

Ю.Н. Логинов, д-р техн. наук,
 профессор кафедры обработки металлов давлением УГТУ-УПИ;
 А.Ю. Зувев, старший технолог предприятия ЗАО СП «Катур-Инвест»;
 Т.П. Копылова, технолог предприятия ЗАО СП «Катур-Инвест»

ЗАВИСИМОСТЬ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ ВОЛОЧИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ОТ КОЛЕБАНИЙ ДИАМЕТРА МЕДНОЙ КАТАНКИ

В соответствии с требованиями технических условий ТУ 1844-01-48564189–2000 медная катанка, предназначенная для последующего волочения и производства проволоки электротехнического назначения, может иметь отклонения от номинального диаметра 8 мм для класса А и В в пределах $\pm 0,4$ мм и для класса С $\pm 0,5$ мм. С ограничениями для первых двух классов практически совпадают требования стандарта ASTM B49-98 «Катанка медная для применения в электротехнике», в котором установлены пределы отклонений диаметра $\pm 0,015$ дюйма, то есть $\pm 0,38$ мм. В данной статье будет выполнен анализ влияния этого требования нормативных документов на параметры последующего волочения.

В современных условиях процесс волочения медной катанки осуществляется на многопроходных машинах грубого волочения с передачей полученной проволоки-подтяжки на машины среднего и тонкого волочения. При этом, несмотря на поставку катанки одного и того же стандартизованного диаметра 8 мм, маршруты грубого волочения на разных предприятиях разработаны и унифицированы в соответствии с имеющимся парком волочильного оборудования. Существуют несколько подходов к назначению диаметра первой по ходу волочения катанки волоки, при этом учитываются особенности формоизменения катаной заготовки. Как видно из данных табл. 1, из-за различия в этих диаметрах коэффициент вытяжки в первом проходе волочения катанки номинальным диаметром 8 мм может изменяться в пределах 1,18...1,52.

Применение минимального коэффициента вытяжки, равного 1,18, может быть оправдано стремлением снижения нагрузок на первую волоку при волочении катаной заготовки, имеющей поверхностные дефекты, унаследованные от горячей прокатки, и некруглый профиль, приводящий к неравномерному износу.

Применение максимального коэффициента вытяжки, равного 1,52, направлено на повышение производительности, что становится возможным вследствие использова-

ния максимального резерва пластических свойств металла, находящегося в мягком ненагартованном состоянии.

В дальнейших расчетах учтем влияние возможных колебаний размеров катанки на показатели процесса волочения. В соответствии с указанным полем допуска диаметр катанки классов А и В имеет пределы 7,6...8,4 мм, а диаметр катанки класса С 7,5...8,5 мм.

Для установления действительного диапазона колебаний диаметров катанки выполнена статистическая обработка этого параметра при прокатке 690 бухт на предприятии ЗАО СП «Катур-Инвест». Методика расчета заключалась в усреднении минимального и максимального диаметра катанки в каждой бухте и математической обработке полученного массива данных. В результате получена частотная гистограмма распределения диаметра катанки по группам размеров (рис. 1).

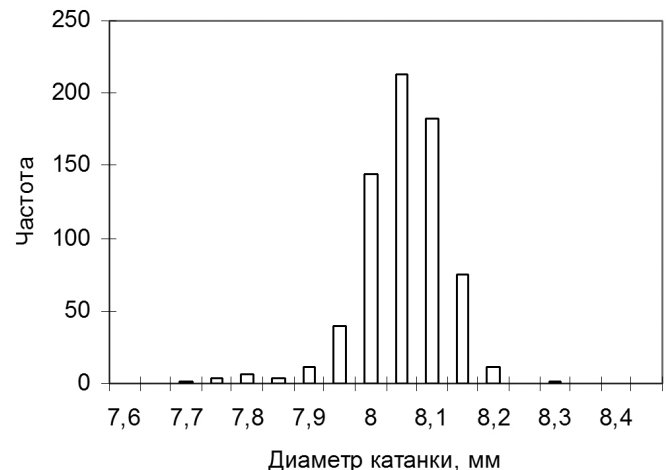


Рис. 1. Частотная гистограмма диаметров медной катанки на основании измерений 690 бухт

Таблица 1

Существующие промышленные варианты параметров первого прохода волочения катанки номинальным диаметром 8 мм

| Диаметр первой волоки, мм | Коэффициент вытяжки | Тип волочильной машины или источник информации |
|---------------------------|---------------------|--|
| 6,51 | 1,51 | Не указан, [1] |
| 6,53 | 1,50 | MSM 85 |
| 7,35 | 1,18 | BCK 13 |
| 6,50 | 1,52 | Не указан, [2] |
| 6,99 | 1,31 | HENRICH |

Вид графика говорит о наличии нормального закона распределения, описывающего вероятность случайной величины, являющейся результатом сложения большого количества примерно равных стохастических воздействий. Об этом же говорят малые значения показателя асимметричности, а также практически полное соответствие медианы, моды и среднего значения на уровне 8,05 мм (табл. 2). Сами эти величины сдвинуты относительно номинала в область плюсового допуска на 0,5 мм, что не очень существенно на фоне самого поля допуска. Как видно из данных таблицы, при таком представительном объеме выборки не наблюдалось ни одного случая выхода диаметра катанки за пределы допуска.

Таблица 2

Статистические характеристики измерений диаметра медной катанки

| Величина | Значение |
|-----------------------------|----------|
| Среднее | 8,053 |
| Стандартная ошибка | 0,0027 |
| Медиана | 8,050 |
| Мода | 8,050 |
| Стандартное отклонение | 0,0715 |
| Дисперсия выборки | 0,0051 |
| Эксцесс | 3,05 |
| Асимметричность | -0,996 |
| Интервал | 0,6 |
| Минимум | 7,7 |
| Максимум | 8,3 |
| Уровень надежности (95,0 %) | 0,005344 |

Таким образом, практика эксплуатации современного сортопркатного оборудования показала, что пределы, характерные для классов А и В, вполне выполнимы, поэтому остановимся на анализе первого диапазона диаметров; при этом отметим, что в процентном отношении относительно номинала допуск составит ±5 %, а поле допуска 10 %.

На рис. 2 изображена гистограмма рассчитанных коэффициентов вытяжек, реализуемых при получении в первом проходе волочения проволоки диаметром 6,53 мм с учетом поля допуска. Последующие проходы волочения пока можно не рассматривать, поскольку диаметр заготовки после первого прохода будет откалиброван, и в первом приближении не будет оказывать влияния на последующую обработку.

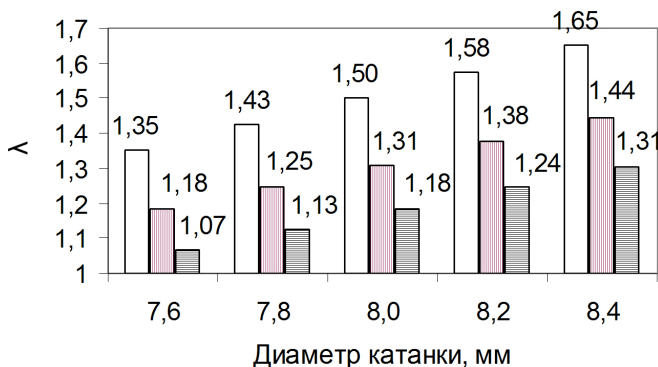


Рис. 2. Влияние допуска на коэффициент вытяжки в первом проходе волочения при использовании первой волокни диаметром (мм): 6,53 (светлые столбцы); 6,99 (вертикальная штриховка) и 7,35 (горизонтальная штриховка)

Как видно из рассмотрения гистограммы, при номинальном размере катанки и использовании первой волокни диаметром 6,53 мм достигается коэффициент вытяжки 1,5, а при отклонении от номинала диапазон коэффициентов вытяжек составляет 1,35...1,65 или ±10 %, а поле допуска 20 %.

Таким образом, колебания коэффициентов вытяжки относительно колебаний диаметров катанки возросли в два раза, что объясняется расчетом коэффициентов вытяжки через квадраты диаметров, а не через линейные размеры. Те же пропорции справедливы и для других диаметров первой волокни. Этот факт имеет важный смысл, поскольку последующие расчеты энергосиловых параметров волочения и коэффициентов запаса основаны на применении именно коэффициентов вытяжек, влияющих на указанные параметры нелинейно. Кроме того, выясняется, что из-за возможного превышения номинального размера катанки, реальный максимальный коэффициент вытяжки становится равным уже не 1,50, а 1,65.

Как видно из сопоставления имеющихся данных, существуют значимые различия в коэффициентах вытяжек, применяемых на различных предприятиях, на которые накладываются возможные колебания размеров катанки. Следствием этого являются два фактора. На предприятиях, использующих большие коэффициенты вытяжек в первом проходе волочения, при работе в плюсовом поле допуска появляется опасность обрыва или проявления эффекта внеконтактной деформации (неконтролируемого утонения проволоки за пределами волокни). Существует и обратная ситуация: при использовании малых коэффициентов вытяжек в первом проходе относительные обжатия становятся тоже малыми. Как видно из приведенной гистограммы, минимальный коэффициент вытяжки λ оказывается равным 1,07, что соответствует относительному обжатию $\varepsilon = 100 \cdot (\lambda - 1) / \lambda = 6,5 \%$. Вместе с тем, как установлено многочисленными исследованиями [4, 5], применение малых обжатий при волочении приводит к опасности разделения очага деформации на две пластические зоны, между которыми возникает разрыв скоростей, что приводит к опасности появления дефектов типа макропор.

Сказанное поясняется рис. 3, где изображены две жесткие зоны ЖЗ до и после очага деформации, пластическая зона ПЗ, через которую проходит траектория частицы, перемещающейся через очаг деформации с переменной скоростью $v_0 \dots v_1$. Для случая малых деформаций при волочении показано разделение пластической зоны ПЗ на две области с разрывом между ними в форме шеврона.

Непосредственно разрыв обычно не появляется сразу же в первом проходе волочения, поскольку на этом этапе

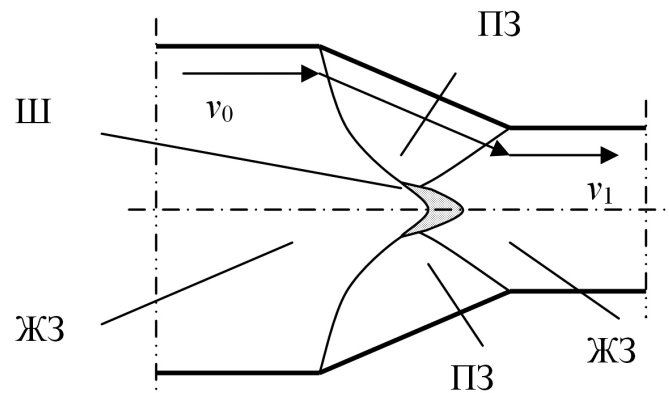


Рис. 3. Появление двух пластических зон (ПЗ) и жесткой зоны (ЖЗ) в середине проволоки с образованием разрыва в виде шеврона (Ш)

металл достаточно пластичен, но возможно его пластическое разрушение, которое приведет к разрыву через несколько проходов или даже на стадии среднего волочения, где такой дефект в определенных условиях обнаруживается.

По данным исследования [5] при полуугле волокни 10° опасными с позиции образования внутреннего разрыва являются обжатия менее 25 %, которые, как это было показано выше, легко достигаются при волочении с малыми коэффициентами вытяжек и при работе с катанкой на уровне минусового допуска.

В связи с изложенным, более правильным является назначение в первом проходе волочения больших значений коэффициентов вытяжек.

Для установления характера влияния отклонений размеров катанки на энергосиловые параметры выполнили расчет напряжения волочения σ_1 , отнесенного к среднему сопротивлению деформации σ_s меди в данном проходе. Применение относительной величины позволяет не измерять точное значение сопротивления деформации, а оперировать безразмерными параметрами. Исходные данные для расчета: коэффициент трения 0,05; полуугол волокни 10°, длина калибрующего пояса волокни составляет 30 % от диаметра. Результатом расчетов (рис. 4) явилось определение отклонения Δ как относительной разницы (выраженной в процентах) между безразмерным напряжением волочения для текущего диаметра катанки σ_1/σ_s и той же величиной $(\sigma_1/\sigma_s)_n$, определенной для номинального диаметра катанки: $\Delta = 100 [(\sigma_1/\sigma_s) - (\sigma_1/\sigma_s)_n] / (\sigma_1/\sigma_s)_n$.

Как видно из графиков, расчеты напряжений волочения, выполненные по методикам И.Л. Перлина; И.С. Губкина; С.Н. Петрова и А.Л. Тарнавского [3], дали примерно одинаковый результат: при поле допуска диаметра катанки ± 5 % размах отклонений напряжения волочения составляет примерно ± 20 %, то есть в сумме 40 %.

Такое резкое возрастание колебаний энергосиловых параметров относительно колебаний диаметра катанки связано с нелинейностью влияния размеров заготовки на эти параметры.

Специальным вопросом является назначение уровня допустимых деформаций при волочении «литой катанки», полученной по технологии фирмы OTOKUMPU, в связи с выявлением ее анизотропных свойств [6].

Для экспериментального подтверждения полученных результатов выполнены измерения уровня загрузки инди-

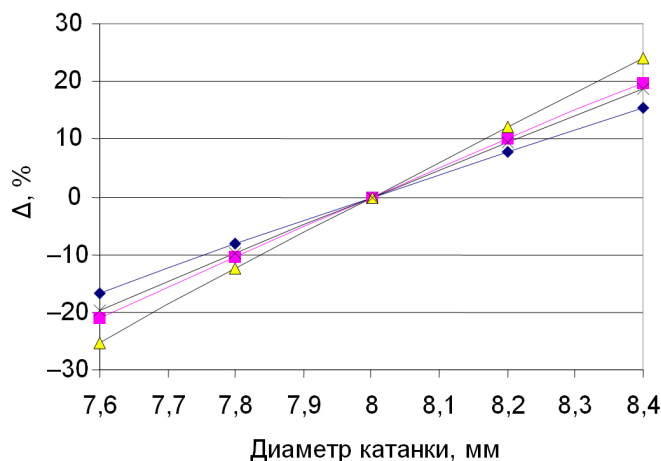


Рис. 4. Изменение относительного напряжения волочения при отклонении диаметра катанки от номинального размера, рассчитанное по различным методикам: ♦ – И.Л. Перлина; ■ – И.С. Губкина; ▲ – С. Н.Петрова; x – А.Л. Тарнавского

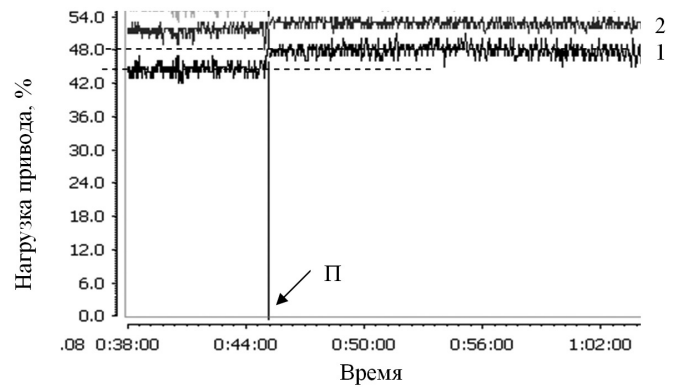


Рис. 5. Распределение нагрузки привода тянущих шкивов (проценты от номинальной) по проходам волочения 1 и 2 (цифры при графиках) во времени: П – момент перехода с бухты катанки диаметром 8,05 мм на бухту катанки диаметром 8,15 мм, штриховые линии – средние значения

видуальных приводов волочильной машины MSM 85, имеющей частотное регулирование скорости и установленной на предприятии ЗАО СП «Катур-Инвест». В качестве заготовки использована катанка производства того же предприятия. С помощью системы мониторинга отслежены мощности вращения первых пяти шкивов в процентах от номинальной мощности каждого двигателя (рис. 5). Имеющиеся колебания нагрузки связаны с частотным регулированием скорости волочения для выполнения условия постоянства секундных объемов. Исходный размер катанки находится вблизи номинального значения 8 мм, а диаметр первой волокни равен 6,53 мм.

Из графика видно, что при переходе волочения с использования бухты катанки диаметром 8,05 мм на использование бухты катанки диаметром 8,15 мм произошло увеличение нагрузки первого тянущего шкива с 44 до 48 %, то есть на 4 %.

Нагрузка на остальные шкивы изменилась незначительно, что говорит о том, что причиной повышения нагрузки при смене бухты является именно изменение диаметра катанки, а не механические свойства деформируемого материала.

Из расчетных данных следует, что изменение размера катанки на каждые 0,1 мм влечет за собой изменение энергосиловых параметров на 4...5 %. Таким образом, выводы теоретической части исследования подтверждаются промышленным экспериментом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Берин И.Ш., Днестровский Н.З. Производство медной и алюминиевой проволоки. М.: Металлургия, 1975. 200 с.
2. Matsushita Yoshiriro, Utsunomiya Kiyotaka, Nakamoto Minoru, Nanjo Kazuhiro. Улучшение качества поверхности катанки. В тр. 15 Межд. Конференции пользователей технологии CONTIROD. Верхняя Пышма: ЗАО СП Катур-Инвест. 2008. С. 9–10.
3. Обработка цветных металлов и сплавов: Справочник. Под ред. Л.Е. Миллера. М.: Металлургиздат, 1961. 872 с.
4. Nonferrous wire handbook. Vol.3. Principles and Practice. Editor Horace Pops. Guilford. The Wire Association International. 1995. 704 pp.
5. Dae-Cheol Ko, Byung-Min Kimb. The prediction of central burst defects in extrusion and wire drawing. Journal of Materials Processing Technology. Volume 102, Issues 1–3, 15 May 2000, Pages 19–24.
6. Логинов Ю.Н., Мальцева Л.А., Вырлина Л.М., Копылова Т.П. Проблемы применения медной катанки в кабельной промышленности. // Кабели и провода. 2001. № 2 (267). С. 14–16.