

УДК 519.6

Проблема моделирования поверхности с учетом ограничений на длины полилиний в ее сечениях

Гарифуллин Тимур Талгатович

garifullin@bmstu.ru

Волосатова Тамара Михайловна

tamarav@bmstu.ru

Берчун Юрий Валерьевич

byv@bmstu.ru

Бурков Павел Викторович

burkovpv@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Проведено исследование поверхностей, построенных в САПР общего назначения, на соответствие условию равенства длин начального, промежуточных и конечного сечений, которое вытекает из теории процесса профилирования. Показано, что одно из основных требований, предъявляемых на моделируемую поверхность, не выполняется. Произведена оценка расхождений в длинах кривых, получаемых на промежуточных сечениях, по сравнению с изначальной длиной сечения. Сделан вывод о необходимости новых методов построения поверхностей по сечениям, учитывающих ограничения на длины полилиний в промежуточных поперечных сечениях

Ключевые слова: форма поверхности, длина промежуточных сечений, профилегибочное производство, листовой прокат, формообразование, система автоматизированного проектирования

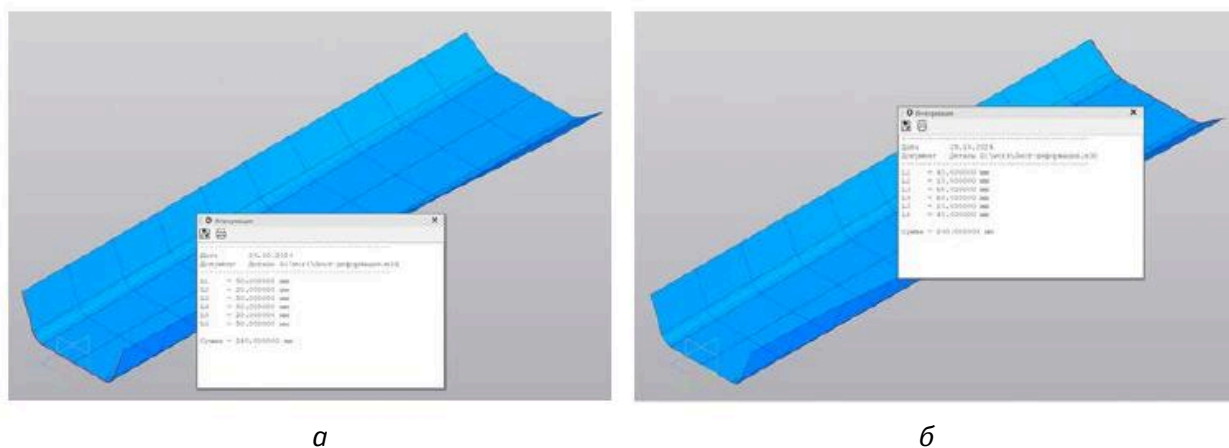
Введение. Профилегибочное производство имеет немаловажную роль в металлообрабатывающей промышленности на текущий день. Объем и номенклатура выпускаемой продукции в данной отрасли увеличиваются с каждым годом. Само производство представляет собой процесс изготовления металлических профилей различной формы из стальных листовых заготовок или рулонов методом непрерывного профилирования (формоизменения) на специальном оборудовании — прокатном стане. Продукция профилегибочного производства находит широкое применение в различных отраслях промышленности: строительство, машиностроение, судостроение, авиастроение, производство мебели.

Развитие отраслей, которые используют продукцию профилегибочного производства, подталкивает производителей как улучшать качество производимой продукции, так и добавлять новые варианты в номенклатуру выпускаемой продукции [1]. Это в свою очередь требует обновления оборудования, в частности, валка — одного из основных инструментов прокатного стана, называемого также калибром, который определяет придаваемую профилю форму. В случае необходимости выпуска профиля с совершенно новым сечением, для которого до этого не существовало оснастки, требуется проектирование набора валков прокатного стана. В связи с этим задача автоматизации процесса проектирования валков является актуальной [2].

Материалы и методы. Система проектирования набора валков прокатного стана должна предусматривать как набор стандартных геометрических ограничений, так и специфические проблемно-ориентированные ограничения, а также сквозную параметризацию за счет поддержки ассоциативных связей [3, 4]. Одним из этапов проектирования, поддержку которого целесообразно реализовать в системе, является моделирование процесса деформации и визуализация формы поверхности листа в ходе технологического процесса. С учетом того, что расчет ведется за пределами упругости, применяемые для расчетов математические модели весьма сложные и затратные с точки зрения вычислительных ресурсов. Оценка формы поверхности позволяет оперативно внести корректировки в проект, а результаты анализа, полученные с применением конечно-элементного расчета, подсвечивают проблемные участки и дефекты, например, кромковую волнистость [5].

При построении поверхности листа необходимо отталкиваться от геометрии сечений нейтрального слоя, которые определяются расположением и формой калибров, непосредственно задающих форму заготовке [6]. Исходя из геометрии, можно добавить условие касательности поверхности к валку в примыкающем сечении. В распространенных САПР общего назначения есть ряд инструментов для построения поверхностей по набору известных кривых. Одним из наиболее простых, но в то же время кажущимся подходящим для данной задачи, является инструмент, чаще всего называющийся «поверхность по сечениям» или «лофт» (loft) [7]. Но следует помнить, что данные инструменты создавались для решения широкого круга задач и при их создании не учитывались некоторые особенности предметной области производства гнутых профилей. Одной из таких особенностей является тот факт, что длины полилиний в начальном, конечном и во всех промежуточных сечениях поверхности, должны быть равны константе (деформация листовой заготовки в нейтральном слое вдоль сечения пренебрежительно мала) [3]. Такое геометрическое ограничение никак не представлено в существующих САПР общего назначения и не описано в общей теории методов построения поверхностей [7]. Принимая во внимание обозначенный факт, возникла необходимость качественной и количественной оценки удовлетворения или неудовлетворения модели поверхности, построенной по сечениям, сформулированному геометрическому ограничению.

Результаты. Для изучения вопроса были проведены эксперименты с использованием САПР КОМПАС-3D и NX. Для проведения экспериментов в каждой из систем были построены по два сечения, назовем их начальное сечение поверхности и конечное сечение поверхности (на практике это были бы сечения, которые соответствуют промежуточным калибрам, но для упрощения модели не будем рассматривать остальной ряд валков). На основе эскизов начального и конечного сечений были построены поверхности по сечениям с использованием одноименного инструмента в системе КОМПАС-3D и инструмента «поверхность / по кривым» в NX. Получившиеся в системах КОМПАС-3D и NX поверхности представлены на рис. 1 и 2 соответственно.

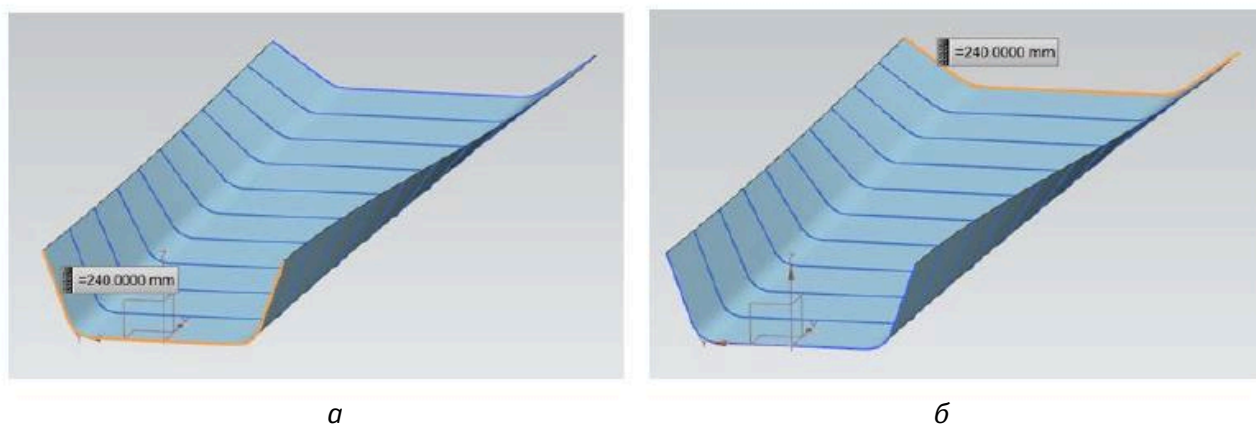


а

б

Рис. 1. Поверхность с результатами измерений длин сечений (КОМПАС-3D):

а — начальное сечение; б — конечное сечение



а

б

Рис. 2. Поверхность с результатами измерений длин сечений (NX):

а — начальное сечение; б — конечное сечение

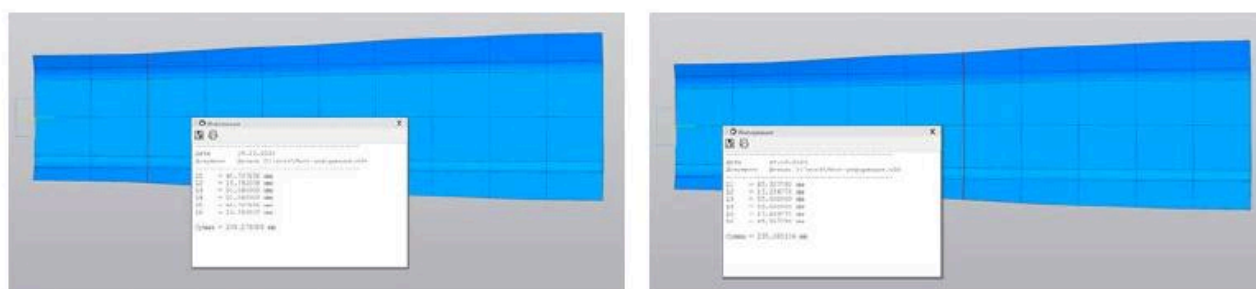


Рис. 3. Результаты измерений длин промежуточных сечений (КОМПАС-3D)

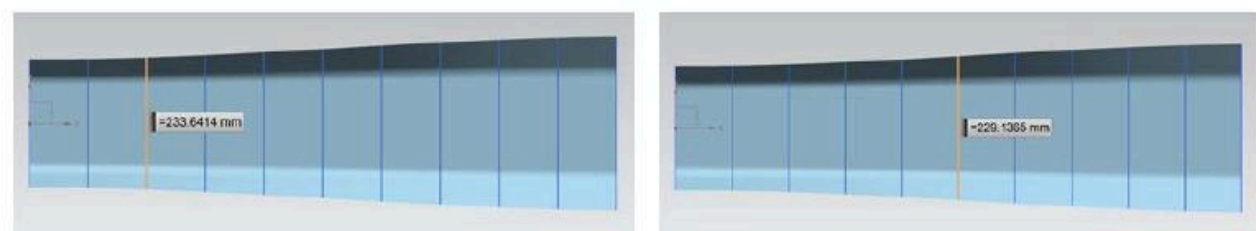


Рис. 4. Результаты измерений длин промежуточных сечений (NX)

Проверить удовлетворяет ли поверхность, построенная системой, условию равенства длин полилиний во всех промежуточных сечениях можно при помощи нескольких контрольных срезов между начальным и конечным сечениями. Для этого необходимо создать ряд вспомогательных плоскостей, параллельных начальному и конечному сечению, а затем спроецировать поверхность листа на данные плоскости для построения кривой пересечения. Получившиеся кривые будут являться промежуточными сечениями нейтрального слоя. Длины этих кривых необходимо измерить и сравнить с длинами кривых в начальном и конечном сечениях нейтрального слоя. На рис. 3 представлен процесс измерения длины кривой промежуточного сечения в системе КОМПАС-3D, а на рис. 4 — в системе NX. В таблице представлены результаты измерений длины кривой в сечениях.

Результаты измерений длины кривой в сечениях

Номер сечения	Длина кривой в сечении i, мм	
	КОМПАС-3D	NX
1	240,0	240,0
2	239,5	236,7
3	238,2	233,6
4	236,8	231,1
5	235,6	229,4
6	235,1	229,1
7	235,4	230,2
8	236,5	232,4
9	238,1	235,2
10	239,4	237,9
11	240,0	240,0

Обсуждение полученных результатов. По результатам эксперимента, представленным в таблице, можно видеть, что при использовании имеющегося в САПР инструмента «поверхность по сечениям» построенная поверхность не удовлетворяет основному ограничению, которое должно соблюдаться при проектировании оснастки профилегибочного оборудования, а именно равенству длин полилиний во всех сечениях листа на протяжении всего процесса подгибки. Получившиеся отклонения доходят до пяти процентов. Данный факт не позволяет использовать рассмотренные инструменты и алгоритмы, которые лежат в их основе, для достоверной или приближенной к достоверной оценке формы поверхности. Практическое применение поверхностей, получившихся с помощью рассмотренных инструментов, нецелесообразно и для конечно-элементного анализа, так как данные поверхности будут противоречить технологическому процессу формообразования листо-

вой заготовки, при котором длины кривых в сечениях листа в нейтральном слое сохраняют первоначальное значение.

Заключение. По результатам проведенного эксперимента выявлено, что существующий во многих САПР инструмент «поверхность по сечениям» («лофт») не позволяет строить достоверные поверхности для визуализации листовой заготовки в процессе непрерывного профилирования, а применение получаемой поверхности для КЭ анализа нецелесообразно. В связи с этим требуется разработка новых методов построения поверхностей по сечениям, учитывающих неизменность длины полилинии во всех промежуточных сечениях поверхности и их равенство начальному и конечному сечению.

Список источников

- [1] Шемшурова Н.Г., Локотунина Н.М., Антипанов В.Г., Корнилов В.Л., Солодова Е.М. Перспективы развития производства гнутых профилей в условиях ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ММК). *Вестник МГТУ им. Г.И. Носова*, 2005, № 3 (11), с. 58–61.
- [2] Бурков П.В., Гарифуллин Т.Т., Муратов К.Л. Обзор методик и инструментов для проектирования прокатного и профилегибочного оборудования. *Системы управления полным жизненным циклом высокотехнологичной продукции в машиностроении: новые источники роста. Материалы V Всерос. науч.-практ. конф.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2022, с. 53–58.
- [3] Гарифуллин Т.Т., Берчун Ю.В., Бурков П.В., Муратов К.Л. Использование проблемно-ориентированных ограничений в специализированном геометрическом решателе. *Комплексная автоматизация проектирования и производства (КАПП-2023). Материалы Первой науч.-практ. конф. с международным участием.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2024, с. 15–18.
- [4] Бурков П.В., Волосатова Т.М., Гарифуллин Т.Т., Муратов К.Л. Проблемно-ориентированные инструменты и операции в специализированной системе автоматизированного проектирования. *Комплексная автоматизация проектирования и производства (КАПП-2023). Материалы Первой науч.-практ. конф. с международным участием.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2024, с. 11–14.
- [5] Поворов С.В., Волгин Д.С. Исследование причин образования дефекта кромковой волнистости на П-профиле. *Наука, теория, практика авиационно-промышленного кластера современной России. Материалы V Междунар. науч.-произв. конф., приуроченной ко Дню Российской науки: сб. тр.* Ульяновск, УлГТУ, 2020, с. 100–113.
- [6] Тришевский И.С., Докторов М.Е. *Теоретические основы процесса профилирования.* Москва, Металлургия, 1980, 288 с.
- [7] Голованов Н.Н. *Геометрическое моделирование.* Москва, ДМК Пресс, 2024, 408 с.

The problem of surface modeling considering the limitations on the length of polylines in its sections

Garifullin Timur T.

garifullin@bmstu.ru

Volosatova Tamara M.

tamarav@bmstu.ru

Berchun Yuriy V.

byv@bmstu.ru

Burkov Pavel V.

burkovpv@bmstu.ru

BMSTU, Moscow, Russia

This paper presents the results of a research of surface shapes that are constructed in CAD systems. The purpose of the research was to validate the equality of lengths of initial, intermediate and final sections. This constraint follows from the theory of roll forming. It is shown that one of the main requirements imposed on the simulated surface is not fulfilled. The discrepancies in the lengths of curves obtained at intermediate sections compared to length of the initial section length have been calculated. It can be concluded that there is a need for new methods for constructing cross-sectional surfaces that take into account the limitations on the lengths of polylines in intermediate cross-sections.

Keywords: surface shape, length of intermediate sections, roll forming, sheet metal, forming, CAD