

УДК 621.771.06.669.721

*Рахманов С.Р.^а, Гармашев Д.Ю.^б, Степаненко А.Н.^в, Донец Д.А.^г***АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОЦЕССА ВИНТОВОЙ ПРОКАТКИ ТРУБ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**^а Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепр, Украина^б ООО «ИНТЕРПАЙП Украина», г. Днепр, Украина^в Государственное предприятие «УкрГИПРОМЕЗ», г. Днепр, Украина^г ООО «ИНТЕРПАЙП Нико Тьюб», г. Никополь, Украина

В данной работе приведены результаты исследования процесса винтовой прокатки труб с использованием деформационно-геометрической модели на основе блочных алгоритмов. Алгоритмы математической модели в виде блочной структуры позволяют вводить новые или заменять действовавшие блоки, учитывая влияние того или иного фактора на процесс прокатки труб (например, углы подачи и раскатки). Моделирование и исследование формы очага деформации при прошивке сплошной и раскатке полой заготовки проведено с учетом формы и параметров рабочих инструментов, применяемых на стане-элонгаторе, формы и величины площади контактной поверхности деформируемого металла и валков, режимов настройки базового оборудования стана в условиях работы промышленного трубопрокатного агрегата (ТПА) 5-12". В работе предложен в качестве базовой САПР графический метод, основанный на одновременном твердотельном моделировании в средах Компас-3D, Autodesk Inventor, SolidWorks, ANSYS или DEFORM-3D. Предложенные методы, учитывая простоту и высокую точность построений, позволяют проводить исследования основных параметров процесса визуализировано и эффективно, что обуславливает получение необходимых данных. Кроме того, данные продукты содержат развитые средства создания пользовательских библиотек на всех основных языках программирования. Проведена оценка точности расчета энергосиловых параметров процесса, геометрических параметров гильз и колебаний их значений при моделировании и в производственном эксперименте. Моделирование процесса прокатки позволило объяснить влияние технологических параметров процесса прокатки на качество и точность получаемых гильз и разработать методику определения точных параметров процесса и рациональной калибровки инструмента. Моделирование процесса прокатки дают возможность производить анализ процесса и разрабатывать корректирующие воздействия.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, конечные элементы, прошивные станы, трубы.

Введение

В условиях жесткой конкуренции современного рынка перед технологическими службами предприятий встают определенные задачи в сжатые сроки проведения анализа технологического процесса и рабочего инструмента сложной формы при жестких допусках на размеры конечного изделия с целью снижения его себестоимости.

Постановка задачи

Одним из основных факторов, определяю-

щим адекватность моделирования винтовой прокатки, является способ описания геометрических параметров очага деформации и процесса формоизменения металла. Из-за сложности процесса винтовой прокатки (прошивки) заготовки в валках, повернутых на углы подачи и раскатки, с использованием оправки и направляющего инструмента не всегда удастся провести исследование влияния разных факторов (сортаментных, настроечных, калибровки инструмента и др.) на итоговые параметры (качество гильз,

количество дефектов, проработку структуры обрабатываемого изделия и др.) (рис. 1).

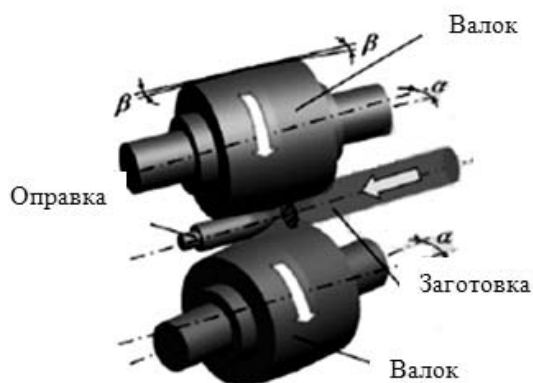


Рис. 1. Очаг деформации при винтовой прокатке труб (сечение по валку и линейке)

Это обусловлено не всегда возможной быстрой перенастройкой стана или замены инструмента. Не удастся надолго остановить работающий стан по экономическим соображениям. В такой ситуации требуется тщательный подход к планированию серии экспериментов и последующей обработке полученных данных. При проведении натурного эксперимента на действующем оборудовании, как правило, в полной мере не учитывается фактическая калибровка инструмента. Если стан останавливается на короткое время, например для планового ремонта, то на нем попутно проводят эксперимент, при этом, например, фактический износ рабочей поверхности инструмента часто не учитывается, что также влияет на результаты анализа.

Анализ последних исследований

Для нахождения параметров настройки прошивного стана необходимо точно описать геометрические характеристики очага деформации в любом поперечном сечении. Данная задача легко решается без учета разворота валков на угол подачи [1] и применительно для работы прошивных станов на небольших углах подачи (до 6°) и в составе малых ТПА [2].

Существует достаточно много работ по определению геометрических параметров очага деформации при прошивке [2–9], но существующие математические модели по геометрическим зависимостям очага деформации при точной постановке задачи приводят к сложным громоздким выражениям и уравнениям 4-го порядка, решение которых достигается различными

итерационными способами, или вводятся допущения, способствующие снижению точности расчета. В результате создания САД-программ, например, КОМПАС-3D и SolidWorks, основные геометрические зависимости в очаге деформации находятся при помощи твердотельного моделирования, основанного на поверхностном моделировании с граничным представлением твердых тел. Данный подход является наиболее точным, но для его реализации необходимы навыки работы в САД-программах.

Решение задачи

На ряде опытных предприятий институтов и заводов используются полупромышленные лабораторные станы, на которых можно проводить широкие исследования, но они по своей сути трудоемки [7–9] и сопряжены с необходимостью учета масштабного фактора при разработке рекомендаций для промышленных станов.

В данной работе приведены результаты исследования процесса винтовой прокатки труб с использованием деформационно-геометрической модели на основе блочных алгоритмов. Алгоритмы математической модели в виде блочной структуры позволяют вводить новые или заменять действовавшие блоки, учитывая влияние того или иного фактора на процесс прокатки труб (например, углы подачи и раскатки). Моделирование и исследование формы очага деформации при прошивке сплошной и раскатке полой заготовки проведено с учетом формы и параметров рабочих инструментов, применяемых на стане-элонгаторе, формы и величины площади контактной поверхности деформируемого металла и валков, режимов настройки базового оборудования стана в условиях работы промышленного ТПА 5-12”.

В работе предложен в качестве базовой САПР графический метод, основанный на одновременном твердотельном моделировании в средах Компас-3D, Autodesk Inventor, SolidWorks, ANSYS или DEFORM-3D. Предложенные методы, учитывая простоту и высокую точность построений, позволяет проводить исследования основных параметров процесса визуализировано и эффективно, что обуславливает получение необходимых данных. Кроме того, данные продукты содержат развитые средства создания пользовательских библиотек на всех основных языках программирования [7].

В настоящей модели (САПР) реализованы задачи моделирования для случаев прошивки и раскатки на основе метода конечных элементов. Планируется также разработка общего мо-

для трехмерного моделирования пластических деформаций. Объединение в единое целое средств трехмерного геометрического моделирования, разработки технологии и исследования процесса косовалковой прокатки позволяет выйти на решение задачи оптимизации технологии путем подбора условий наиболее соответствующего конечному изделию, виду прокатного оборудования и параметров технологического процесса.

Общая структура комплекса программных средств автоматизированной разработки технологии горячей винтовой прокатки приобретает вид, приведенный на рис. 2. Здесь для объединения средств автоматизации используется графический интерфейс, запускаемый как библиотека, зарегистрированная в САПР – КОМПАС-3D. Он позволяет создавать проекты процесса прошивки трубной заготовки и раскатки труб. Исходными данными являются трехмерные модели инструмента и очага деформации, создаваемые пользователем тоже КОМПАС-3D или Autodesk Inventor, SolidWorks и, импортируемые в технологическую подсистему напрямую или же из созданных файлов. Для ускорения процесса построения модели может использоваться библиотека, в которой в параметрическом виде хранятся часто встречающиеся элементы инструмента (стержни, оправки, валки и др.) разных типов.

Проектирование технологического инструмента и формы деформируемого тела осуществ-

ляют в пакете программы КОМПАС-3D на основании расчетных исходных данных.

Моделирование пластической деформации трубной заготовки в процессах прошивки и раскатки в косовалковом стане-элонгаторе проводится в программах ANSYS или DEFORM-3D. Процесс моделирования осуществляется по следующей схеме.

Геометрические параметры очага деформации определяются в зависимости от положения оси вала относительно оси заготовки, калибровки валков и линеек, а также размеров заготовки и гильзы. Исходными данными для расчета служат рассчитываемые параметры программы автоматического расчета режимов прокатки (таблицы прокатки) ТПА с пилигримовыми станами (рис. 3), которые выполняются в Microsoft Excel [7-9]. Результаты расчета заносятся в таблицу исходного файла интегрированного в Microsoft Excel.

Отображенные в таблице параметры расчета являются базовыми для построения (визуализации) очага деформации стана-элонгатора. Расчетная параметризация «конструкций» инструментов очага из 3D-геометрических прототипов реализована с помощью языка Visual Basic 6.0 (встроенного в Microsoft Excel, рис. 4), позволяющего осуществлять программную интеграцию с системами Autodesk Inventor, SolidWorks и КОМПАС-3D (рис. 5 и рис. 6).

Далее создается конечно-элементная (КЭ) модель в 3D-виде (рис. 5 и 6) с помощью про-

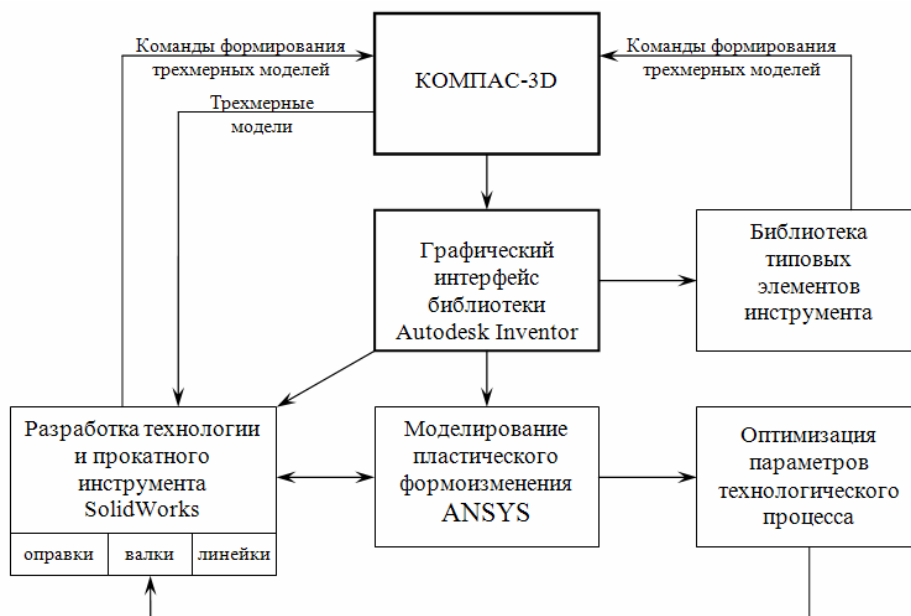


Рис. 2. Структура САПР технологии горячей винтовой прокатки труб

ТАБЛИЦА ПРОКАТКИ
горячекатаных труб на трубопрокатном агрегате 6-16".

Размер труб по стандарту, мм		Допускаемые отклонения по стандарту (ТУ)																					
Диаметр наруж., мм	Диаметр внутр., мм	Толщина стенки, мм	Масса 1 п.м., кг	Отношение Со/Днс	Диаметр наруж., мм		Диаметр внутр., мм		Толщина стенки, мм		Длина, м		Масса 1 п.м., кг		Диаметр наруж. расч., мм	Диаметр внутр., мм	Толщина стенки, мм	Откл. по толщине стенки, мм		Количество кругов, шт	Количество труб после резки шт/м	Длина без числов, мм	
					от	до	от	до	от	до	от	до	от	до				от	до				
Днс	Двнс	Сс	Со/Днс	Днсот	Днсдо	Двнсот	Двнсдо	Ссот	Ссдо	Лсот	Лсдо	Со/Днмо	Со/Днмо до	Днр	Двнр	Ср	Срот	Срдо	Кр				
			35,1	-0,503111	0,998336			-12,5279642	185,906							9,1							
168,3	150,4	8,9	35,1	0,053	167,4	170,0	0,0	0,0	7,8	25,6	0,0	12,0	0,0	0,0	169,3	153,5	7,9	7,9	25,5	3	3	13,00	
	3		5																				
	3		4																				
Координаты точки А, мм		Координаты точки В, мм		Координаты точки С, мм		Координаты точки D, мм		tgφ1	tgφ2	Координаты точки O1, мм		Координаты точки E, мм		Координаты точки O2, мм		tgφ2	tgγ	r1, мм	α0, град	Координаты точки F60, мм		Координаты точки F, мм	
XА	YA	XВ	YВ	XС	YС	XD	YD			XO1	YO1	XE	YE	XO2	YO2					Xr60	Yr60		Xr60
XА	YA	XВ	YВ	XС	YС	XD	YD	tgφ1	tgφ2	XO1	YO1	XE	YE	XO2	YO2	tgφ2	tgγ	r1	α0	Xr60	Yr60	Xr60	Yr60
-25,36	289,89	165,46	236,33	215,00	0,00	70,06	263,11	-0,2807	-11,4301	-0,90	10,31	190,24	118,16	58,11	90,47	-4,7720	1,3584	260,65	75	75,32	281,08	75	

Рис. 3. Программа автоматического расчета режимов прокатки (таблица прокатки) – блок расчета координат пространственного положения элементов очага деформации стана-элонгатора



Рис. 4. Программа параметризации «конструкций» инструментов очага деформации стана-элонгатора

граммы твердотельного моделирования (КОМПАС-3D). После построения (изменения параметров) очага деформации стана-элонгатора в автоматическом режиме отображаются ранее рассчитанные узловые точки процесса. Параметры точек далее заносятся в геометрическую мо-

дель расчета формы очага деформации и поверхности контакта металла с технологическими инструментами. Полученные в результате реализации модели параметры в виде уравнений поверхностей отображаются в объемном виде с помощью программы КОМПАС-3D и далее пе-

товки D в зависимости от координаты его сечения x и y, величину зазора g между валками в рассматриваемом сечении путем прямого измерения.

Нетрудно убедиться в том, что предлагаемая методика универсальна и может успешно использоваться для анализа различных процессов винтовой прокатки. На рис. 8 приведены результаты визуализации расчета процесса винтовой прошивки заготовки.

Проведенные исследования показали удовлетворительную сходимость результатов, полученных по данной модели с результатами, полученными на практике и проверенными по другим методикам, разработанными ранее [1–9].

Выводы

Полученные результаты моделирования соответствуют основным положениям теории обработки металлов давлением.

Моделирование процесса прокатки (прошивки) позволило объяснить характер изменения напряженно-деформированного состояния металла при винтовой прокатке, оценить влияние технологических параметров процесса (угол подачи, угол раскатки, оваллизация, калибровка инструмента и т.п.) на качество и точность получаемых гильз.

На основе пошагового моделирования процесса прошивки разработана методика по определению настроечных параметров процесса: расстояние между валками в пережиме, обжатие перед носком оправки, расстояние от захвата заготовки валками до носка оправки и т.д.

Разработанная методика позволяет с высокой достоверностью производить корректировку параметров прокатного инструмента и разрабатывать новый.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Миронов Ю.М.* Геометрические параметры процесса косоугольной прокатки // Производство труб: сб. науч. тр. УкрНИТИ. – Харьков: Metallurgizdat, 1962. – Вып. 6 – С.37-46.
2. *Меркулов Д.В., Голубчик Р.М., Чепурин М.В.* Особенности прошивки заготовок в косоугольных станах различного конструктивного исполнения // Труды IV международного конгресса прокатчиков: в 2 т. – М: АО «Черметинформация». – 2002. – Т. 2. – С.82-87.
3. Определение геометрических параметров очага деформации в станах поперечно-винтовой прокатки / Ю.Г. Гуляев, Е.И. Шифрин, И.И. Лубе и др. // Сталь. – 2013. – № 11. – С.53-55.

4. *Потапов И.Н., Полухин П.И.* Технология винтовой прокатки – М.: Metallurgy, 1990. – 344 с.

5. *Скрипаленко М.М.* Моделирование процессов прошивки с целью повышения эффективности производства полых трубных заготовок: Автореферат диссертации на соискание степени к.т.н. // Специальность 05.16.05 «Обработка металлов давлением». – М., 2007. – 21 с.

6. *Корсаков А.А.* Совершенствование технологии винтовой прокатки непрерывнолитой заготовки с целью уменьшения диаметра черновой трубы: Автореферат диссертации на соискание степени к.т.н. // Специальность 05.16.05 «Обработка металлов давлением». Челябинск., 2015. – 21 с.

7. *Havaslii C., Yamakawa T.* New methods piercing mills selling relating// ISIJ. intern., 1981. – Vol. 37. – P.12-55.

8. *Горбатюк С.М., Осадчий В.А., Туктаров Е.З.* Расчет геометрических параметров винтовой прокатки с помощью системы автоматизированного проектирования Autodesk Inventor // Metallurg. – 2011. – № 8. – С.32-34.

9. *Гармашев Д.Ю., Чув А.В., Голубицкий А.С.* Использование информационных технологий для планирования производства // Теория и практика металлургии. – 2009. – № 5-6. – С.75-79.

Поступила в редакцию 29.09.2017

АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПРОЦЕСУ ГВИНТОВОЇ ПРОКАТКИ ТРУБ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Рахманов С.Р., Гармашев Д.Ю., Степаненко О.М., Донец Д.А.

У даній роботі наведені результати дослідження процесу гвинтової прокатки труб з використанням деформаційно-геометричної моделі на основі блокових алгоритмів. Алгоритми математичної моделі у вигляді блокової структури дозволяють вводити нові або замінювати деякі блоки, з огляду на вплив того чи іншого фактора на процес прокатки труб (наприклад, кути подачі і розкатки). Моделювання та дослідження форми осередку деформації при прошивці суцільної та розкатки порожнистої заготовки виконано з урахуванням форми й параметрів робочих інструментів, що застосовуються на стані-елонгаторі, форми та величини площі контактної поверхні, що деформується, режимів налагодження базового устаткування стану в умовах роботи промислового ТПА 5-12". В роботі запропоновано у якості базової САПР графічний метод, заснований на одночасному твердотільному моделюванні в середовищах Компас-3D, Autodesk Inventor, SolidWorks, ANSYS або DEFORM-3D. Запропоновані методи, враховуючи простоту і високу точність побудов, дозволяють проводити дослідження основних параметрів процесу візуалізовано та ефективно, що обумовлює отримання необхідних даних. Крім того, дані продукти містять розвинені засоби створення користувачьких бібліотек на всіх основних мовах програмування. Здійснено оцінювання точності розрахунку енергосилових параметрів процесу, геометричних параметрів гільз й коливань їх значень при моделюванні в виробничому експерименті. Моделювання процесу прокатки дозволило пояснити вплив технологічних параметрів процесу прокатки на якість та точність одержуваних гільз й розробити методику визначення точних параметрів процесу і раціональної калибровки інструменту. Моделювання процесу прокатки дозволяє проводити аналіз процесу і розроблювати коригувальні дії.

Ключові слова: комп'ютерне моделювання, кінцеві елементи, прошивні стани, труби.

THE ANALYSIS OF PECULARITIES OF THE PROCESS OF HELICAL PIPE-ROLLING WITH THE USE OF INFORMATION TECHNOLOGIES

Rakhmanov S.R. ^a, Garmashev D.Yu. ^b, Stepanenko A.N. ^c, Donec D.A. ^d

^a National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipro, Ukraine

^b LLC Interpipe Ukraine, Dnipro, Ukraine

^c State Enterprise «GIPROMEZ», Dnipro, Ukraine

^d LLC Interpipe Nico Tub, Nikopol, Ukraine

In this paper, we present the results of a study of the process of helical rolling of pipes using a deformation-geometric model based on block algorithms. The algorithms of the mathematical model in the form of a block structure allow the introduction of new or replacement of existing blocks, taking into account the influence of one or another factor on the pipe rolling process (for example, the feeding and rolling angles). Simulation and study of the deformation focus shape during continuous flashing and rolling of the hollow billet was carried out taking into account the shape and parameters of the working tools used in the elongator, the shape and size of the contact surface area of the deformable metal and rolls, in working conditions of industrial injection molding machine 5-12''. The paper suggests CAD system based on simultaneous solid modeling in Compass-3D, Autodesk Inventor, SolidWorks, ANSYS or DEFORM-3D environments. The proposed methods, taking into account the simplicity and high accuracy of the constructions, allow to conduct studies of the main parameters of the process efficiently and with visualization, which leads to the obtaining of necessary data. In addition, these products contain advanced tools for creating user libraries in all major programming languages. The accuracy of calculation of the energy-force parameters of the process, the geometric parameters of the shells and the oscillations of their values during simulation and in the production experiment are estimated. The modeling of the rolling process made it possible to explain the influence of the technological parameters of the rolling process on the quality and accuracy of the obtained shells and to develop a method for determining the exact process parameters and rational calibration of the tool. Modeling of the rolling process allows the analysis of the process and the development of corrective actions.

Keywords: computer modeling, finite elements, piercing mills, tubes.

REFERENCES

1. Mironov Yu.M. Geometricheskie parametryi protsessa kosoy prokatki [Geometrical parameters of the process of Skew rolling]. *Production of pipes: Sat. sci. tr. UkrNITI*, Kharkov, 1962, Issue. 6, P. 37-46. (in Russian).
2. Merkulov D.V., Golubchik R.M., Chepurin M.V. Osobnosti proshivki zagotovok v kosovalkovyih stanach raznogo konstruktivnogo ispolneniya [Features of firmware inserting in the skew-steels of different design execution]. *Proceedings of the IV International Congress of Rolling Machines: 2 tons*. Moscow, JSC Chermetinformation, 2002, T. 2, pp. 82-87. (in Russian).
3. Gulyaev Yu.G., Shifrin E.I., Lube I.I. et al. Opredelenie geometricheskikh parametrov ochaga deformatsii v stanach poperechno-vintovoy prokatki [Determination of the geometric parameters of the deformation focus in transverse screw rolling mills]. *Steel*, 2013, No. 11, pp. 53-55. (in Russian).
4. Potapov I.N., Polukhin P.I. Tehnologiya vintovoy prokatki [Screw rolling technology]. *Metallurgy*, Moscow, 1990, 344 p. (in Russian).
5. Skripalenko M.M. *Modelirovanie processov proshivki s celyu povisheniya effektivnosti proizvodstva polich trubnich zagotovok* [Modeling of processes of a firmware with the purpose of increase of efficiency of manufacture of hollow pipe billets]: the dissertation Author's abstract on competition of Candidate of Chemical Sciences, Specialty 05.16.05, Processing of metals by pressure, Moscow, 2007, 21 p. (in Russian).
6. Korsakov A.A. *Sovershenstvovanie tehnologii vintovoy prokatki neprerivnolitoj zagotovki s celyu ymensheniya diametra chernovoy trybi* [Perfection of the technology of screw rolling continuously-that billet in order to reduce the diameter of the roughing pipe]: the dissertation Author's abstract on competition of Candidate of Chemical Sciences, Specialty 05.16.05, Processing of metals by pressure, Chelyabinsk, 2015, 21 p. (in Russian).
7. Havaslîi S., Yamakawa T. New methods piercing mills selling relating. *ISIJ. intern.*, 1981, Vol. 37, pp. 12-55.
8. Gorbatyuk S.M., Osadchiy V.A., Tuktarov E.Z. Raschet geometricheskikh parametrov vintovoy prokatki s pomoschyu sistemyi avtomatizirovannogo proektirovaniya Autodesk Inventor [Calculation of the geometric parameters of helical rolling using the Autodesk Inventor automated design system]. *Metal-lurg*, 2011, Vol. 8, pp. 32-34. (in Russian).
9. Garmashev D.Yu., Chuev A.V., Golubitsky A.S. Ispol-zovanie informatsionnyih tehnologiy dlya planirovaniya proiz-vodstva [Use of information technologies for production planning]. *Teoriya i praktika metallurgii*, 2009, № 5-6, pp. 75-79. (in Russian).