УДК 621.778.073

DOI: 10.35211/1990-5297-2021-6-253-53-58

О. Б. Крючков, А. А. Камолов, Ю. А. Дрюков, К. В. Растов, Э. В. Седов, О. П. Бондарева

**ОПТИМИЗАЦИЯ МАРШРУТА ВОЛОЧЕНИЯ ПРОВОЛОКИ
ПРИ РАВНЫХ ЕДИНИЧНЫХ ОБЖАТИЯХ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПАКЕТА *MATH CONNEX***

Волгоградский государственный технический университет

e-mail: bardb@mail.ru

Приведены результаты исследования маршрута волочения при равных единичных обжатиях патентованной проволоки из высокоуглеродистой стали 70 диаметром 2,8 мм с использованием математического пакета MathConnex (часть MathCad Pro). Установлено, что использование волочильного стана UDSATO 320 с кратностью волочения 10 позволяет получить качественную проволоку диаметром 1,0 мм с температурой на выходе из волок не более 250 °С с коэффициентом запаса прочности в диапазоне 1,8–2,7.

Ключевые слова: волочение, относительное обжатие, вытяжка, количество переходов, коэффициент запаса прочности, температура разогрева проволоки.

© Крючков О. Б., Камолов А. А., Дрюков Ю. А., Растов К. В., Седов Э. В., Бондарева О. П., 2021.

O. B. Kryuchkov, A. A. Komolov, Yu. A. Dryukov, K. V. Rastov, E. V. Sedov, O. P. Bondareva

OPTIMIZATION OF THE WIRE DRAWING ROUTE WHEN EQUAL UNIT COMPRESSIONS USING THE MATH CONNEX MATH PACKAGE

Volgograd State Technical University

The results of a study of the drawing route with equal single crimps of a patent wire made of high-carbon steel 70 with a diameter of 2.8 mm using the MathConnex mathematical package (part of MathCad Pro) are presented. It is established that the use of the UDSATO 320 drawing mill with a drawing multiplicity of 10 allows to obtain a high-quality wire with a diameter of 1.0 mm with a temperature at the outlet of the wire no more than 250 °C with a safety factor in the range of 1.8–2.7.

Keywords: drawing, relative compression, drawing, number of transitions, safety factor, wire heating temperature.

В настоящее время проволока находит широкое применение как в сельском хозяйстве, так и в промышленности, для изготовления: электрических и телеграфных проводов, проводочно-кабельных изделий, арматуры для железобетонных конструкций промышленного и гражданского назначения, обвязочного и упаковочного материала, стальных канатов, сеток, гвоздей, метизов и деталей машин. Производство проволоки из цветных и черных металлов и сплавов требует определенного маршрута волочения и оборудования, которое, большей частью, связано с многократным волочением, основанным на последовательном деформировании одной проволоочной заготовки в нескольких волокнах, обеспечивающих постепенное уменьшение диаметра проволоки по мере ее перемещения от первой к последней волоке. Кратность волочения при этом может колебаться от 2 до 30 и более и выбирается в зависимости от величины необходимых механических свойств готовой проволоки, а также точности получения ее размеров, потребления энергии при волочении и др. [1].

Методики расчета маршрутов волочения проволоки могут основываться на использовании различных единичных степеней деформации по переходам, которые могут быть: равными (весьма малыми, малыми, средними, повышенными, большими, весьма большими и сверхбольшими); уменьшающимися; чередующимися большими и малыми, и комбинированными [2].

Известно [3], что при волочении проволоки из низкоуглеродистой стали с содержанием углерода до 0,25 % используют повышенные (25–35) % и большие (36–40) % единичные обжатия и вытяжки (1,33–1,54) – (1,55–1,67). Средние обжатия (16–24) % и вытяжки (1,19–1,32), как и повышенные, применяются при волочении большинства сталей и сплавов со средним содержанием углерода (0,3–0,6) %. Высокоугле-

родистые стали с содержанием углерода более 0,6 % протягивают при малых (10–15) % и весьма малых обжатиях (6–9) % и вытяжках (1,11–1,18) – (1,06–1,10). Ввиду того, что исследуемая проволока по содержанию углерода занимает промежуточное положение между среднеуглеродистыми и высокоуглеродистыми сталями, для исследования были выбраны средние единичные обжатия и вытяжки.

Целью настоящей работы была оптимизация маршрута волочения высокоуглеродистой проволоки по принципу равных единичных обжатий и вытяжек.

Оптимизация маршрута волочения для получения качественной проволоки предполагает при минимальном количестве переходов обеспечить: необходимый запас ее прочности на переходах, что устраняет обрывность проволоки при волочении, и температуру ее разогрева на выходе из волок не более 250 °C [4].

Материал и методы исследования

Для исследования была выбрана исходная патентованная заготовка диаметром 2,8 мм из высокоуглеродистой стали 70 для получения из нее качественной проволоки диаметром 1,0 мм на машинах магазинного типа, работающих без скольжения с противонапряжением и накоплением проволоки на барабанах.

Расчеты параметров при волочении проводились с помощью математического пакета MathConnex (часть MathCad Pro) [5], который включает: блоки с исходными данными и выходными параметрами, для удобства чтения оформляемыми в виде таблиц в Microsoft Excel'e, и расчетные блоки, составляемые на базе MathCad Pro, в которых данные, переданные из других блоков, «кодируются», прописываются в виде формул и рассчитываются. Блок-схема «собирается на экране» интерактивными средствами с использованием соответствующей «палитры блоков» и соединяется стрелками-связями, показывающими пути передачи ис-

ходных и расчетных данных. После запуска готовой прописанной блочной схемы можно быстро просчитать параметры технологического процесса волочения для различных исходных данных. Кроме того, математический пакет позволяет детально проанализировать, в том числе, с помощью построения графиков, интересующие параметры, например, влияние коэффициента вытяжки на: единичные и суммарные обжатия, скорости волочения, запасы прочности и температуры разогрева проволоки на переходах, а также – выполнять многократные расчеты при различных исходных данных, что дает возможность выполнять оптимизацию реального технологического процесса.

Результаты расчетов и их обсуждение

В таблице представлены исходные данные для расчета параметров волочения исследуемой проволоки с обжатиями в диапазонах $q = (22,7–25,4) \%$, вытяжками – $\mu = 1,341–1,293$ и количествами переходов – $(7–12)$.

На основе данных о размерах исходной заготовки и готовой проволоки, а также количестве переходов 4–12, был выбран волочильный стан UDSATO 320 [2] с диаметром тягового барабана 300 мм, скоростью волочения на последнем переходе 20 м/с, значением кинематической вытяжки на всех переходах 1,22, мощностью привода 5,8 кВт и габаритными размерами $0,62 \cdot 1,43 \cdot 1,68$.

Исходные данные для параметров волочения

№	Параметр	Обозначение	Значение
1	Диаметр проволоки до волочения, мм	d_0	2,8
2	Диаметр проволоки после волочения, мм	d_k	1,0
3	Диапазон значений вытяжек	μ	1,293–1,341
4	Диапазон единичных обжатий, %	q	22,7–25,4
5	Кинематическая вытяжка	i	1,22
6	Коэффициент накопления	E	1,06
7	Содержание углерода в стали, %	C	0,7
8	Угол конусности волоки, °	α	12
9	Коэффициент трения	$f_{тр}$	0,07
10	Коэффициент m	m	0,8

Расчетные данные параметров волочения представлены на рис. 1–8.

Как следует из рис. 1–6 наибольшие единичные и суммарные обжатия, скорости волочения, временные сопротивления разрыву, на-

пряжения волочения и напряжения противонапряжений наблюдаются в волочильном стане с минимальным количеством переходов. При увеличении количества переходов значения вышеупомянутых параметров снижаются.

Рис. 1. Изменения единичных обжатий q проволоки в зависимости от количества переходов n и вытяжек μ

Рис. 2. Изменения суммарных обжатий проволоки в зависимости от количества переходов n и вытяжек μ

Рис. 3. Изменения скоростей волочения проволоки в зависимости от количества переходов n и вытяжек μ

Рис. 4. Изменения временных сопротивлений разрыву проволоки в зависимости от количества переходов n и вытяжек μ

Рис. 5. Изменения напряжений волочения проволоки от количества переходов n и вытяжек μ

Рис. 6. Изменения напряжений противонапряжений проволоки от количества переходов n и вытяжек μ

На рис. 7 представлены значения коэффициентов запаса прочности проволоки в зависимости от количества переходов. Согласно работе [2], для проволоки диаметром 1,8–3,0 мм для волочения без скольжения с противонапряжением коэффициенты запасов прочности должны находиться в диапазоне 1,6–2,0. Сопоставляя эти значения с расчетными данными, представ-

ленными на рис. 7, можно заключить, что коэффициенты запаса прочности для всех исследуемых переходов соответствуют требованиям. Вместе с тем, для трех переходов 7–8–9 значения коэффициентов запаса прочности имеют наименьшие значения, а при количестве переходов 10–11–12 – наибольшие значения.

Рис. 7. Изменения коэффициентов запаса прочности от количества переходов n и вытяжек μ

На рис. 8 представлены значения температуры разогрева проволоки на выходе из волок в за-

висимости от количества переходов. Как следует из вышеупомянутого рисунка, только количество

переходов 10–11–12 обеспечивает температуру проволоки при выходе из волок не более 250 °С.

Количество переходов 7–8–9 способствует нагреву проволоки выше 250 °С, что недопустимо.

Рис. 8. Изменения температур разогрева проволоки на выходе из волок в зависимости от количества переходов n и вытяжек μ

На основании проведенных расчетов можно заключить, что количество переходов 7–8–9 при волочении проволоки из стали 70 с диаметра 2,8 мм на диаметр 1,0 мм является наихудшим и способствует не только недопустимо высокому (более 250 °С) перегреву проволоки при выходе из волок (см. рис. 8), но и имеет относительно невысокие коэффициенты запаса прочности (см. рис. 7).

Количество переходов 10–11–12 обеспечивает получение качественной заготовки. Вместе с тем, оптимальным количеством переходов из нижеперечисленных является 10, которое является минимальным и позволяет на всех этапах волочения не допустить нагрева проволоки выше 250 °С и получать требуемые значения коэффициентов запаса прочности. Одновременно, для количества переходов 10–11–12 напряжения противонапряжения и волочения, влияющие на коэффициент запаса прочности, отличаются незначительно.

Выводы

1. Использование математического пакета MathConnex (часть MathCad Pro) позволяет автоматизировать расчеты параметров волочения проволоки и на его основе оптимизировать количество переходов.

2. На основании проведенных расчетов можно констатировать, что оптимальным количеством переходов при волочении проволоки с размера 2,8 мм до 1,0 мм является 10, при котором проволока на выходе из волок не нагревается до температуры более 250 °С и имеет необходимые коэффициенты запаса прочности на переходах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бобарикин, Ю. Л. Деформационный критерий оптимизации маршрутов волочения тонкой высокоуглеродистой проволоки / Ю. Л. Бобарикин [и др.] // *Литье и металлургия*. – 2012. – № 4(88). – С. 101–106.
2. Даненко, В. Ф. Проектирование маршрутов волочения стальной проволоки : учеб. пособие / В. Ф. Даненко / ВолгГТУ. – Волгоград, 206. – 92 с.
3. Перлин, И. Л. Теория волочения / И. Л. Перлин, М. З. Ерманок. – М. : Металлургия, 1971. – 448 с.
4. Бобарикин, Ю. Л. Методика оценки качества проволоки / Ю. Л. Бобарикин, С. В. Авсейков, С. И. Прач // *Сб. матер. ЗНТК молодых работников ОАО «БМЗ» «Металл-2012»*. – Жлобин, 2011. – С. 52–55.
5. Крючков, О. Б. Использование математического пакета MathConnex для теплотехнического расчета нагревательных печей / О. Б. Крючков, Н. И. Габельченко, П. И. Маленко, Л. Г. Саранин // *Черные металлы*. – 2019. – № 12. – С. 52–60.