



European Commission
TEMPUS

The temperature-deformation criterion of assessment and optimization of routes of the thin high-carbon wire drawing enabling to increase plastic properties of wire at retaining of its durability is offered.

Ю. Л. БОБАРИКИН, С. В. АВСЕЙКОВ, ГГТУ им. П. О. Сухого,
А. В. ВЕДЕНЕЕВ, И. Н. РАДЬКОВА, ОАО «БМЗ»

УДК 621.778.073

ТЕМПЕРАТУРНО–ДЕФОРМАЦИОННЫЙ КРИТЕРИЙ ОПТИМИЗАЦИИ МАРШРУТОВ ВОЛОЧЕНИЯ ТОНКОЙ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ ПРОВОЛОКИ

Одной из распространенных областей применения высокоуглеродистой проволоки является производство металлокорда для автомобильных шин. Свивка металлокорда из тонкой латунированной проволоки является заключительным технологическим этапом металлургического производства металлокорда. Поэтому на свойства проволоки оказывают влияние все переделы металлургического цикла. Но наибольший вклад в формирование свойств тонкой проволоки вносит процесс тонкого волочения. При волочении тонкой проволоки из патентованной латунированной заготовки формируются все ее основные механические свойства. Особое внимание при переработке тонкой проволоки в металлокорд уделяется такому показателю технологичности, как удельная обрывность проволок.

Известно, что на обрывность металлокорда влияют свойства тонкой проволоки и условия ее свивки в металлокорд на канатных машинах [1]. Повышенная удельная обрывность металлокорда снижает производительность процесса свивки, ухудшает качество металлокорда.

Наилучшая технологичность свивки металлокорда обеспечивается максимальной пластичностью проволоки. Поэтому основной технологической задачей тонкого волочения является достижение максимальной пластичности тонкой проволоки при сохранении прочности в допустимых пределах.

Многие исследователи заняты поиском оптимальных маршрутов тонкого волочения с целью повышения пластических свойств тонкой проволоки [2, 3].

Температурный критерий [4] характеризует эффективность оптимизации маршрута тонкого во-

лочения и заключается в определении максимальной допустимой мгновенной температуры поверхности проволоки в маршруте волочения:

$$K_T = \frac{\left(\frac{T_{\text{опт}}}{T_{\text{баз}}}\right)^{50} + \left(\frac{V_{\text{баз}}}{V_{\text{опт}}}\right)^{15}}{2}, \quad (1)$$

где $T_{\text{баз}}$ – максимальная температура поверхности проволоки в базовом маршруте волочения, $T_{\text{баз}} = 570$ °С; $T_{\text{опт}}$ – максимальная температура поверхности проволоки в оптимизированном маршруте волочения, $T_{\text{опт}} = 540$ °С; $V_{\text{баз}}$ – скорость волочения проволоки на выходе из волочильного стана в базовом маршруте волочения, $V_{\text{баз}} = 5$ м/с; $V_{\text{опт}}$ – скорость волочения проволоки на выходе из волочильного стана в оптимизированном маршруте волочения, $V_{\text{опт}} = 5$ м/с.

Выполнение этого критерия оптимизации уменьшает эффект деформационного старения высокоуглеродистой проволоки, снижающий ее пластичность.

В данной работе качественную оценку маршрутов волочения предлагается проводить, используя температурный критерий совместно с критерием деформационной неравномерности проволоки в процессе тонкого волочения.

На маршруте волочения тонкой ультравысокопрочной проволоки диаметром 0,35 мм из заготовки диаметром 2,20 мм из стали марки 95 произведена оптимизация маршрута волочения по температурному критерию. Базовый маршрут волочения имел 27 волок с пониженными обжатиями в шести местах маршрута.

В результате численного расчета полей температуры проволоки в маршруте волочения с использованием метода конечных элементов было

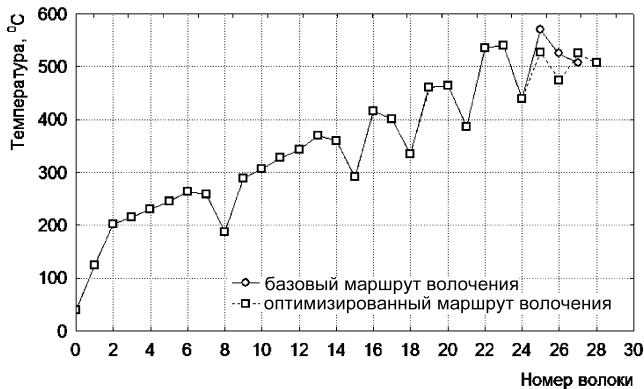


Рис. 1. Сравнение температур поверхности проволоки по маршруту волочения

определено, что максимальная температура на поверхности проволоки ($T_{\text{баз}} = 570 \text{ }^\circ\text{C}$) соответствует 25-й проволоке маршрута волочения (рис. 1).

В данном случае наиболее рациональным способом снижения температуры поверхности проволоки является уменьшение единичного обжатия проволоки в 25-й проволоке за счет замены единичного обжатия 12,7% на два пониженных обжатия 9,36 и 3,7%.

Численный расчет оптимизированного маршрута волочения подтвердил снижение максимальной температуры поверхности проволоки. Распределение температур проволоки в продольном сечении очага деформации 25-й проволоки показано на рис. 2.

Неравномерность деформации является также источником возникновения остаточных напряжений и деформаций, снижающих прямолинейность проволоки и металлокорда. В идеальном случае неравномерность деформации должна отсутствовать, а в реальном – должна быть минимизирована.

Распределение деформации в проволоке в очаге деформации в каждой проволоке различно. По мере продвижения проволоки к последней проволоке неравномерность деформации повышается.

Оценку формирования неравномерности деформаций в процессе тонкого волочения в проволоке предлагается проводить по деформационному критерию:

$$K_\varepsilon = \frac{2(\varepsilon_{r/2} - \varepsilon_0)}{\varepsilon_r - \varepsilon_0}, \quad (2)$$

где ε_0 – величина пластической деформации в центре поперечного сечения проволоки; $\varepsilon_{r/2}$ – величина пластической деформации на расстоянии, равном половине радиуса окружности поперечного сечения деформируемой проволоки; ε_r – величина пластической деформации в поверхностных слоях поперечного сечения проволоки;

Компоненты тензора деформации ε_{rr} , $\varepsilon_{\theta\theta}$, ε_{zz} максимальны в центре очага деформации проволоки при волочении. Тогда, согласно критерию пластичности сплошных сред, предложенному Мизесом, неравномерность деформации проволоки по сечению определяется главным образом величиной сдвиговых деформаций ε_{rz} . Параметры, влияющие на величину деформации сдвига ε_{rz} , определяют степень неравномерности деформации проволоки по сечению. Увеличение единичных обжатий и уменьшение угла конической части волюки снижают неравномерность деформаций [5].

Тогда уменьшение единичного обжатия проволоки за счет введения в маршрут волочения разбивкой обжатия для снижения степени деформации и уменьшения максимальной температуры поверхности проволоки повлияет на распределение деформаций в оптимизированном маршруте волочения.

Распределения пластической деформации в поперечном сечении проволоки получены численным расчетом с использованием метода конечных элементов. Результаты расчета для каждой проволоки по маршруту волочения приведены на рис. 3.

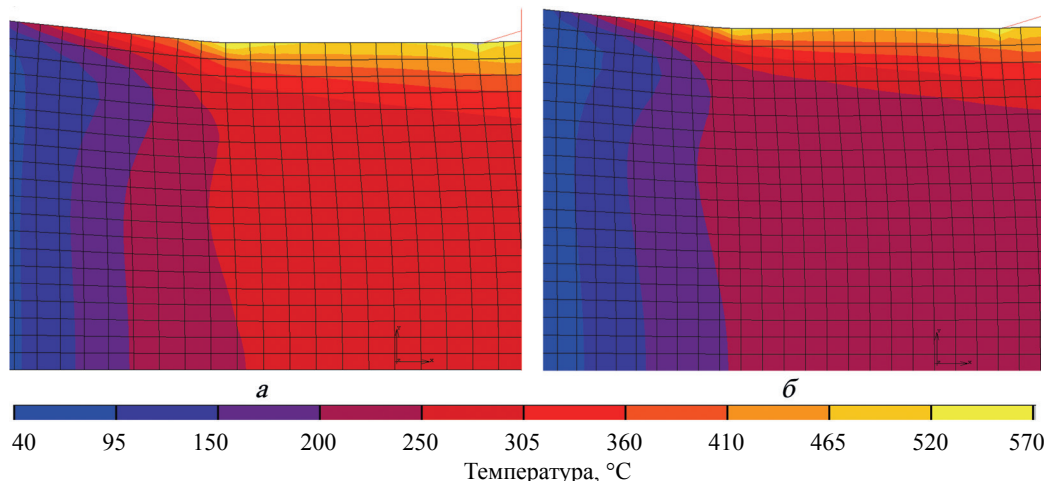


Рис. 2. Поле температур проволоки в очаге деформации: а – диаметром $d = 370 \text{ мкм}$ в базовом маршруте волочения, $T_{\text{баз}} = 570 \text{ }^\circ\text{C}$; б – диаметром $d = 377 \text{ мкм}$ в оптимизированном маршруте волочения, $T_{\text{опт}} = 540 \text{ }^\circ\text{C}$

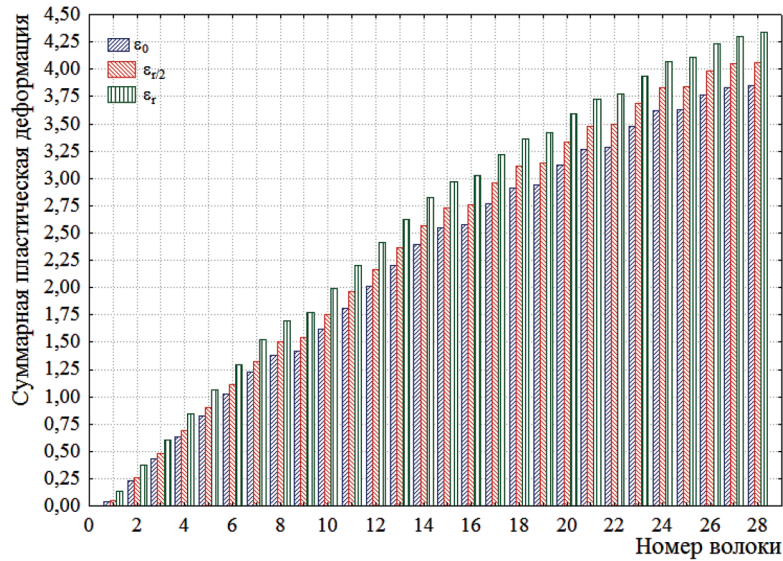


Рис. 3. Распределение пластической деформации в поперечном сечении проволоки в базовом маршруте волочения

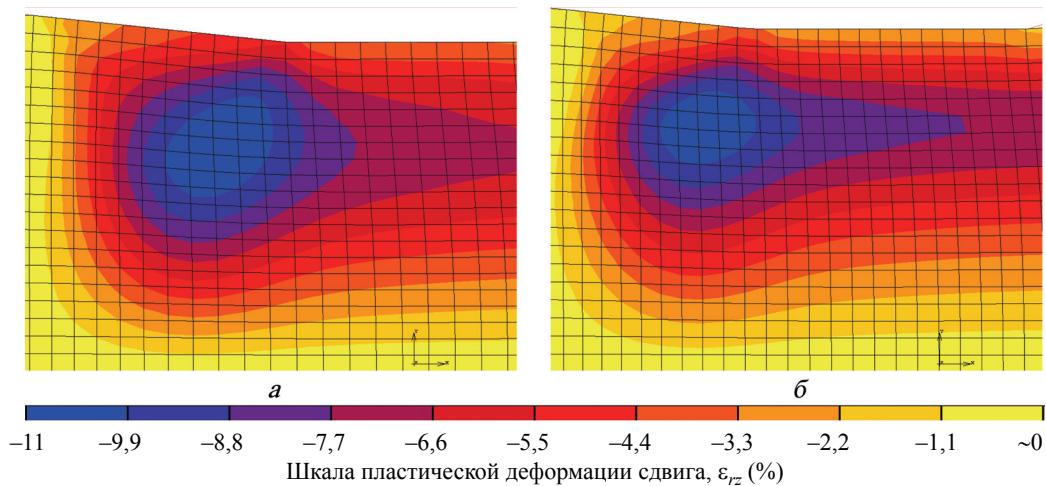


Рис. 4. Поле деформаций сдвига ϵ_{r2} в 25-й волоке: *a* – с единичным обжатием $H = 12,7\%$ и углом конической части волоки $\alpha = 12^\circ$; *b* – с единичным обжатием $H = 9,36\%$ и углом конической части волоки $\alpha = 12^\circ$

Из рисунка видно, что соотношение суммарной пластической деформации в поверхностных и внутренних слоях поперечного сечения сохраняется в маршруте волочения несмотря на увеличение абсолютных значений пластической деформации слоев проволоки по мере прохождения по маршруту волочения.

Распределение деформаций сдвига в проволоке в продольном сечении очага деформации 25-й волоки показано на рис. 4.

Анализируя распределение полей деформации сдвига (рис. 4) в виде цветокодированных изображений, можно отметить, что с уменьшением единичного обжатия при волочении поле максимальных значений деформации сдвига смещается к поверхности проволоки, что приводит к перераспределению суммарной пластической деформации между внутренними и поверхностными слоями проволоки.

На рис. 5 показан расчет коэффициента деформационной неравномерности K_ϵ для базового и оптимизированного маршрута волочения.

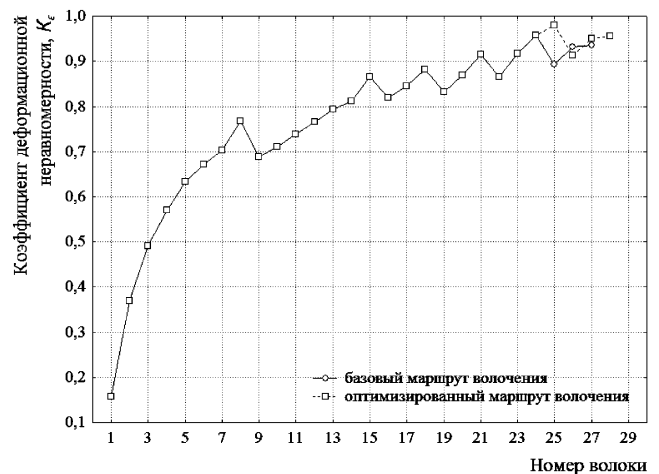


Рис. 5. Изменение коэффициента деформационной неравномерности K_ϵ в базовом и оптимизированном маршруте волочения

Анализируя совместно выражение (2) и график изменения коэффициента деформационной неравномерности K_ϵ (рис. 5), получаем, что при $K_\epsilon = 1$ пластическая деформация между слоями от центра до поверхности в поперечном сечении тонкой проволоки распределена равномерно. Тогда, чем ближе значение коэффициента K_ϵ стремится к 1, тем равномернее распределена суммарная пластическая деформация в проволоке.

Сравнивая базовый маршрут волочения с маршрутом с пониженным единичным обжатием тонкой проволоки по температурному и деформационному критерию, можно видеть улучшение пластических характеристик тонкой ультравысоко-

прочной проволоки по таким показателям, как полное удлинение (на 6%), число реверсивных скручиваний (в 9,14 раз) и число скручиваний двух проволок на базе 250 мм под нагрузкой 20% от разрывного усилия (в 1,85 раза) [6].

Вывод

Предложен температурно-деформационный критерий оценки для оптимизации маршрутов волочения тонкой высокоуглеродистой проволоки, позволяющий увеличить пластические свойства проволоки при сохранении ее прочности в допустимых пределах с целью повышения технологичности свивки металлокорда из этой проволоки.

Литература

1. Бирюков Б. А., Феоктистов Ю. В., Веденеев А. В. Снижение обрывности высокопрочной проволоки при свивке из нее металлокорда на машинах двойного кручения // *Литье и металлургия*, 2012. с. 78–84.
2. Желтков А. С., Филиппов В. В., Савенок А. Н. Расчет переходов станов мокрого волочения по принципу минимального скольжения // *Сталь*. 2000. № 5. С. 60–62.
3. Битков В. В. Технология и машины для производства проволоки. // Екатеринбург: ИМашУрО РАН, 2004.
4. Савенок А. Н., Веденеев А. В., Игнатенко О. И. и др. Использование температурного критерия для оптимизации геометрии деформирующей и калибрующей зон канала волоки // *Черная металлургия*. 2011. № 3. С. 3–9.
5. Бобарикин Ю. Л., Вещагин М. Н. Оптимизация тонкого волочения высокоуглеродистой стальной проволоки // Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2011.
6. Бобарикин Ю. Л., Всеяков С. В., Прач С. И. Методика оценки качества проволоки // Сб. материалов ЗНТК молодых работников ОАО «БМЗ» «Металл-2012». Жлобин. 2011. С. 52–55.