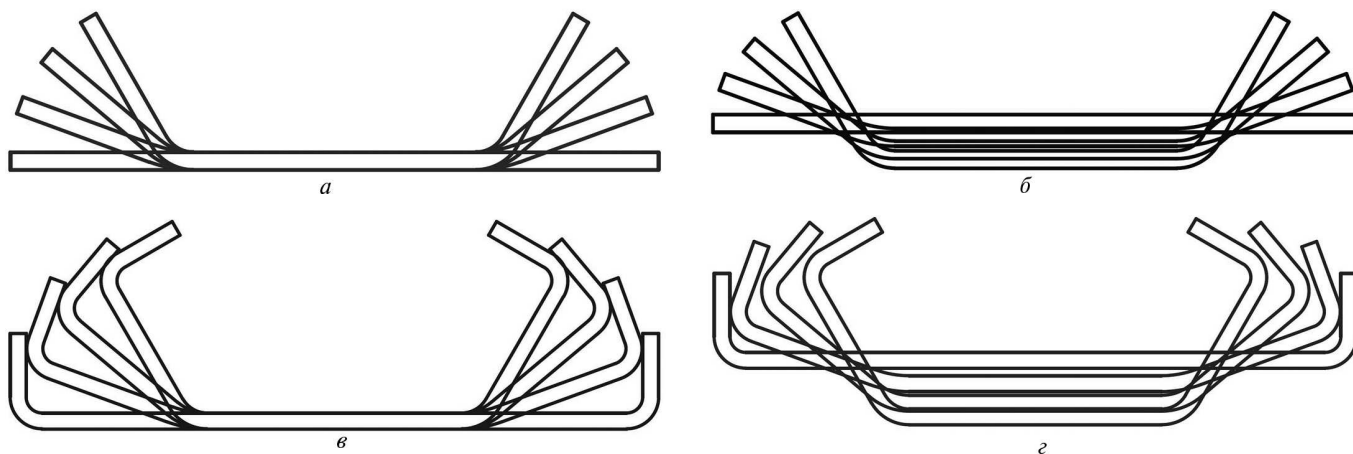


Рис. 1. Схемы калибровок, для которых проводилось исследование

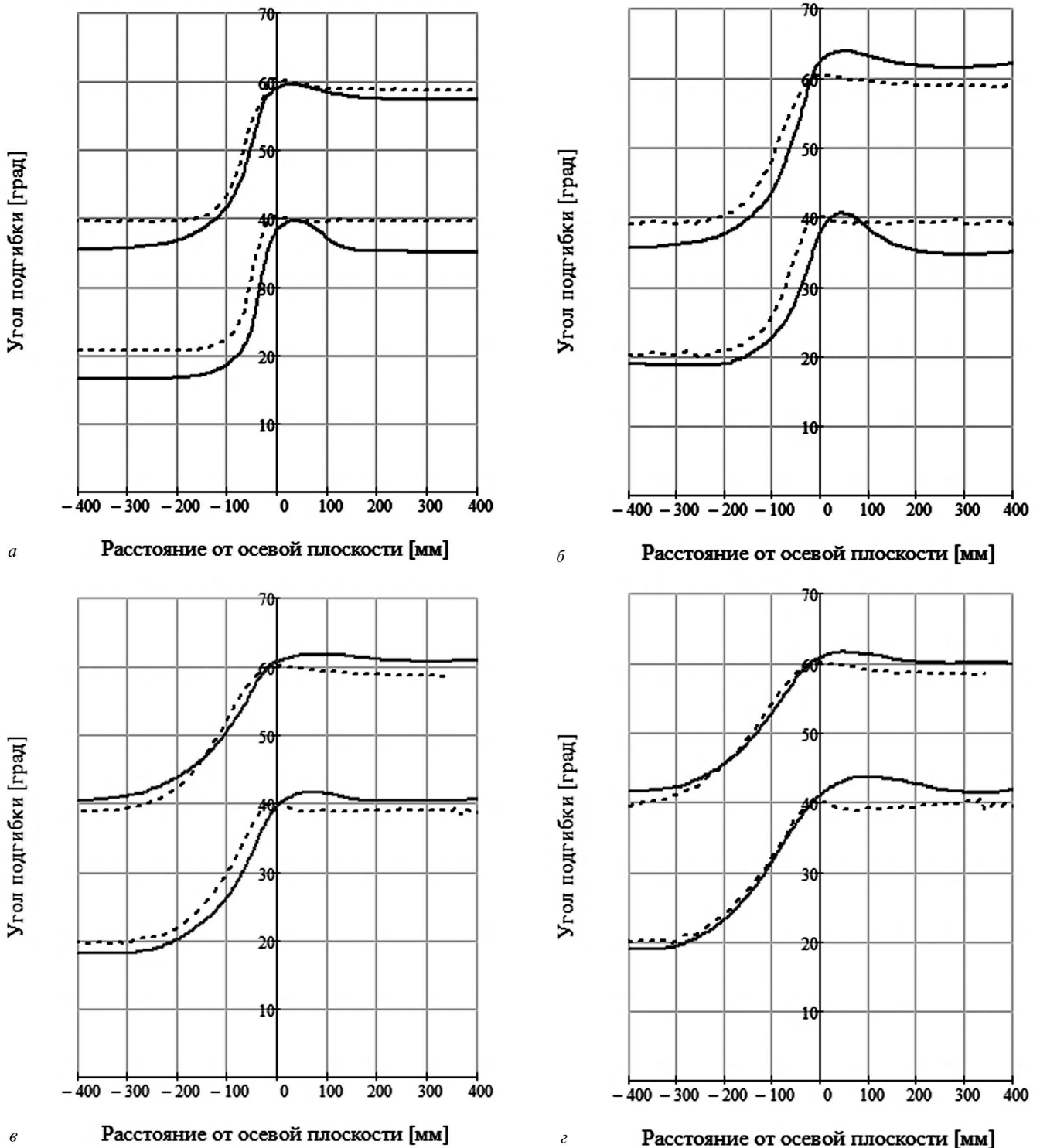


Рис. 2. Кривые углов подгибки экспериментальные (—) и полученные моделированием (---):

а — 80×40×4; б — 80×60×4; в — 80×80×4; г — 80×100×4 мм

го значения заданного калибровкой профилирующих роликов. В целом экспериментальные кривые из литературы и кривых, полученных математическим моделированием, близки друг к другу. Замеченные отклонения могут быть

обусловлены погрешностью измерения, а также некоторыми отличиями в механических характеристиках металла, используемого при эксперименте, и характеристик используемых при моделировании. Дальнейшие исследова-

ния проводились с теми же параметрами математической модели.

На рисунке 3 показано изменение угла подгибки для каждой из четырех заготовок при формовке по разным режимам: сплошные кривые соответствуют режиму подгибки на рис. 1, *а*, пунктирные — режиму на рис. 1, *б*. На рисунках видно, что кривые практически идентичны за исключением заготовок с наибольшей из рассматриваемых шириной подгибаемых полок ($80 \times 100 \times 4$), для которых наблюдается небольшие отклонения, главным образом во второй и третьей клетях. Это может быть объяснено тем, что упругие деформации участка заготовки между калибрами способны компенсировать вертикальное смещение положения заготовки

в следующем калибре, учитывая что вертикальное смещение профиля много меньше межклетьевого расстояния.

На рисунке 4 изображены две наложенные друг на друга заготовки $80 \times 40 \times 4$ мм, полученные в разных калибровках в процессе формовки. Валки для наглядности не показаны, заготовки с другими размерами при наложении имеют подобный приведенному на этом рисунке вид.

На рисунке 5 приведены углы подгибки в каждой клетке для заготовок четырех типоразмеров. На рисунках видно, что для каждого типоразмера заготовок протяженность зоны плавного перехода больше для заготовок, имеющих отогнутые кромки. Так же для заготовок с отогнутыми кромками наблюдается заметный эф-

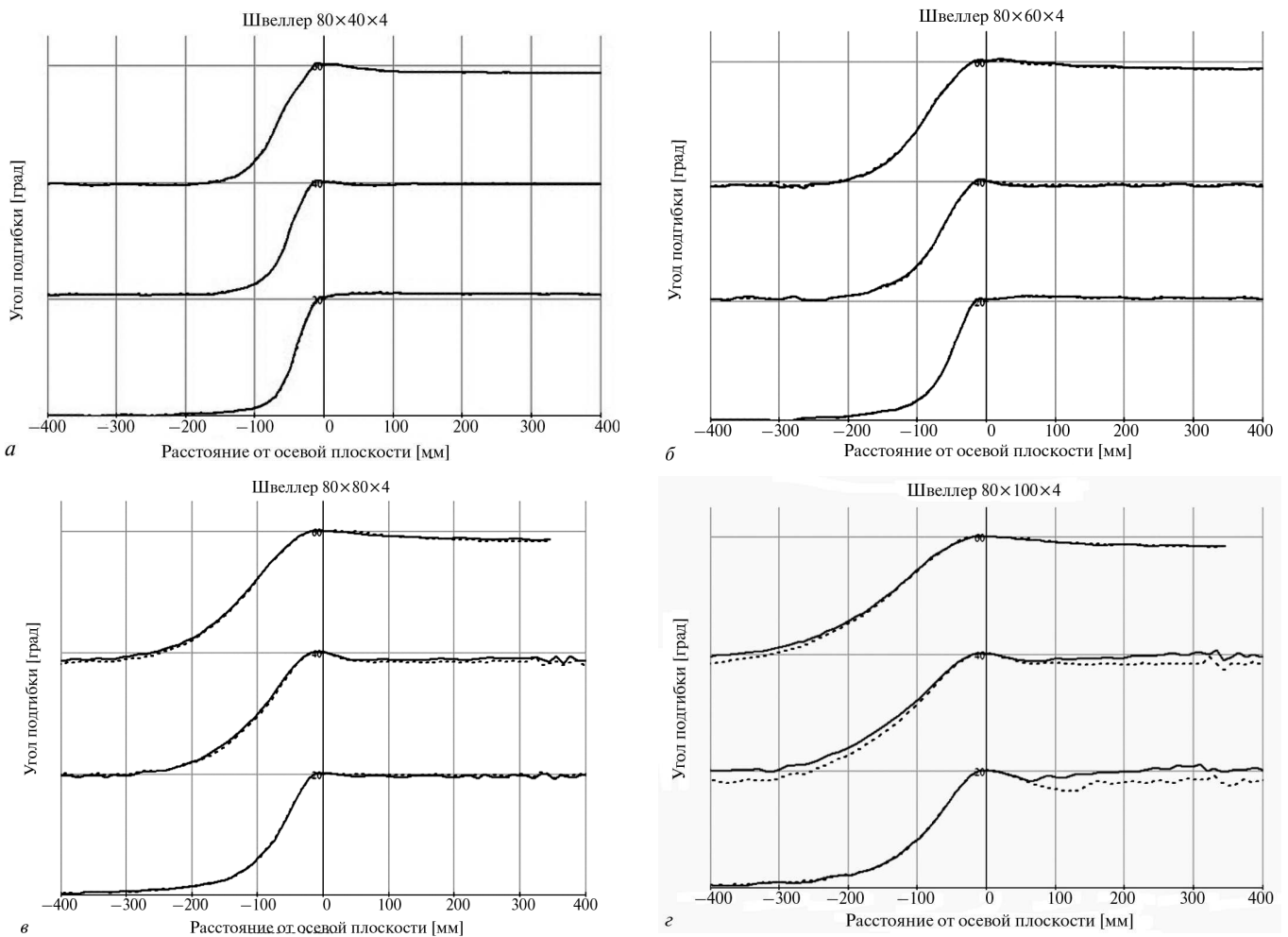


Рис. 3. Углы подгибки, полученные моделированием разных режимов:

а — $80 \times 40 \times 4$; *б* — $80 \times 60 \times 4$; *в* — $80 \times 80 \times 4$; *г* — $80 \times 100 \times 4$ мм;

— — соответствует режиму подгибки на рис. 1, *а*; --- — соответствует режиму подгибки на рис. 1, *б*

LS-DYNA user input
Time = 11.222

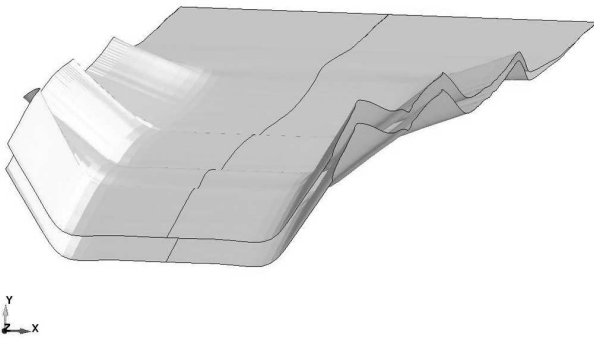


Рис. 4. Заготовки 80×40×4 мм, полученные при разных режимах формовки

факт переформовки, т. е. после выхода заготовки из калибра, увеличение угла формовки про-

должается до некоторого значения, после которого наступает упругая разгрузка. Следует отметить, что по результатам математического моделирования для плоских заготовок положение осевой плоскости роликов можно считать некой границей, до которой происходит увеличение угла подгибки, а за которой уменьшение угла подгибки, т. е. упругая разгрузка. Другими словами точка локального максимума угла подгибки совпадает с положением осевой плоскости. Для заготовок с отогнутыми краями положение осевой плоскости является промежуточным положением, а положение точки локального максимума находится за осевой плоскостью на некотором расстоянии.

На рисунке 6 изображена заготовка 80×40×4 мм с отогнутыми краями в процессе формовки, вал-

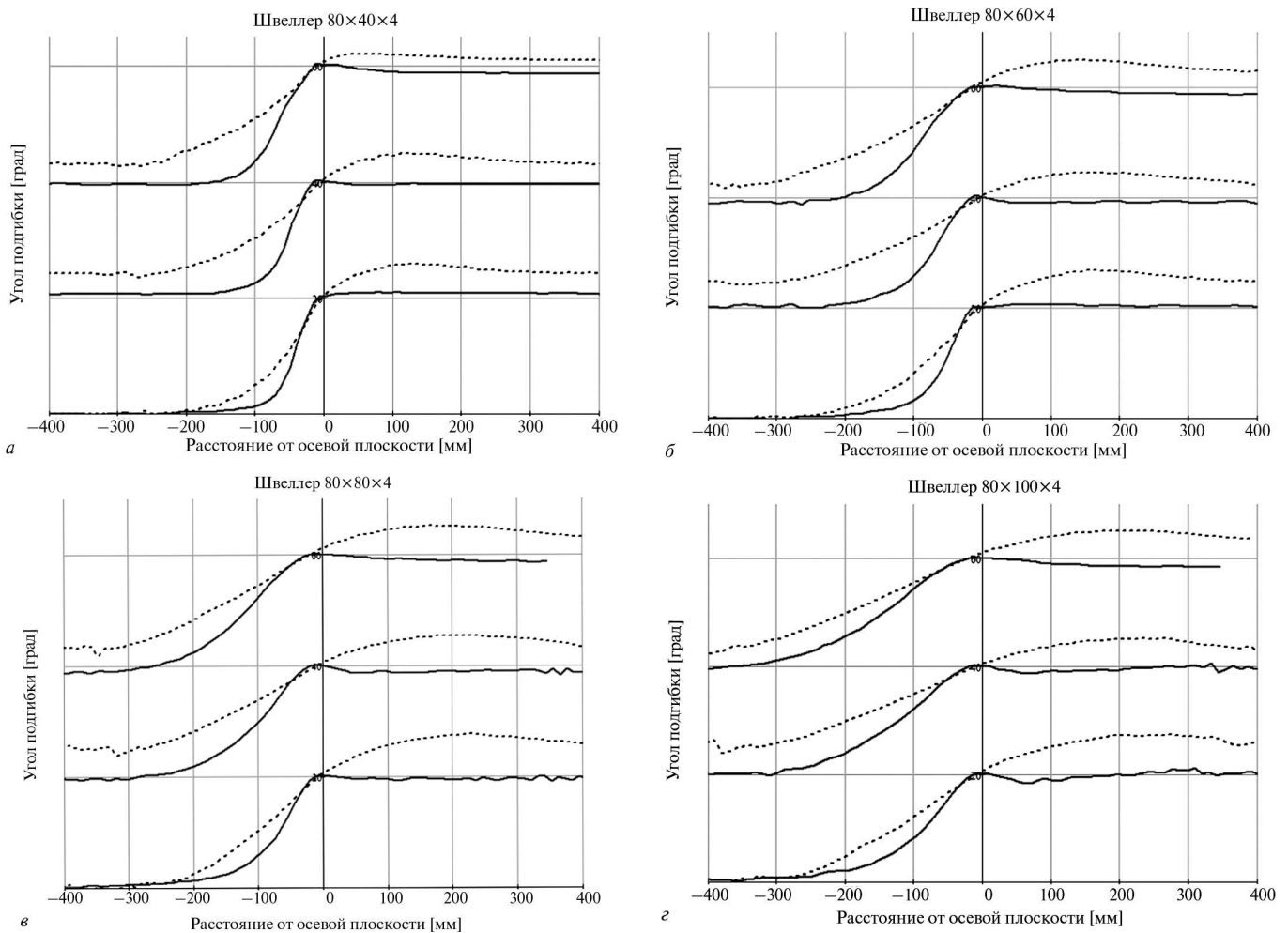


Рис. 5. Углы подгибки для плоской заготовки и заготовки с отогнутыми краями:

а — 80×40×4; б — 80×60×4; в — 80×80×4; г — 80×100×4 мм;

— — соответствует режиму подгибки на рис. 1, а; --- — соответствует режиму подгибки на рис. 1, б

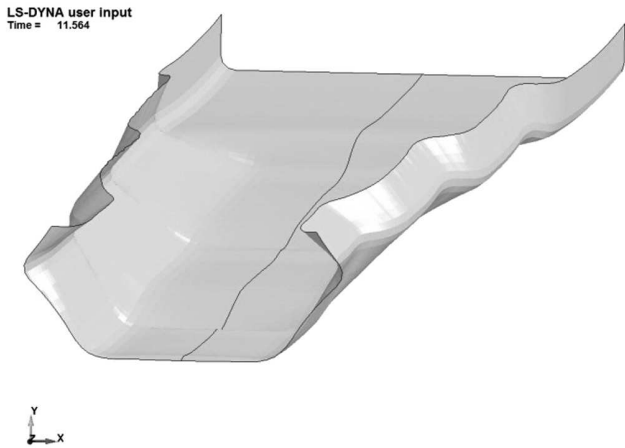


Рис. 6. Заготовка 80×40×4 мм с отогнутыми краями после формовки

ки для наглядности не показаны. Зависимость угла подгибки для данной заготовки приведена на рис. 5, а.

На рисунке 7 изображены графики изменения угла подгибки при формовке заготовок по схеме показанной на рис. 1, в и рис. 1, г.

Как было показано ранее, для плоской заготовки положение центра масс сечения в калибре не оказывает влияния на изменение угла подгибки в зоне плавного перехода. Для всех типоразмеров заготовок, имеющих отогнутые края, наблюдается такой же эффект, не смотря на большую по сравнению с плоской заготовкой жесткость поперечного сечения.

На рисунке 8 представлены две наложенные друг на друга заготовки 80×40×4 мм с отогнутыми краями, полученные в разных калибровках

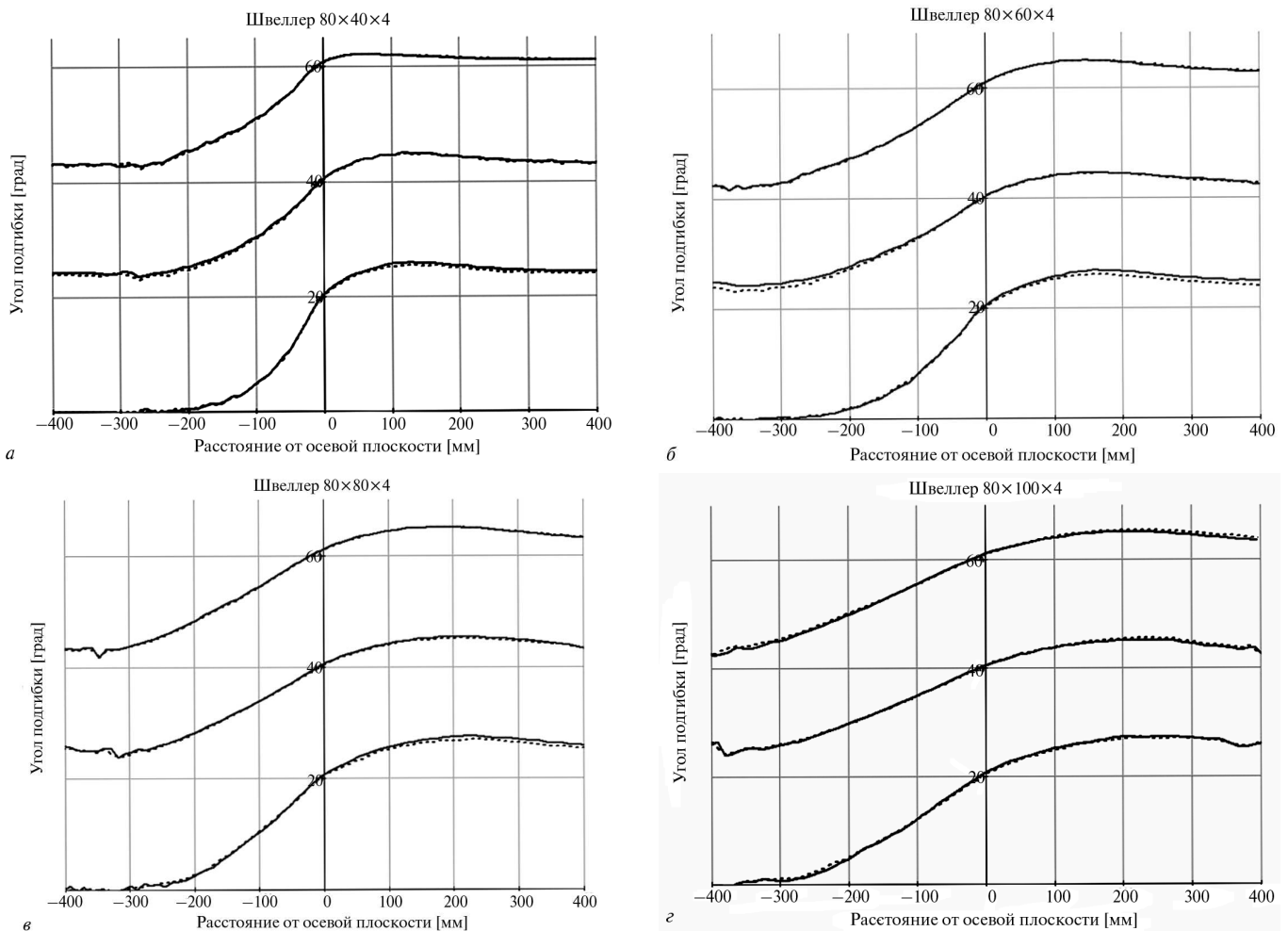


Рис. 7. Углы подгибки для заготовки с отогнутыми краями при разных режимах формовки:

а — 80×40×4; б — 80×60×4; в — 80×80×4; г — 80×100×4 мм;

— — соответствует режиму подгибки на рис. 1, в; - - - — соответствует режиму подгибки на рис. 1, г

LS-DYNA user input
Time = 11.564

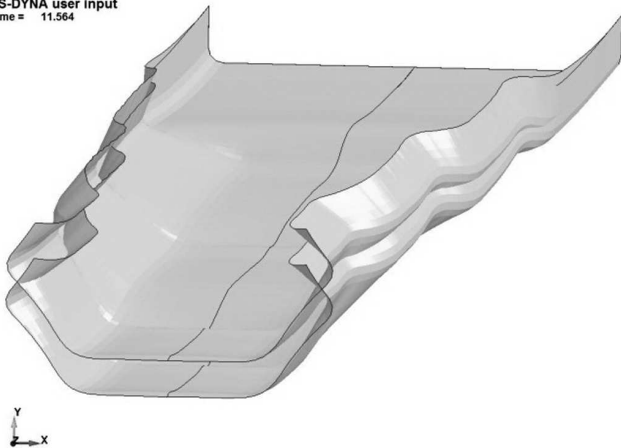


Рис. 8. Заготовки 80×40×4 мм с отогнутыми краями при формовке по разным режимам

в процессе формовки, валки, как и раньше, не показаны.

Выводы

1. Режимы профилирования при расположение на оси профилирования стенки профиля (см. рис. 1, а, в) или центров масс сечений (см. рис. 1, б, г) не оказывают значительного влияния на процесс профилирования и на геометрию получаемого образца.
2. Эффект переформовки явно выражен для образцов, которые имеют на подгибаемых полках дополнительные элементы про-

филя. У полок без дополнительных элементов заметного эффекта переформовки не наблюдалось и максимальное значение угла подгибки достигалось в зоне осевой плоскости формирующих роликов.

Литература

1. Тришевский И.С., Докторов М.Е. Теоретические основы процесса профилирования. М.: Metallurgiya, 1980. С. 288.
2. Производство и применение гнутых профилей проката; Под ред. И.С. Тришевского. М.: Metallurgiya, 1975. 535 с.
3. Описание поведения материалов в системах автоматизированного инженерного анализа / А.Ю. Муйземнек. Пенза: Информационно-издательский центр ПГУ, 2005. 157 с.
4. Моделирование процесса формовки на профилегибочном стане с эластичным и жестким инструментами / Поворов С.В. и др. // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2010. № 4. С. 86—97.

References

1. Trishevskii I.S., Doktorov M.E. *Teoreticheskie osnovy protsesssa profilirovaniia* [Theoretical basis of the profiling process]. Moscow, Metallurgiiia publ., 1980. 288 p.
2. Proizvodstvo i primeneniie gnutykh profilei prokata [The production and use of bent steel profiles]. Ed. Trishevskii I.S. Moscow, Metallurgiiia publ., 1975. 535 p.
3. Muizemnek A.Iu. *Opisanie povedeniia materialov v sistema-kh avtomatizirovannogo inzhenernogo analiza* [Description of the behavior of materials in computer-aided engineering analysis]. Penza, PGU publ., 2005. 157 p.
4. Povorov S.V. Modelirovanie protsesssa formovki na profilegibochnom stane s elastichnym i zhestkim instrumentami [Modeling of the forming process on Roll mill with flexible and rigid instruments]. *Vestnik MGTU im. N. E. Bauman. Ser. Mashinostroenie*, 2010, no. 4, pp. 86—97.

Статья поступила в редакцию 12.11.2012

Информация об авторе

ПОВОРОВ Сергей Владимирович (Москва) — кандидат технических наук кафедры «Прикладная механика». МГТУ им. Н.Э. Баумана (Россия, 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: povorovs@bmstu.ru).

Information about the author

POVOROV Sergey Vladimirovich (Moscow) — Candidate of Engineering Sciences of «Applied Mechanics» Department. MSTU named after N.E. Bauman. (BMSTU, building 1, 2-nd Baumanskaya, 5, 105005, Moscow Russia, e-mail: povorovs@bmstu.ru).