

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ НАКАТЫВАНИЯ ГОФРИРОВАННЫХ ПРОФИЛЕЙ НА НЕРЖАВЕЮЩЕЙ ЛЕНТЕ ТЕПЛООБМЕННИКА ДЛЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ТРУБ

Ю. В. Щипкова, А. Ю. Попов, Ю. А. Рогоза, Д. А. Кормаков

Омский государственный технический университет,
Россия, 644050, г. Омск, пр. Мира, 11

Эффективность работы регенеративных теплообменников с теплоаккумулирующими насадками, изготовленными из свернутых в рулон гофрированных лент, зависит от вида профиля их гофрирования. Наиболее эффективной формой является треугольная с острыми вершинами и впадинами. Получить гофры заданной формы технически целесообразно накатыванием между двумя роликами. Определение необходимой контактной нагрузки и сил является одной из основных задач при накатывании гофрированных лент. Недостаточность нагрузки приводит к неполному формированию профиля, а чрезмерная нагрузка — к короблению ленты. В статье представлены результаты экспериментального исследования, направленного на определение необходимой нагрузки при накатывании гофрированной ленты теплообменника для аэродинамических труб. Эксперименты и измерение сил проводились на стандартном фрезерном станке пружинным динамометром. Результаты эксперимента распространяются на ленты из нержавеющей стали толщиной от 0,3 до 0,4 мм и рифления треугольной формы.

Ключевые слова: зона контакта, контактное давление, профиль гофр, нержавеющая лента, усилие.

Введение

Основным способом испытания конструкций летательных аппаратов до сих пор является реальный эксперимент, проводимый в аэродинамических трубах с симуляцией реальных условий. Для создания необходимых условий требуется нагрев рабочего газа до определенных температурных значений при помощи нагревателя [1]. В работе рассматриваются параметры накатывания, являющиеся необходимыми и достаточными для изготовления гофрированных лент, рассчитанных ЦАГИ, изготавливаемых по методике, описанной в статье [2].

Требованиям по свойствам, предъявляемым к теплообменникам, удовлетворяет нержавеющая сталь X18H10T. Толщина ленты определена заказчиком в пределах 0,35–0,4 мм. Угол профиля рифлений выполнялся в пределах 90°–120°. Погрешность профиля рифлений задана в пределах $\pm 2^\circ$. Угол наклона рифлений относительно оси ленты от 5° до 10°. Задача по профилированию решена в статье [3]. Технология накатывания гофры разработана в ОмГТУ и имеет технологические особенности и ограничения. Сложность изготовления гофрированной ленты определяется механическими свойствами материала, созданием достаточных контактных давлений формирования профиля ленты и недопустимым короблением [4].

Наиболее производительный способ — это накатывание гофр между двумя роликами, причем схема накатывания такова, что один ролик приводной, а второй — свободно вращающийся, лента свободно движется между роликами. Гофры получают методом свободного обката. Перед накатыванием ролики сдавливают ленту с определенным усилием. Задача установить величину усилия.

Постановка задач

Кинематика процесса накатывания гофрированной ленты между двумя роликами имеет характерные особенности: влияние на процесс накатывания размеров профиля инструмента, достаточное усилие для формирования профиля и не допущения коробления ленты, скорость накатывания. Основной фактор — необходимое и достаточное усилие прижима ленты между роликами. Для определения этого усилия необходимо решить следующие задачи:

1. Определить площади контакта.
2. Определить необходимое усилие для формообразования.
3. Обеспечить допустимые величины коробления.

Необходимое усилие было рассчитано аналитически [5, 6], методом математического моделирования [7, 8] и определено экспериментально.

Условия и ограничения

Перед определением необходимых усилий требуется определить условности и ограничения, необходимые для корректной работы инструмента. В первую очередь это касается геометрии самих роликов, а точнее, диаметра.

Для корректной работы роликов и точного прокатывания в зацеплении должно находиться 3–4 зуба. При увеличении числа зубьев возникает неконтролируемый процесс деформации ленты, связанный с доминированием растягивающих нагрузок. Из-за этого лента в некоторых местах утоняется за пределы допуска, происходит коробление и существенное «пружинение» (упругое последствие), что приводит к ухудшению плотности намотки ленты теплообменника. При уменьшении числа

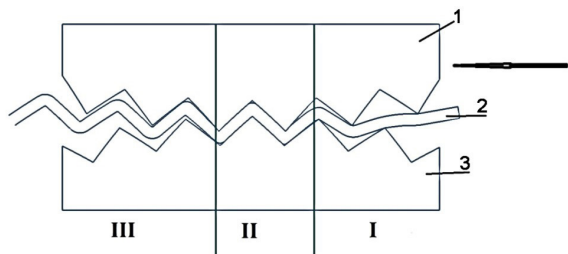


Рис. 1. Кинематическая схема зацепления:
 1 — приводной ролик; 2 — лента;
 3 — свободно вращающийся ролик;
 I — зона предварительного изгиба ленты;
 II — зона формирования профиля ленты;
 III — зона релаксации и пружинения
 Fig. 1. Kinematic scheme of engagement:
 1 — drive roller; 2 — belt; 3 — freely rotating roller;
 I — zone of preliminary bending of the belt;
 II — zone of forming the profile of the belt;
 III — zone of relaxation and springing

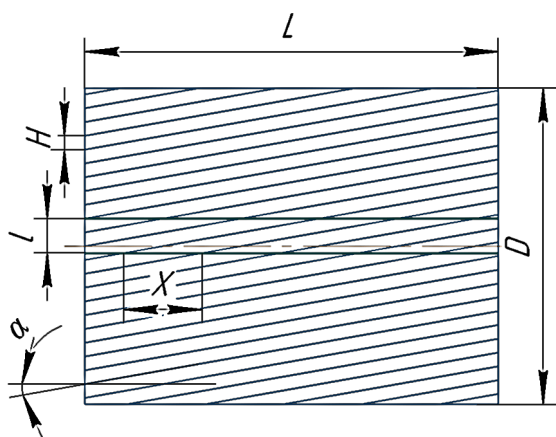


Рис. 2. Область зацепления
 Fig. 2. Engagement area

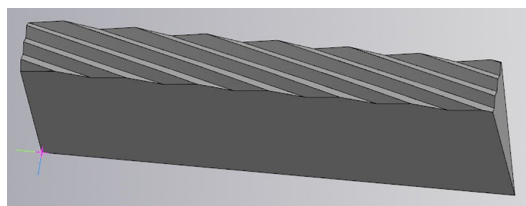


Рис. 3. Зона зацепления
 Fig. 3. Engagement zone

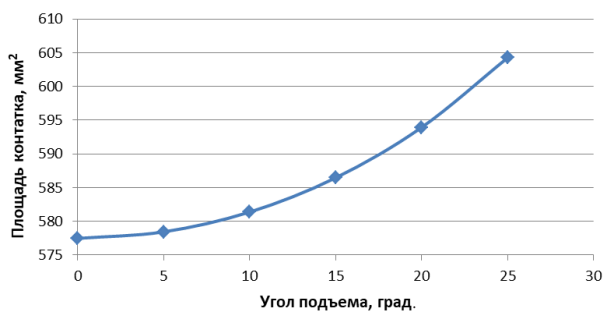


Рис. 4. Зависимость между углом подъема витков ролика и площадью контакта
 Fig. 4. The relationship between the angle of lifting of the roller turns and the contact area

зубьев, находящихся в одновременном зацеплении, происходит нарушение кинематики процесса и профиль ленты искажается из-за недостаточной фиксации во время формирования рифлений. Таким образом, диаметр роликов должен выбираться исходя из условия, что в одновременном зацеплении должно находиться именно 3–4 зуба. На рис. 1 представлена кинематическая схема зацепления ленты в роликах, построенная на основании экспериментальных исследований.

Определение площади контакта

Для расчета нагрузки необходимо определить величину площади контакта зубьев роликов с лентой в зависимости от длины контакта, ширины роликов и угла подъема витков, а также контактное давление. Наибольшую сложность представляет влияние на площадь контакта угла подъема витков.

В статье [9] представлен численный метод определения площади контакта поверхности. Площадь контакта в первом приближении было решено рассчитать, используя программу Компас 3D.

Площадь контакта определяется как общая площадь поверхности части ролика, находящаяся в области зацепления. Диаметр роликов определен из условия контакта по четырем виткам.

Область, находящаяся в зацеплении при угле подъема витков 10° , обозначена на рис. 2.

Площадь контакта для роликов с диаметром $D=55,46$ мм, шириной $L=60$ мм, количеством зубьев 72, высотой зуба 1,07 мм, для углов подъема α от 0° до 20° была определена в программе Компас 3D. На рис. 3 изображена область ролика, находящаяся в зацеплении.

На графике представлены результаты расчета площади контакта от угла подъема витков рис. 4.

Как видно из графика, площадь контакта для углов подъема $0^\circ-10^\circ$ меняется в пределах 2%, дальнейшее увеличение угла подъема витков ведет к резкому увеличению площади контакта. При расчетах и построении было принято упрощение — зубья находятся в зацеплении всей площадью. Это упрощение будет влиять на расчет нагрузки. Поэтому необходимо определять среднее и максимальное контактное давление.

Моделирование процесса накатывания

Для расчета контактных давлений и сил применялось п/о Simufact Forming, где было произведено моделирование процесса накатывания на скоростях до 3 м/мин.

При моделировании использовались следующие переменные параметры: комбинированный закон трения — коэффициент трения (Кулон) = 0,3; модуль трения (Зибель) = 0,7; твердость стали по Виккерсу = 198,90; предел прочности = 569 МПа.

На рис. 5 обозначено распределение контактных давлений по изделию.

Максимальное контактное давление соответствует значению в 1814,36 МПа. Среднее контактное давление в области зацепления в пределах 65 МПа.

В результате расчетов выявлено, что усилие, необходимое для прокатывания ленты с заданными параметрами, при скорости перемещения до 3 м/мин, с углом наклона профиля 10° и площади контакта 581 мм^2 составляет 37765 Н.

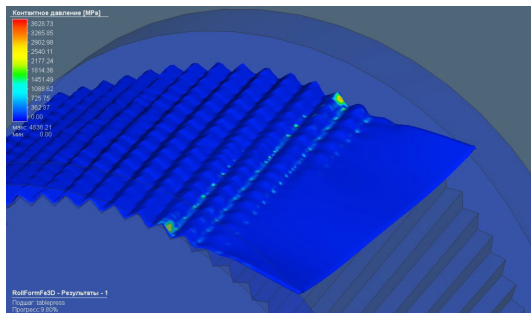


Рис. 5. Распределение контактных давлений
Fig. 5. Distribution of contact pressures

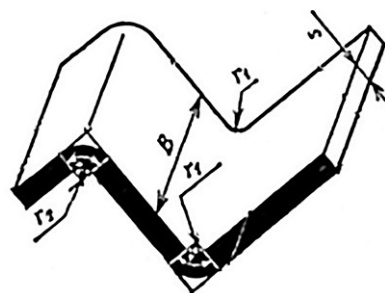


Рис. 6. Схема z-образной гибки
Fig. 6. Z-shaped bending scheme

Таблица 1. Усилия z-образной гибки
в зависимости от радиуса гибки
Table 1. Z-shaped bending forces depending
on the bending radius

r , мм	r/s	K_r	$P_{гб}$, Н	$P_{прж}$, Н	$P_{об}$, Н
0,917	2,62	0,25	99,575	29,8725	129,45
0,4585	1,31	0,34	135,422	40,6266	176,05
0,2751	0,786	0,43	171,269	51,3807	222,65
0,04585	0,131	0,7	278,81	83,643	362,45

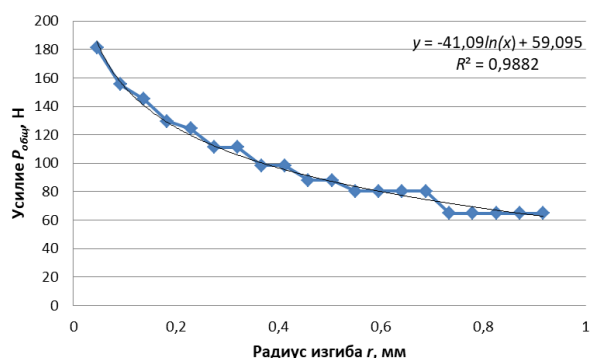


Рис. 7. График зависимости усилия гибки от радиуса изгиба
Fig. 7. Graph of the bending force dependence on the bending radius

Моделирование дает достаточно точный результат и позволяет смоделировать кинематику процесса накатывания. Но программа не позволяет учесть величину радиуса вершин роликов. Учесть влияние на напряжения этого радиуса можно через методику расчета усилия при гибке листового материала. Однако она не соответствует кинематике процесса накатывания, но позволяет определить поправочный коэффициент для максимальной и средней нагрузки.

Определение поправочного коэффициента

Для учета влияния радиуса на напряжение необходимо рассчитать усилия гибки. Процесс формирования гофры может быть принят как гибка z-образной формы (рис. 6) [5].

При свободной гибке требуемое усилие $P_{гб}$ (Н) определяется по формуле

$$P_{гб} = B_r s K_r \sigma_{вб},$$

где B_r — сумма длин линий сгиба, которые обеспечиваются за одну операцию. Для z-образной гибки

$B_r = B = 2$ мм; s — толщина материала, $s = 0,35$ мм; K_r — коэффициент, определяемый по зависимости от соотношения радиуса гибки и толщины материала [5]; $\sigma_{вб}$ — предел прочности изгибаемого материала, $\sigma_{вб} = 569$ МПа.

Если гибка осуществляется с прижимом, то усилие прижима

$$P_{прж} = (0,25 \dots 0,3) P_{гб}.$$

И, соответственно, общее усилие

$$P_{общ} = P_{гб} + P_{прж}.$$

Минимальный радиус угла гофры получен в результате эксперимента и равен 0,0459 мм.

В табл. 1 представлены результаты расчетов при гибке стали на разный радиус.

На рис. 7 представлена зависимость между величиной изгиба и необходимым усилием на 1 мм ширины. Ширина ленты составляет 50 мм, т.е. для получения гофры с требуемыми параметрами необходимо приложить усилие, эквивалентное 1850 кг.



Рис. 8. Наладка для измерения сил
Fig. 8. Adjustment for force measurement

Таблица 2. Результаты определения нагрузки
Table 2. Load determination results

Величина предварительного натяга, Н	Результат при условии скорости проката 0,1 м/мин и 1 проходе
30000	непрокат неустойчивый результат
40000	устойчивый результат при низкой скорости прокатывания или при многократном проходе
45000	коробление ленты

Однако основным недостатком данного расчета является то, что в этих формулах не учитывается скорость деформации. При свободной гибке процесс формирования занимает достаточно длительное время, в течение которого в металле уменьшаются внутренние напряжения и происходят процессы пластической деформации, уменьшающие величину пружинения [10]. При изготовлении ленты методом накатывания одним из основных параметров является увеличение скорости изготовления изделия.

Зависимость между скоростью деформации и пластическими изменениями были описаны еще в статьях [11–12].

Усилие гибки, начиная с радиуса 0,6 мм, равняется 80 и больше практически не изменяется, таким образом, этот радиус может быть взят за исходную отметку, при которой искомый поправочный коэффициент = 1. Поправочный коэффициент для радиусов меньше 0,6 мм определяется как отношение усилия гибки с заданным радиусом к исходному (при радиусе 0,6 мм).

При радиусе 0,3 мм усилие гибки составляет 112 Н. Поправочный коэффициент примет значение 1,4.

С учетом поправочного коэффициента расчетное усилие накатывания составляет 52871 Н, а контактное давление — 91 МПа/мм².

Эксперимент

Для подтверждения полученных результатов был проведен эксперимент. Он проводился на универсальном горизонтальном консольно-фрезерном станке 6Н81.

Для определения усилия был использован динамометр ДОСМ-5. Калибровка прибора проводилась непосредственно перед началом эксперимента.

Динамометр был установлен под верхний ролик (рис. 8).

Предварительный натяг устанавливается вручную, путем вертикальной подачи стола на заданное расстояние.

Результаты проведения эксперимента представлены в табл. 2.

Таким образом, можно сделать вывод, что для получения устойчивого результата (проработки впадин) невозможно создать статическое усилие, при котором происходит проработка гофр без коробления ленты при скорости прокатывания от 2 до 3 м/мин. Поэтому было принято решение: наравне со статической приложить еще и ударную нагрузку. В кинематике процесса данная нагрузка может быть определена как подчеканка [13].

При проведении эксперимента усилие подчеканки выбиралось эмпирически до получения устойчивого результата. Измерение ударной нагрузки производилось с помощью пьезометрического датчика, определяющего амплитуду движения траверсы станка.

В результате экспериментально была получена суммарная нагрузка, равная 51000 Н.

Выводы

1. В работе представлена методика расчета площади контакта ролика и ленты и установлена зависимость между площадью контакта и величиной угла подъема витков ролика.

2. Разработана модель процесса накатывания ленты и представлена методика расчета контактно-го давления и нормальных сил в программном комплексе Simufact Forming со скоростью деформации, сопоставимой со скоростью растяжения ленты на разрыв.

3. Установлены величины сил и контактных давлений (52871 Н и 91) МПа/мм²) при которых возможно прокатывание ленты за один проход при скорости от 2 до 3 м/мин, но при которых происходит коробление ленты.

4. Экспериментально установлено, что замена части статической нагрузки на ударную позволяет произвести накатывание ленты за один проход при скорости от 2 до 3 м/мин при полном формировании профиля и исправить коробление ленты.

5. Величина ударной нагрузки определялась эмпирически и составила 7400 Н. Ударная нагрузка обеспечивалась за счет установки на траверсу станка электродвигателя с неуравновешенным маховиком.

Список источников

1. Пат. 2251057 Российская Федерация, МПК F 24 Н 7/02. Кауперный подогреватель газа / Куршин А. П., Баранов А. А. № 2003127785/06; заявл. 16.09.03; опубл. 27.04.05, Бюл. № 12. 4 с.
2. Popov A. Yu., Shchipkova Yu. V. The Design of Rollers for Rolling Corrugations in the Ribbon // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1260. P. 1–7. DOI: 10.1088/1742-6596/1260/6/062019.
3. Щипкова Ю. В., Попов А. Ю. Профилирование роликов для формообразования гофрированных профилей на ленте теплообменника для аэродинамических труб. // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2021. № 2 (137). С. 16–27.
4. Сапрыкин Б. Ю. Анализ способов расчета пружинения листовых материалов // Известия МГТУ (МАМИ). 2013. № 2 (16). С. 133–139. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-sposobov-rascheta-pruzhineniya-listovykh-materialov> (дата обращения: 16.03.2021).
5. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка / под ред. Рудмана Л. И. Москва: Машиностроение, 1988. 496 с.
6. Eltantawie M. A., Elsoaly E. E. A static approach for determination of bending force and spring-back during punching process // International journal of mechanical engineering and robotics science. 2012. Vol. 1. P. 192–202.
7. Gavrilescu I., Boazu D., Stan F. Estimating of Bending Force and Curvature of the Bending Plate in a Three-Roller Bending System Using Finite Element Simulation and Analytical Modeling // Materials. 2021. Vol. 14 (5). 1204. DOI: 10.3390/ma14051204.
8. Бодунов Н. М. Математическое моделирование процессов гибки тонкостенных деталей с учетом геометрической нелинейности // Приоритетные направления развития науки и образования: моногр. Пенза: Наука и Просвещение, 2017. Разд. 2, гл. 8. С. 174–196.
9. Ежов А. Д., Быков Л. В., Меснянкин С. Ю. Численный метод определения фактической площади контакта соприкасающихся тел // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2018. № 9. С. 92–96. DOI: 10.1134/S0207352818090135.

10. Панферова Е. А. Влияние скорости при моделировании процесса формообразования профильных заготовок методом гибки с растяжением в горячем состоянии // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2014. №. 10-2. С. 91–97.

11. Гуляев Ю. А. Влияние скорости деформирования на процесс прямого холодного выдавливания осесимметричных деталей из легированных сталей // Кузнечно-штамповочное производство. 1984. № 10. С. 12–14.

12. Корнеев И. Н., Мороховец Г. М., Филатов Ф. И. [и др.]. Исследование технологической пластичности нержавеющей сталей // Кузнечно-штамповочное производство. 1961. № 14. С. 9–12.

13. Бобин К., Курлаев Н., Петуныкина Л. Технология изготовления деталей летательных аппаратов. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2015. 90 с. ISBN 978-5-7782-2647-0.

ЩИПКОВА Юлия Владимировна, аспирант кафедры «Металлорежущие станки и инструменты»; старший преподаватель кафедры «Нефтегазовое дело, стандартизация и метрология».

SPIN-код: 1233-2755

AuthorID (РИНЦ): 830012

AuthorID (SCOPUS): 57201775187

Адрес для переписки: ylia_sipkova@mail.ru

ПОПОВ Андрей Юрьевич, доктор технических наук, профессор (Россия), профессор кафедры «Металлорежущие станки и инструменты».

SPIN-код: 4871-2344

AuthorID (РИНЦ): 175664

ORCID: 0000-0002-7703-9283

AuthorID (SCOPUS): 25228115700

Адрес для переписки: popov_a_u@list.ru

РОГОЗА Юрий Анатольевич, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент кафедры «Инженерная геометрия и САПР».

SPIN-код: 5921-6466

AuthorID (РИНЦ): 421229

AuthorID (SCOPUS): 57201776732

Адрес для переписки: rogosa-yu@yandex.ru

КОРМАКОВ Дмитрий Александрович, старший преподаватель кафедры «Машиностроение и материаловедение», секция «Машины и технология обработки металлов давлением».

SPIN-код: 1699-2068

AuthorID (РИНЦ): 831541

ORCID: 0000-0001-7101-0140

ResearcherID: I-6404-2017

Адрес для переписки: kuzmichkor@mail.ru

Для цитирования

Щипкова Ю. В., Попов А. Ю., Рогоза Ю. А., Кормаков Д. А. Определение усилий накатывания гофрированных профилей на нержавеющей ленте теплообменника для аэродинамических труб // Омский научный вестник. Сер. Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. 2021. Т. 5, № 2. С. 106–112. DOI: 10.25206/2588-0373-2021-5-2-106-112.

Статья поступила в редакцию 02.04.2021 г.

© Ю. В. Щипкова, А. Ю. Попов, Ю. А. Рогоза, Д. А. Кормаков

DETERMINATION OF ROLLING FORCES OF CORRUGATED PROFILES ON STAINLESS BELT OF HEAT EXCHANGER FOR WIND TUNNELS

Yu. V. Shchipkova, A. Yu. Popov, Yu. A. Rogoza, D. A. Kormakov

Omsk State Technical University,
Russia, Omsk, Mira Ave., 11, 644050

The efficiency of regenerative heat exchangers with heat storage nozzles made of rolled corrugated tapes depends on the type of their corrugation profile. The most effective form is a triangular one with sharp peaks and troughs. It is technically advisable to get corrugations of a given shape by rolling between two rollers. Determining the required contact load and forces is one of the main tasks when rolling corrugated belts. Insufficient load leads to incomplete formation of the profile, and excessive load leads to warping of the belt. The article presents the results of an experimental study aimed at determining the required load when rolling a corrugated heat exchanger belt for wind tunnels. Experiments and force measurements are carried out on a standard milling machine with a spring dynamometer. The results of the experiment are applied to stainless steel strips with a thickness of 0,3 to 0,4 mm and triangular fluting.

Keywords: contact area, contact pressure, corrugation profile, stainless tape, force.

References

1. Patent 2251057 Russian Federation, IPC F 24 H 7/02. Kaupernyy podogrevatel' gaza [Hot blast gas heater] / Kurshin A. P., Baranov A. A. No. 2003127785/06. (In Russ.).
2. Popov A. Yu., Shchipkova Yu. V. The Design of Rollers for Rolling Corrugations in the Ribbon // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1260. P. 1–7. DOI: 10.1088/1742-6596/1260/6/062019. (In Engl.).
3. Shchipkova Yu. V., Popov A. Yu. Profilirovaniye rolikov dlya formoobrazovaniya gofirovannykh profiley na lente teploobmennika dlya aerodinamicheskikh trub [Roller profiling for shaping corrugated profiles on the heat exchanger tape for wind tunnels] // Vestnik MGTU im. N. E. Baumana. Ser. Mashinostroyeniye. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series Mechanical Engineering*. 2021. No. 2 (137). P. 16–27. DOI: 10.18698/0236-3941-2021-2-16-27. (In Russ.).
4. Saprykin B. Yu. Analiz sposobov rascheta pruzhineniya listovykh materialov [Analysis of calculation methods of springback of sheet materials] // Izvestiya MSTU (MAMI). *Izvestiya MSTU (MAMI)*. 2013. No. 2 (16). P. 133–139. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-sposobov-rascheta-pruzhineniya-listovykh-materialov> (accessed: 16.03.2021). (In Russ.).
5. Spravochnik konstruktora shtampov: Listovaya shtampovka [Stamp designer's guide: Sheet metal stamping] / Ed. L. I. Rudman. Moscow, 1988. 496 p. (In Russ.).
6. Eltantawie M. A., Elsoaly E. E. A static approach for determination of bending force and spring-back during punching process // International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Science. 2012. Vol. 1. P. 192–202. (In Engl.).
7. Gavrilescu I., Boazu D., Stan F. Estimating of Bending Force and Curvature of the Bending Plate in a Three-Roller Bending System Using Finite Element Simulation and Analytical Modeling // Materials. 2021. Vol. 14 (5). 1204. DOI: 10.3390/ma14051204. (In Engl.).
8. Bodunov N. M. Matematicheskoye modelirovaniye protsessov gibki tonkostennykh detaley s uchetom geometricheskoy nelineynosti [Mathematical modeling of bending thin-walled parts processes taking into account geometric nonlinearity] // Prioritetnye napravleniya razvitiya nauki i obrazovaniya [Priority directions of development of science and education]. Penza, 2017. Section 2, Ch. 8. P. 174–196. (In Russ.).
9. Ezhov A. D., Bykov L. V., Mesnyankin S. Yu. Chislennyy metod opredeleniya fakticheskoy ploshchadi kontakta sopriksayushchikhya tel [Numerical method of determining the real area of contacting surfaces] // Poverkhnost'. Rentgenovskiy, sinkhrotronnyye i neytronnyye issledovaniya. *Journal of Surface Investigation: X-Ray, Synchrotron and Neutron Techniques*. 2018. No. 9. P. 92–96. DOI: 10.1134/S0207352818090135. (In Russ.).
10. Panferova E. A. Vliyaniye skorosti pri modelirovani protsessu formoobrazovaniya profil'nykh zagotovok metodom gibki s rastyazheniyem v goryachem sostoyanii [Influence of the speed in simulation of the profile workpiece forming process by bending with stretching in the hot state] // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskkiye nauki. *Izvestiya Tula State University*. 2014. No. 10-2. P. 91–97. (In Russ.).
11. Gulyayev Yu. A. Vliyaniye skorosti deformirovaniya na protsess pryamogo kholodnogo vydavlivaniya osesimmetrichnykh detaley iz legirovannykh staley [Influence of the deformation rate on the process of direct cold extrusion of axisymmetric parts made of alloyed steels] // Kuznechno-shtampovochnoye proizvodstvo. *Kuznechno-Shtampovochnoye Proizvodstvo*. 1984. No. 10. P. 12–14. (In Russ.).
12. Korneyev I. N., Morokhovets G. M., Filatov F. I. [et al.]. Issledovaniye tekhnologicheskoy plastichnosti nerzhavayushchikh staley [Research of technological plasticity of stainless steels] // Kuznechno-shtampovochnoye proizvodstvo. *Kuznechno-Shtampovochnoye Proizvodstvo*. 1961. No. 14. P. 9–12. (In Russ.).
13. Bobin K., Kurlayev N., Petun'kina L. Tekhnologiya izgotovleniya detaley letatel'nykh apparatov [Technology of manufacturing aircraft parts]. Novosibirsk, 2015. 90 p. ISBN 978-5-7782-2647-0. (In Russ.).

SHCHIPKOVA Yulia Vladimirovna, Graduate Student, Metal-cutting Machines and Tools Department; Senior Lecturer of Oil and Gas Engineering, Standartization and Metrology Department.



SPIN-code: 1233-2755
AuthorID (RSCI): 830012
AuthorID (SCOPUS): 57201775187
Correspondence address: ylia_sipkova@mail.ru
POPOV Andrey Yuryevich, Doctor of Technical Sciences, Professor of Metal-cutting Machines and Tools Department.
SPIN-code: 4871-2344
AuthorID (RSCI): 175664
ORCID: 0000-0002-7703-9283
AuthorID (SCOPUS): 25228115700
Correspondence address: popov_a_u@list.ru
ROGOZA Yuriy Anatolyevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Geometry in Engineering and Computer-aided Design Department.
SPIN-code: 5921-6466
AuthorID (RSCI): 421229
AuthorID (SCOPUS): 57201776732
Correspondence address: rogoza-yu@yandex.ru

KORMAKOV Dmitriy Aleksandrovich, Senior Lecturer of Machine Engineering and Material Science Department.
SPIN-code: 1699-2068; AuthorID (RSCI): 831541
ORCID: 0000-0001-7101-0140
Researcher ID: I-6404-2017
Correspondence address: kuzmichkor@mail.ru

For citations

Shchipkova Yu. V., Popov A. Yu., Rogoza Yu. A., Kormakov D. A. Determination of rolling forces of corrugated profiles on stainless belt of heat exchanger for wind tunnels // Omsk Scientific Bulletin. Series Aviation-Rocket and Power Engineering. 2021. Vol. 5, no. 2. P. 106 – 112. DOI: 10.25206/2588-0373-2021-5-2-106-112.

Received April 2, 2021.

© Yu. V. Shchipkova, A. Yu. Popov, Yu. A. Rogoza, D. A. Kormakov