

УДК621.7

Разработка адаптивного метода регулирования скорости подачи оправки в процессе раскатки колец

Евдокимов Данила Валериевич¹

dv_evdokimov@mail.ru

Тарасов Иван Сергеевич²

TI-28-095-K@yandex.ru

Евсюков Сергей Александрович¹

esa@bmstu.ru

¹ МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия² ПАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА», Верхняя Салда, Россия

Аннотация. Исследование включает в себя описание способа определения скорости подачи оправки с помощью кусочно-линейной функции. Предложена процедура поиска ускорения оправки для каждого оборота кольца, учитывающая перегрев материала и отклонение внешнего диаметра от требуемых значений. Проведены моделирования раскатки прямоугольного кольца из титанового сплава ВТ6 и определены кинематические характеристики.

Ключевые слова: раскатка колец, скорость подачи оправки, метод конечных элементов, кусочно-линейная аппроксимация, титановые сплавы

Improvement of the method of determining the feed speed of the mandrel during rolling

Evdokimov Danila Valerievich¹

dv_evdokimov@mail.ru

Tarasov Ivan Sergeevich²

TI-28-095-K@yandex.ru

Evsyukov Sergey Aleksandrovich¹

esa@bmstu.ru

¹ BMSTU, Moscow, Russia² VSMPO-AVISMA Corporation, Verkhnyaya Salda, Russia

Abstract. The study includes a description of the method for determining the feed rate of the mandrel using a piecewise linear function. A procedure for finding the acceleration of the mandrel for each revolution of the ring is proposed, taking into account the overheating of the material and the deviation of the outer diameter from the required values. Modeling of the rolling of a rectangular ring made of titanium alloy VT6 was performed and kinematic characteristics were determined.

Keywords: ring rolling, mandrel feed rate, finite element method, piecewise linear approximation, titanium alloys

Введение. Раскатка колец — это метод производства бесшовных колец заданного профиля путем увеличения диаметра заготовки с одновременным сокращением ее высоты и толщины, рис. 1. Эффективность всего технологического процесса, включая такие аспекты, как распределение температурных полей и деформаций, качество микроструктуры и механических свойств,

точность профиля и форма кольца, определяется согласованностью скоростей: вращения главного валка, подачи оправки и осевых валков [1, 2]. Следовательно, корректный выбор и установка данных скоростных параметров является залогом получения изделия, соответствующего всем предъявляемым требованиям.

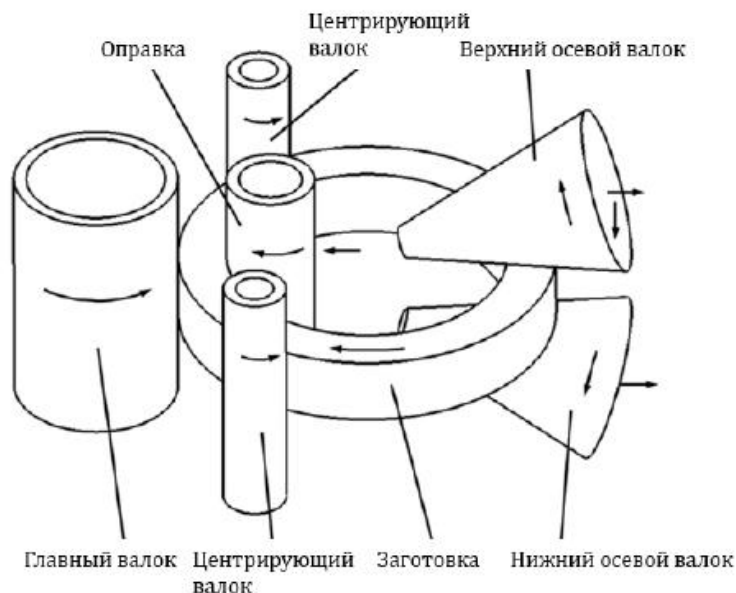


Рис. 1. Схема раскатки

Цель работы — получение кольца необходимой формы и размеров с требуемыми свойствами путем определения рационального способа формализации скорости подачи оправки. В исследование ставились следующие задачи: теоретический анализ изменения скорости подачи оправки во время раскатки, разработка нового способа определения скорости подачи оправки. Анализ процесса раскатки осуществлялся с помощью моделирования в ПО QForm.

Определение кинематики процесса раскатки. Обычно зависимость скорости подачи оправки определяется на весь процесс некоторой функцией, например, полиномом второй степени [3]. Непосредственно значения скоростей определяются из условия захвата кольца между оправкой и главным валком [4, 5]. В таком случае, чтобы определить влияние движения оправки на характеристики раскатки необходимо промоделировать весь процесс раскатки. Предлагается более гибкий способ формализации скорости подачи оправки в виде кусочно-линейной функцией (рис. 2).

Скорость подачи оправки для каждого отдельного оборота задается линейной функцией с сохранением условия неразрывности между оборотами. Так свободный коэффициент $v_{r(i-1)}$ задает скорость в начале оборота, а зная ускорение подачи оправки a_i можно вычислить скорость в любой момент времени по формуле (1).

$$v_{ri} = a_i(t_{i\alpha} - t_{(i-1)\alpha}) + v_{r(i-1)}, \quad (1)$$

где v_{ri} , мм/с — скорость подачи оправки в конце оборота; $v_{r(i-1)}$, мм/с — скорость подачи оправки в начале оборота; a_i , мм/с² — ускорение оправки; $t_{i\alpha} - t_{(i-1)\alpha}$, с — время оборота.

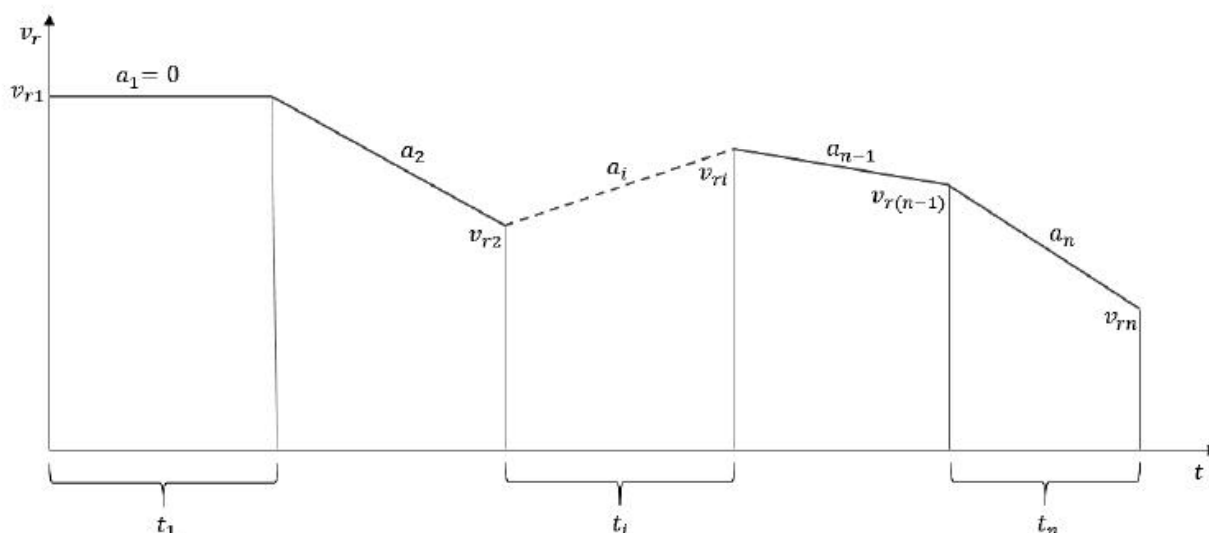


Рис. 2. Кусочно-линейная функция формализация скорости подачи оправки

Таким образом, в качестве угла поворота α , для которого скорость подачи оправки аппроксимируется линейной зависимостью, был принят угол 360° , соответствующий одному полному обороту кольца. Использование меньших углов затрудняет корректную оценку степени приближения текущей формы кольца к требуемой и приводит к возрастанию уровня шума в анализируемых данных. В то же время увеличение угла выше 360° не дает существенного улучшения в подборе скорости подачи оправки, поскольку линейная аппроксимация может быть заменена несколькими последовательными линейными участками. Следовательно, одного оборота кольца оказывается достаточно для обеспечения корректной оценки характеристик кольца и сохранения необходимой гибкости управления скоростью подачи оправки.

Результаты расчета процесса раскатки. Исследование возможности использования кусочно-линейной аппроксимации скорости подачи оправки основывается на моделировании раскатки прямоугольного кольца из сплава ВТ6. Размеры заготовки: наружный диаметр 600 мм, высота 180 мм, внутренний диаметр 350 мм. Конечный размер кольца: наружный диаметр 800 мм, высота 180 мм, внутренний диаметр 640 мм. Для каждого оборота кольца последовательно перебирались значения ускорения a в диапазоне от -1 мм/с² до 1 мм/с² с шагом $0,05$ мм/с². Таким образом фиксировалось значение ускорения оправки и осуществлялось моделирование полного оборота кольца вокруг своей оси и рассчитывались значения необходимых характеристик. Линейная аппроксимация считалась допустимой, если для всех оборотов кольца можно найти значения ускорений a , которые гарантируют отсутствие пере-

грева, т. е. максимальная температура материала меньше температуры полного полиморфного превращения $980\text{ }^{\circ}\text{C}$ для сплава ВТ6. При этом относительное изменение площади сечения кольца стандартное отклонение диаметра не должно превышать 15 % и 10 мм соответственно.

В результате была определена скорость подачи оправки и скорость роста диаметра, рис. 3. Кольцо совершило 12 полных оборотов, а для поиска значений ускорений было выполнено 200 моделирований оборотов кольца и определены значения скоростей и ускорений подачи оправки (см. таблицу).

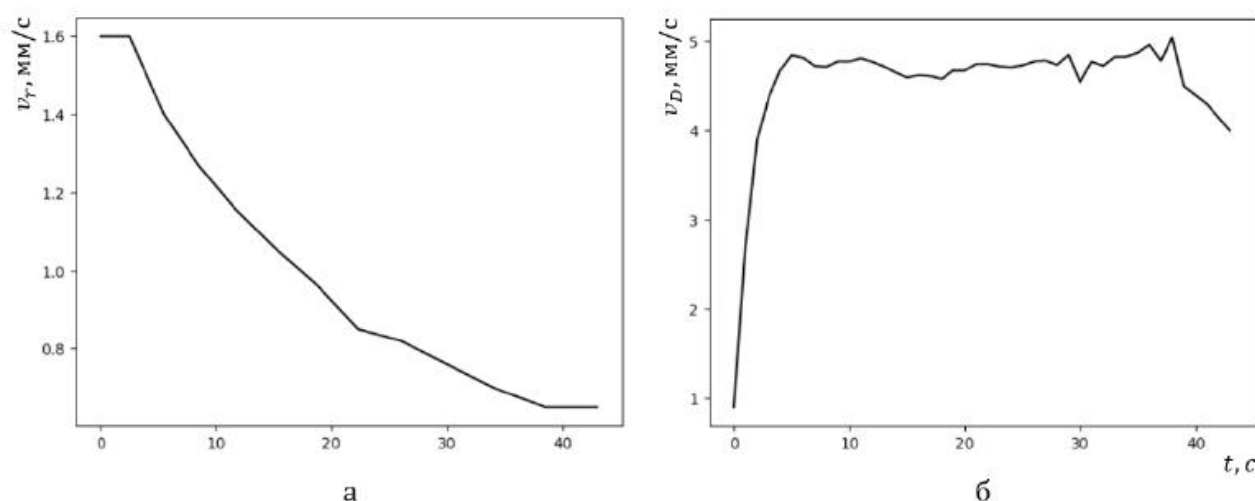


Рис. 3. Кинематические зависимости:

a — скорость подачи оправки, *б* — скорость роста диаметра

Результаты поиска скорости подачи оправки

№ оборота	t, c	$\Delta t, c$	$v_r, \text{мм/с}$	$a_r, \text{мм/с}^2$	$T_{max}, ^{\circ}\text{C}$	$T_{min}, ^{\circ}\text{C}$	$\sigma(D), \text{мм}$	$\varepsilon_S, \%$
1	2,5	2,5	1,6	0	941	926	0,7	3
2	5,5	3	1,4	-0,07	942	914	1	3,5
3	8,5	3	1,25	-0,04	943	906	1,1	4
4	11,6	3,1	1,16	-0,04	943	898	1,3	4
5	15	3,4	1	-0,03	943	888	1,4	3,6
6	18,5	3,5	0,97	-0,03	942	882	1,5	3,5
7	22,3	3,8	0,85	-0,03	942	880	1,7	3,5
8	26	3,7	0,82	-0,01	942	876	1,8	3
9	30	4	0,76	-0,01	941	871	1,9	3,6
10	34	4	0,7	-0,02	941	866	2	3,3
11	38,5	4,5	0,65	-0,01	941	862	2,3	3,3
12	43	4,5	0,65	0	940	858	2,5	3,4
Среднее	—	3,6	—	-0,02	942	886	—	3,5

Заключение. Использование кусочно-линейной функции для определения скорости подачи оправки устраняет необходимость моделировать весь процесс целиком и позволяет корректировать скорость на каждом обороте кольца, основываясь на текущих характеристиках раскатки. Для прямоугольного кольца была подобрана скорость подачи оправки, которая не превышала 1,6 мм/с. Ускорение оправки во время раскатки для каждого оборота кольца не превысило 0 мм/с^2 . Было определено, что материал кольца не перегревается, а стандартное отклонение внешнего диаметра не превышало 10 мм на протяжении всего процесса.

Список источников

- [1] Wujiao Xu, Qiaoli Wang, Xue Zhou, Xiaobing Yang. Quantitative design methodology for flat ring rolling process. *11th International Conference on Technology of Plasticity, ICTP 2014*, Nagoya Congress Center, Nagoya, Japan, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.09.164>
- [2] Евдокимов Д.В. Исследование влияния кинематических параметров валков на качество раскатки. *Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением*, 2024, № 2, с. 23–28.
- [3] Giorleo L., Ceretti E., Giardini C. Energy consumption reduction in Ring Rolling processes: A FEM analysis. *International Journal of Mechanical Sciences*, 2013, vol. 74, pp. 55–64.
- [4] Томило В.А., Левкович В.В. Современные технологии изготовления крупногабаритных кольцевых заготовок. *Литье и Металлургия*, 2012, № 3 (66).
- [5] Peng W.F., Niu B.K., Zhang J.H., Hong Z., Shu X.D. A 3D-FEM of adaptive movement control of guide and conical rolls in ring rolling process. *Int. J Adv. Manuf. Technol.*, 2017, vol. 92, pp. 9–12. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0395-x>