

Требования к отклонению от прямого угла в ДСТУ 2251 соответствуют требованиям ISO 657.5 и EN 10056-2. Скручивание во всех рассматриваемых стандартах не допускается.

Предельные отклонения по кривизне ДСТУ 2251 находятся на уровне EN 10056-2 для проката размером до 200 мм включительно и превышают требования ISO 657.5.

Требования к предельным отклонениям по длине углового равнополочного проката в ДСТУ 2251 жестче, чем в ISO 657.5 и EN 10056-2.

Вывод. Таким образом, рассмотренные стандарты на круглый, квадратный прокат, швеллеры, двутавры и равнополочные уголки по основным качественным показателям: размерам, предельным отклонениям по длине, перекоосу полок, прогибу стенки и др.) гармонизируют с требованиями европейских и международных стандартов – EN 10024, EN 10056-2, EN 10059, EN 10060, EN 10279, ISO 657/V, ISO 657-13, ISO 1035/1, ISO 1035-2, ISO 1035/4.

Надійшла до редколегії 25.10.2012

УДК 083.74:621.771

Гармонизация национальных стандартов – перспективное направление повышения качества металлопроката / Пыхтин Я. М., Перетяцько К. Ф., Снимщикова Г. И., Царёва Т. А. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення у сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2012. – №46(952). – С. 176-191. – Бібліогр: 15 назв.

У статті розглянуто аналіз вимог вітчизняних, міжнародних та європейських стандартів до сортових і фасонних видів прокату. Наведено порівняння круглого, квадратного прокату, двотаврів, кутиків, швелерів за основними якісними характеристиками (сортаментний ряд, розміри, граничні відхилення за розмірами і довжиною профілю, перекоис полиць, прогин стінки, кривизна).

Ключові слова: стандарт, гармонізація, круглий прокат, квадратний прокат, швелер, кутик, двотавр, граничні відхилення.

Analysis for requirements of native, international and European standards for rolled section and structural shapes. Ones be conducted comparison of round, square rolled metal, double-T-iron, angles, channels according to main quality characteristics (range row, dimension, limit discrepancy of size and profile length, skew of racks, hogging of wall, curvature).

Keywords: standard, harmonization, round rolled metal, square rolled metal, channel, angle, double-T-iron, limit discrepancy.

УДК 621.778

В. А. ХАРИТОНОВ, канд. техн. наук., проф., МГТУ, Магнітогорск
Д. Э. ГАЛЛЯМОВ, аспирант, МГТУ, Магнітогорск

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СПОСОБОВ ВОЛОЧЕНИЯ СТАЛЬНОЙ ПРОВОЛОКИ

В статье рассмотрены вопросы неравномерности деформации при волочении проволоки в монолитной волоке. Рассмотрены преимущества роликовых волок. Дана оценка эффективности их применения. Расчетные данные подтверждены компьютерным моделированием методом конечных элементов.

Ключевые слова: волочение, монолитная волока, роликовая волока, равномерная и неравномерная деформация.

Введение. Необходимость обеспечения в условиях современного рынка высокой конкурентоспособности стальной проволоки является мощным стимулом совершенствования существующих технологий и развития новых эффективных способов ОМД. Основными задачами в этом направлении являются повышение производительности, качества проволоки и снижение расхода материалов и энергозатрат. Решение этих задач невозможно без применения прогрессивных способов обработки металлов давлением.

© В. А. Харитонов, Д. Э., Галлямов 2012

Цель исследования – Определение диаметра проволоки, до которого энергетически выгодно применение монолитных волок. Оценка эффективности применения роликовых волок в сравнении с монолитными волоками.

Определение эффективных способов волочения. Современное производство стальной проволоки базируется на применении традиционного способа волочения в монолитных волоках, преимущества которого заключаются в простоте и отлаженности технологического процесса, наличии разнообразного серийно выпускаемого оборудования. Вместе с тем, этот способ волочения имеет ряд существенных недостатков, связанных с неблагоприятными условиями трения на контакте металла и деформирующего инструмента. Следствием является увеличение энергозатрат, необходимость тщательной подготовки поверхности металла к волочению и применения дорогостоящих технологических смазок. Другой недостаток традиционного волочения заключается в неравномерном распределении деформации по сечению проволоки. Дополнительный сдвиг поверхностных слоев проволоки в рабочем конусе волоки способствует их интенсивному деформационному упрочнению. Чем больше дополнительная работа сдвига, тем выше неравномерность деформации. В результате снижается пластичность проволоки, ограничивается число переходов при волочении, величина единичных и суммарных обжатий, повышаются усилие волочения и расход энергии. Потеря пластичности и увеличение неравномерности деформации при волочении растут с увеличением диаметра обрабатываемой проволоки. Это явление, получившее в литературе название масштабного эффекта, обычно связывают с интенсивным раскрытием микротрещин и повышением уровня остаточных напряжений при волочении проволоки больших диаметров. Поэтому необходимо учитывать неравномерность деформации при расчетах маршрутов волочения, для чего требуется способ ее оценки.

Одним из таких способов, получившим распространение за рубежом, является вычисление параметра Δ по формуле:

$$\Delta = \frac{\alpha}{\delta} (1 + \sqrt{1 - \delta})^2$$

где α – полуугол рабочего конуса волоки, рад; δ – единичное обжатие.

Авторы работы [1] предлагают оценивать равномерность деформации по показателю h , характеризующему высоту непроработанной зоны. Деформация считается равномерной при $h = 0$, когда зона растяжения в центральных слоях проволоки отсутствует.

$$h = \frac{d_0 + d_1}{2} - \frac{d_0 - d_1}{2 \operatorname{tg} \alpha}$$

где d_0 и d_1 – начальный и конечный диаметры проволоки, мм; α – полуугол рабочего конуса волоки, град.

Известно, что неравномерность деформации при волочении в значительной степени определяется величиной обжатия и значением рабочего угла волоки. Анализ приведенных формул показывает, что они позволяют рассчитать оптимальные единичные обжатия и рабочие углы волок для любого диаметра проволоки.

Между тем для разработки рациональных маршрутов представляет интерес вопрос, до какого диаметра волочение в монолитных волоках энергетически выгодно. С этой целью были выполнены расчеты маршрутов волочения проволоки различных диаметров, обеспечивающих равномерную деформацию, оцениваемую по параметру Δ . Маршруты волочения каждого диаметра были рассчитаны по равномерным единичным обжатиям в 4 протяжки. В качестве материала принята патентованная заготовка из стали марки 75. Начальная скорость волочения 2 м/с, КПД двигателя – 0,85. Оценку

маршрутов провели по усилию волочения и мощности. Усилие волочения в монолитных волоках с учетом трения и неравномерности деформации определили из уравнения, приведенного в работе [2]

$$P_{0вол} = F_1 \cdot \Phi_{дон} \cdot S_T \cdot \ln(F_0/F_1) \cdot (1 + f \cdot ctg\alpha)$$

где F_0 и F_1 – начальная и конечная площадь поперечного сечения проволоки при каждом обжати; $\Phi_{дон}$ – коэффициент, учитывающий дополнительную работу пластической деформации сдвига; S_T – среднее значение сопротивления пластической деформации за обжатие, зависящее от величины предшествующей деформации; f – коэффициент трения; α – полуугол рабочего конуса волоки.

Мощность N определяется по формуле

$$N = \frac{P \cdot v}{102 \cdot \eta},$$

где P – усилие волочения, кг; v – скорость волочения, м/с $v_n = v_{n-1} \cdot \mu$;
 μ – единичная вытяжка; η – коэффициент полезного действия двигателя.

Варианты расчетов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Варианты расчета маршрутов волочения и энергосиловые параметры ($\Delta \approx 1$)

Маршрут 1, мм	3,80	3,30	2,89	2,52	2,20
Суммарное обжатие		0,25	0,42	0,56	0,66
Полуугол (α)		4°	4°	4°	4°
Усилие волочения, кг		560	430	360	290
Мощность, кВт		17,04	17,29	19,02	20,21

Продолжение таблицы 1

Маршрут 2, мм	5,00	4,40	3,87	3,40	3,00
Суммарное обжатие		0,23	0,40	0,54	0,64
Полуугол (α)		3°30'	3°30'	3°30'	3°30'
Усилие волочения, кг		830	691	573	462
Мощность, кВт		24,7	26,6	28,6	29,7
Маршрут 3, мм	6,50	5,76	5,10	4,52	4,00
Суммарное обжатие		0,21	0,38	0,52	0,62
Полуугол (α)		3°30'	3°30'	3°30'	3°30'
Усилие волочения, кг		1480	1240	1030	870
Мощность, кВт		43,5	46,5	49,1	52,7
Маршрут 4, мм	9,00	7,77	6,70	5,79	5,00
Суммарное обжатие		0,25	0,45	0,59	0,69
Полуугол		4°	4°	4°	4°
Усилие волочения, кг		2830	2280	1810	1460
Мощность, кВт		87,5	94,9	100,8	108,9
Маршрут 5, мм	11,00	9,45	8,12	6,98	6,00
Суммарное обжатие		0,26	0,46	0,60	0,70
Полуугол		4°	4°	4°	4°
Усилие волочения, кг		4310	3430	2730	2170
Мощность, кВт		134,7	145,2	156,2	168,5
Маршрут 6, мм	14,00	12,17	10,58	9,20	8,00
Суммарное обжатие		0,24	0,43	0,57	0,67

Полуугол		4°	4°	4°	4°
Усилие волочения, кг		6030	4890	3960	3210
Мощность, кВт		184,2	197,4	211,4	226,7

На рисунке 1 показано распределение усилия волочения и мощности по блокам волочильной машины для различных диаметров заготовок.

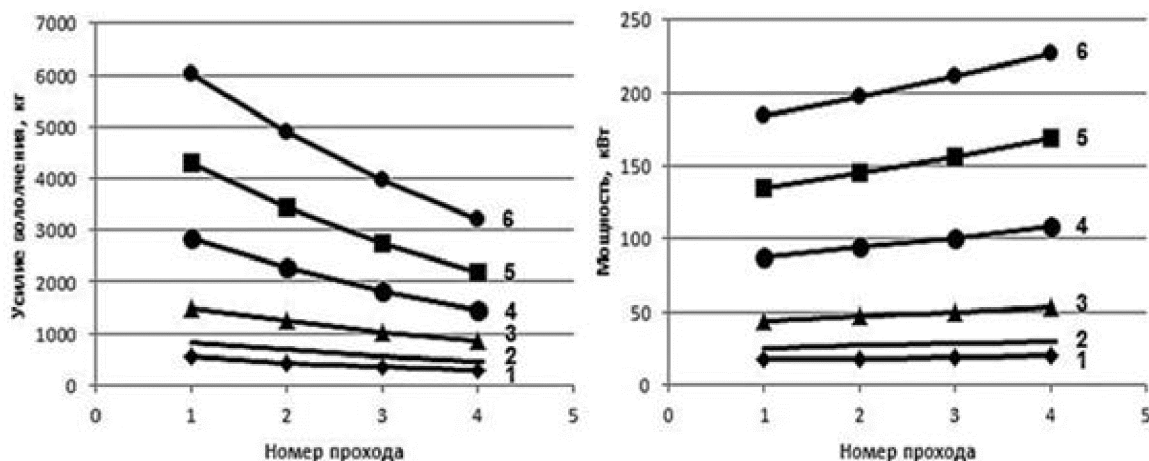


Рис. 1 – Изменение усилия волочения и мощности от числа проходов и диаметра проволоки при волочении в монолитных волокнах (1,2,3,4,5,6 – номера маршрутов)

Анализ рассмотренных маршрутов волочения показывает, что наименьшие энергозатраты обеспечиваются при волочении в монолитных волокнах проволоки диаметром менее 4,0 мм. С увеличением диаметра протягиваемой проволоки усилие волочения резко возрастает (кривые 4, 5 и 6), т.е. для волочения проволоки больших диаметров при условии равномерности деформации рационально использовать менее энергозатратные способы деформирования.

Перспективным способом волочения проволоки больших диаметров является протяжка ее через роликовые волокна. По сравнению с традиционным волочением в роликовых волокнах заметно уменьшаются силы внешнего трения между металлом и подвижными деталями волокна – роликами. Поэтому волочение в роликовых волокнах характеризуется снижением усилия волочения и энергопотребления. При этом отпадает необходимость в дорогих смазках и смазконосителях высокого качества, достаточно использовать дешевые охлаждающие реагенты в виде водно-масляных эмульсий. Проволока, протянутая через роликовые волокна, обладает более равномерным распределением твердости по поперечному сечению, низким уровнем остаточных напряжений и большим ресурсом запаса пластичности. В настоящее время роликовые волокна достаточно широко применяются для волочения арматурной проволоки и труднодеформируемых сплавов.

Для оценки эффективности их применения в сравнении с монолитными волокнами выполнен расчет силовых условий волочения круглой проволоки. В основу расчетов положена методика, изложенная в работе [2].

Усилие протяжки в роликовой волоке рассчитывали по формуле:

$$P_{0\text{рол}} = F_1 \cdot \Phi_{\text{дон}}^* \cdot \bar{S}_T \cdot \ln(F_0/F_1) \cdot (1 + f^* \cdot \text{ctg} \bar{\alpha})$$

где $P_{0\text{рол}}$ – усилие протяжки через роликовые волокна; $\bar{\alpha}$ – приведенный угол роликовой волокны; $\Phi_{\text{дон}}^*$ – коэффициент, учитывающий дополнительную работу пластической деформации сдвига при волочении в роликах; f^* – коэффициент трения в роликовой волоке.

Величина $\Phi_{\text{дон}}^*$, зависящая от геометрии зоны деформации, рассчитывалась по формуле

$$\Phi_{\text{дон}}^* \approx 1 + 0,12(\Delta - 1)$$

Параметр Δ при протяжке круглой проволоки в роликах определили по формуле

$$\Delta = \sqrt{\frac{d_0}{4R\delta}} \cdot (2 - \delta)$$

где d_0 – диаметр заготовки на входе в ролики; R – радиус ролика

Приведенный средний угол $\bar{\alpha}$ для каждого прохода обжатия вычислили по уравнению:

$$\bar{\alpha} = \arcsin \frac{1}{2} \left[\frac{\sqrt{R(d_0 - h_1)}}{2D} + \frac{\sqrt{R(b_1 - d_1)}}{2D} \right]$$

где D и R – диаметр и радиус ролика в проходе обжатия; d_0 – начальный диаметр проволоки; d_1 – ее конечный диаметр; h_1 – высота ее промежуточного сечения; b_1 – ее ширина.

Коэффициент трения при волочении в роликовых волоках рассчитали как

$$f^* = A^* f$$

где

$$A^* = \frac{\mu - 1}{2(\mu + 1)}$$

Упрочнение патентованной проволоки рассчитывали по формуле

$$\sigma_B = \sigma_n \left(\frac{D}{d} \right)^{0.5}$$

где σ_n и σ_B – соответственно временное сопротивление разрыву патентованной заготовки и холоднотянутой проволоки; D и d – соответственно диаметр заготовки и проволоки.

Коэффициент запаса определяли по следующему выражению

$$K_3 = \frac{\sigma_B}{\sigma_{\text{вол}}} \geq 1,4 \div 2,3$$

где σ_B – временное сопротивление разрыву проволоки после волочения; $\sigma_{\text{вол}}$ – напряжение волочения.

Напряжение волочения рассчитывали как отношение усилия волочения к площади поперечного сечения проволоки

$$\sigma_{\text{вол}} = \frac{P}{F_{\text{пр}}}$$

Расчет волочения в монолитной волоке выполнен из условия минимального коэффициента запаса прочности, т.е. когда велика вероятность обрывности проволоки. Эти же условия были приняты для случая волочения в роликовой волоке.

Для расчета были приняты следующие характеристики материала и процесса: заготовка – патентованная катанка диаметром 16,0 мм из стали марки 70 и временным сопротивлением 980 Н/мм² (100 кг/мм²); коэффициент трения 0,08. Для волочения в ро-

ликовой кассете приняты ролики радиусом 100 мм. Роликовая волока представляет собой две роликовые клетки, объединенные в одном корпусе.

Результаты расчетов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики волочения в монолитных и роликовых волоках

Параметры	Начальные условия	Монолитная волока	Роликовая волока	
			Клеть 1	Клеть 2
Диаметр проволоки, мм	16,00	13,50	13,50	
Обжатие		0,29	0,29	
Вытяжка (μ)		1,40	1,40	
Полуугол (α), град		2,5	1,2	1,03
Коэффициент трения (f)		0,08	0,004	0,003
Степень неравномерности (Δ)		0,51	0,88	0,95
$\Phi_{доп}$		0,94	0,99	0,99
Площадь F , мм ²	201,06	143,1	166,1	143,1
σ_B		109	105	109
Усилие волочения, т		13,55	6,41	
Напряжение волочения		94,66	44,78	
σ_{B0} (кг/мм ²)	100	-	-	
Кэф-т зап. прочности		1,10	2,39	
Скорость начальная, м/с		2	2	
КПД		0,85	0,85	
Мощность, кВт		439,03	207,6	

Выполненные расчеты показывают, что наилучшие условия волочения, обеспечивающие равномерность деформации при минимальном усилии волочения, могут быть созданы при волочении в роликовых волоках. Проволока, изготовленная в роликовых волоках, имеет более высокий коэффициент запаса прочности. Уменьшение сил трения на контактной поверхности и усилия волочения способствуют снижению энергозатрат.

Для подтверждения полученных расчетных данных было выполнено компьютерное моделирование методом конечных элементов в программном комплексе DEFORM-3D. При моделировании были приняты следующие допущения: рассматриваемый процесс является симметричным, изотермическим; волоки, валки и тянущие шайбы несжимаемые; материал проволоки считается однородным, изотропным; деформируемая среда – пластическая.

Анализ результатов показал, что при протяжке в роликовой волоке наблюдается проработка по сечению проволоки и снижение доли растягивающих напряжений.

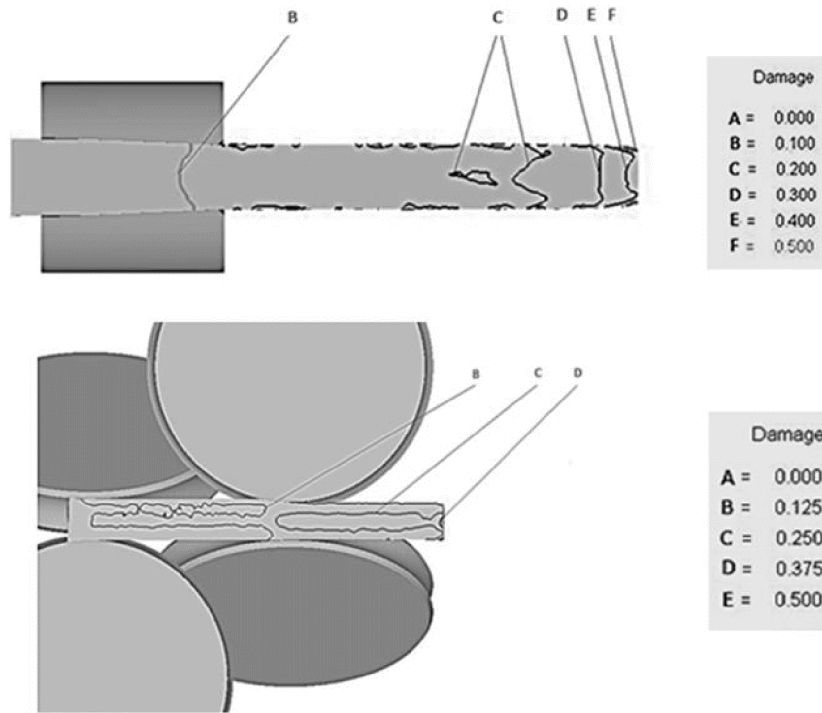


Рис. 2. – Значення критерія Cockroft-Latham при волоченні в монолітній (а) волоке и роликовой волоке (б)

Результати розрахунку в програмному комплексі DEFORM – 3D критерія обривності Cockroft-Latham показали високу ймовірність обриву проволочки при волоченні в монолітній волоке (рис.2). При волоченні в роликівих волоках ймовірність обривів значительно нижче, проволочка зберігає високий коефіцієнт запасу міцності.

Висновок. Приведені дослідження доводять високу ефективність застосування роликівих волок при волоченні сталевих проволочок різного призначення. Їх використання для волочення проволочки, в частині, проволочки більших діаметрів дозволяє покращити техніко-економічні показники волочення і є одним з перспективних способів підвищення її якості і конкурентоспроможності.

Список літератури: 1. Харитонов В.А., Манякин А.Ю., Чукин М.В. и др. Совершенствование режимов деформации и инструмента при волочении круглой проволоки. Монография. Магнитогорск. Изд-во Магнитогорск. гос.техн.ун-та им. Г.И.Носова, 2011. 174с. 2. Битков В.В. Технология и машины для производства проволоки. Екатеринбург. УрОРАН. 2004г. с.343

Поступила до редколегії 23.10.2012

УДК 621.778

Дослідження ефективності способів волочіння сталевих дроту / Харитонов В.А., Галлямов Д.Е. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення у сучасних технологіях. -Харків: НТУ «ХП». - 2012. – № 46(952).-С.193-197. - Бібліогр.: 2 назв.

У статті розглянуті питання нерівномірності деформації при волочінні дроту в монолітній волоці. Розглянуто переваги роликівих волок. Дана оцінка ефективності їх застосування. Розрахункові дані підтверджені комп'ютерним моделюванням методом кінцевих елементів.

Ключові слова: Волочіння, монолітна волока, роликіві волока, рівномірна і нерівномірна деформація.

In article are considered questions of the homogeneous deformation in the process of drawing wire in a wire die. The article discusses the advantages of roller die. Estimation of efficiency of their application. Calculated data are confirmed by computer simulation by the method of finite elements.

Keywords: drawing, wire die, roller die, Homogenous and inhomogeneous deformation.