

Министерство образования и науки Российской Федерации
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

А. А. Кальченко
В. В. Рузанов

ВОЛОЧЕНИЕ ПРОВОЛОКИ

Часть 1

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия*

Магнитогорск
2011

УДК 621.73

Рецензенты:

*Доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Машиноведение»
ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный университет»*

В. С. Славин

Ведущий преподаватель инженерно-педагогического колледжа
Д. Б. Зуев

Кальченко А.А., Рузанов В.В.

Волочение проволоки. Часть 1 : учеб. пособие. — Магнитогорск :
Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г. И. Носова, 2011. — 55 с.

Рассмотрены вопросы выбора размера катанки и определения количества переделов, а также определения марки стали для получения заданных механических свойств на готовом размере.

Предназначено для студентов специальности 150201 «Машины и технология обработки металлов давлением».

УДК 621.73

© Магнитогорский государственный
технический университет
им. Г.И. Носова, 2011

© Кальченко А.А., Рузанов В.В., 2011

ВВЕДЕНИЕ

Технология (от греч. *techne* – искусство, мастерство, умение и *logos* – слово, учение) – наука о способах воздействия на элементы материального мира соответствующими средствами труда на основе фундаментальных знаний и опыта, накопленных человечеством. Цель технологии как науки – выявление, освоение и использование на практике наиболее эффективных, экономичных и экологически чистых производственных процессов.

На рубеже XXI в. металл и металлические изделия останутся важнейшими конструкционными материалами. Особенность современного развития черной металлургии – ориентация не столько на рост объемов производства, сколько на существенные качественные изменения в ее технике и технологии.

Метизное производство – это подотрасль черной металлургии. Метизами называют группу широко распространенных металлических изделий промышленного назначения: проволоку и проволочные изделия (стальные канаты, металлокорд, пружины, сварочные электроды, металлические сетки и др.); крепежные изделия (болты, винты, шурупы, шайбы и т.п.); ленту холоднокатаную и плющеную; калиброванную сталь (сортовая холоднокатаная, серебрянка, стальные фасонные профили высокой точности). Метизы – продукция четвертого передела, заключающая металлургический цикл (производство чугуна, стали, проката).

Проволока – основной вид метизных изделий, занимающий наибольший удельный вес в их общем выпуске.

В работе представлены современные технологические процессы подготовки поверхности, термообработки, нанесения металлопокрытий и волочения, большое внимание уделено вопросам интенсификации и улучшения качества проволоки и проволочных изделий, так как решение проблемы качества одновременно решает проблему количества. Некоторые перспективные процессы изложены в информационном плане для применения их в проектах при разработке новых эффективных, экологически чистых и ресурсосберегающих технологий.

1. ВЫБОР РАЗМЕРА КАТАНКИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ПЕРЕДЕЛОВ

В отечественной и зарубежной практике для массового изготовления проволоки различного назначения применяют катанку диаметром 5,0–6,5 мм. Конкретный выбор размеров обуславлива-

ется действием различных факторов технологического и экономического характера.

Часто в государственных стандартах и технических условиях специально оговаривается марка стали.

Это относится к изготовлению проволоки из низкоуглеродистых сталей, сварочной проволоки, проволоки из легированных и высоколегированных сталей, коррозионностойких, жаростойких, жаропрочных и прецизионных сплавов. Размеры катанки в этих случаях выбирают из имеющегося ее сортамента, рациональной кратности волоочильного оборудования и оптимальных технико-экономических показателей производства.

Если проволока из углеродистой стали (типа пружинной и канатной) изготавливается за один передел, в основу выбора размеров катанки принимают получение на готовом размере заданных механических свойств.

При изготовлении проволоки тонких, тончайших и наитончайших размеров из углеродистых сталей размер катанки определяется соображениями экономического характера: с уменьшением диаметра катанки сокращается количество переделов и улучшаются технико-экономические показатели сталепроволочного производства. С этой точки зрения оптимальным размером катанки считают диаметр 5,0–5,5 мм.

Необходимо учитывать, чтобы номенклатура выбранного сортамента проката соответствовала основным типам и диапазонам существующих и вновь проектируемых проволочных прокатных станов. В табл. 1.1 приведены рекомендуемые размеры катанки для изготовления проволоки различного назначения.

При проектировании технологических режимов волочения важную роль играет определение количества переделов при изготовлении проволоки. В основу расчетов заложены оптимальные величины суммарных обжатий между термообработками и при волочении на готовый размер, выработанные практикой проволочного производства.

Таблица 1.1

Размеры заготовки при изготовлении проволоки различного назначения

Расчетный диаметр готовой проволоки, мм	Размеры катанки, мм					
	Низкоуглеродистая	Легированная сталь, класс		Углеродистая сталь марки		
		мартенситный	аустенитный	40–60	70	У8А
0,15–4,0	5,0–6,5	5,0–6,5	5,0–6,5	5,0–6,5	5,0–6,5	5,0–7,0
5,0	6,5	6,5	6,5	7,0	7,0	8,0
6,0	7,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
8,0	10,0	–	–	10,0	10,0	10,0
10,0	12,0	–	–	–	–	–

При выборе величины суммарных обжатий учитываются свойства исходной заготовки и готовой проволоки, характер изменения свойств проволоки в процессе волочения. Одновременно следует иметь в виду, что суммарные обжатия определяют количество переделов и, следовательно, технико-экономические показатели производства – структуру цеха, состав оборудования, его производительность, затраты на производство и т.д.

Проволоку из низкоуглеродистых и аустенитных сталей подвергают волочению с суммарными обжатиями до 95%. В табл. 1.20 приведены рекомендуемые технологические параметры волочения для низкоуглеродистой проволоки и проволоки из сталей аустенитного класса.

При волочении средне- и высокоуглеродистой проволоки наиболее часто используют суммарные деформации 80–85% для высокопрочной проволоки тончайших и наитончайших размеров – до 95–97% (табл. 1.3).

На рис. 1.1, 1.2 показаны выработанные практикой отечественных заводов технологические параметры при волочении высокоуглеродистой проволоки ответственного назначения на передельные

Таблица 1.2

Технологические параметры волочения проволоки из низкоуглеродистой и легированной сталей аустенитного класса

Размерная группа, мм	Расчетный диаметр, мм	Низкоуглеродистая сталь			Легированная сталь		
		Обжатие, %		Скорость волочения, м/мин	Обжатие, %		Скорость волочения, м/мин
		частное	суммарное		частное	суммарное	
0,13–0,17	0,15	15	95	1000	–	–	–
0,18–0,22	0,20	15	94	1000	15	89	400
0,23–0,27	0,25	17	94	1000	17	91	400
0,28–0,33	0,30	17	94	900	17	91	400
0,34–0,48	0,40	17	92	900	18	87	370
0,49–0,72	0,60	17	86	800	18	64	370
0,73–0,88	0,80	24	84	800	20	80	300
0,89–1,12	1,0	24	84	700	20	83	300
1,13–1,32	1,20	24	84	700	20	80	250
1,33–1,52	1,40	25	88	700	20	73	250
1,53–1,78	1,6	34	94	700	23	71	250
1,79–2,28	2,0	32	90	700	23	80	250
2,29–2,77	2,5	32	85	650	23	69	200
2,78–3,57	3,0	31	79	600	23	79	200
3,58–4,57	4,0	28	62	400	23	62	150
4,58–5,47	5,0	25	40	330	23	41	110
5,48–6,43	6,0	26	26	260	18	44	70
6,44–9,45	8,0	36	36	200	–	–	–
9,46–12,0	10,0	30	30	150	–	–	–

и готовые размеры.

При определении количества переделов в зависимости от назначения проволоки выбирают величину суммарных обжатий между термообработками либо задаются рекомендуемой величиной суммарной деформации для данной марки стали, которая служит средней величиной суммарной деформации между переделами. Выбранное значение корректируют с учетом правила: если в технологическом цикле изготовления проволоки несколько переделов, то величину суммарного обжатия внутри передела увеличивают от первого передела к последующему.

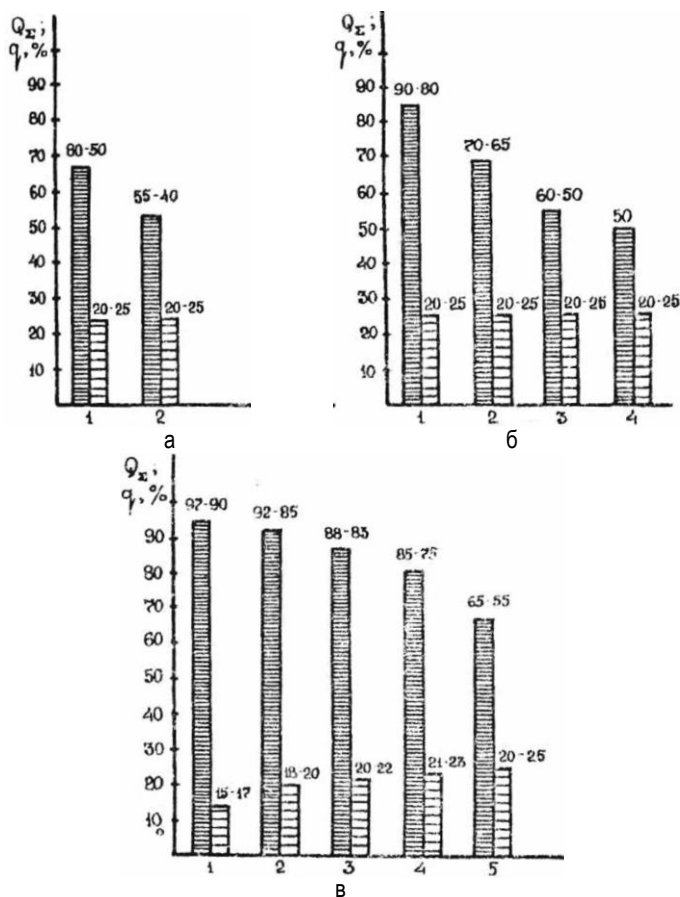


Рис. 1.1. Распределение суммарных и частных обжатий при волочении пружинной проволоки (ГОСТ 9389-80):

а – первая переделная заготовка; б – вторая переделная заготовка; в – готовый размер;
1 – 0,25–0,75 мм; 2 – 0,80–1,40 мм; 3 – 1,5–1,9 мм; 4 – 2,0–4,0 мм; 5 – 4,2–6,0 мм

Таблица 1.1.3

Технологические параметры волочения проволоки из углеродистой стали

Размерная группа, мм	Расчетный диаметр, мм	Марка 40–60			Марка 70			Марка У8А		
		Обжатие, %		Скорость волочения, м/мин	Обжатие, %		Скорость волочения, м/мин	Обжатие, %		Скорость волочения, м/мин
		частное	суммарное		частное	суммарное		частное	суммарное	
0,13–0,17	0,15	14	94	800	15	96	740	15	97	700
0,18–0,22	0,20	15	94	800	15	96	740	15	97	700
0,23–0,27	0,25	18	94	800	15	94	740	15	96	700
0,28–0,33	0,3	18	94	800	18	94	740	18	95	600
0,34–0,48	0,4	18	92	740	18	92	740	17	94	600
0,49–0,72	0,6	18	86	600	20	91	550	23	93	500
0,73–0,88	0,8	20	84	550	21	90	550	24	92	500
0,89–1,12	1,0	20	84	550	24	89	450	23	91	400
1,13–1,32	1,2	20	84	500	22	88	450	23	91	400
1,33–1,52	1,4	20	78	450	25	84	450	26	88	400
1,53–1,78	1,6	23	79	450	23	84	400	25	87	350
1,79–2,28	2,0	23	75	350	24	80	350	22	83	300
2,29–2,77	2,5	23	75	350	22	75	350	22	77	300
2,78–3,57	3,0	23	79	350	22	79	270	22	79	250
3,58–4,57	4,0	23	62	270	24	75	270	25	68	200
4,58–5,47	5,0	23	49	270	21	61	270	22	61	170
5,48–6,43	6,0	25	44	150	18	55	150	18	55	150
6,44–9,45	8,0	21	21	100						

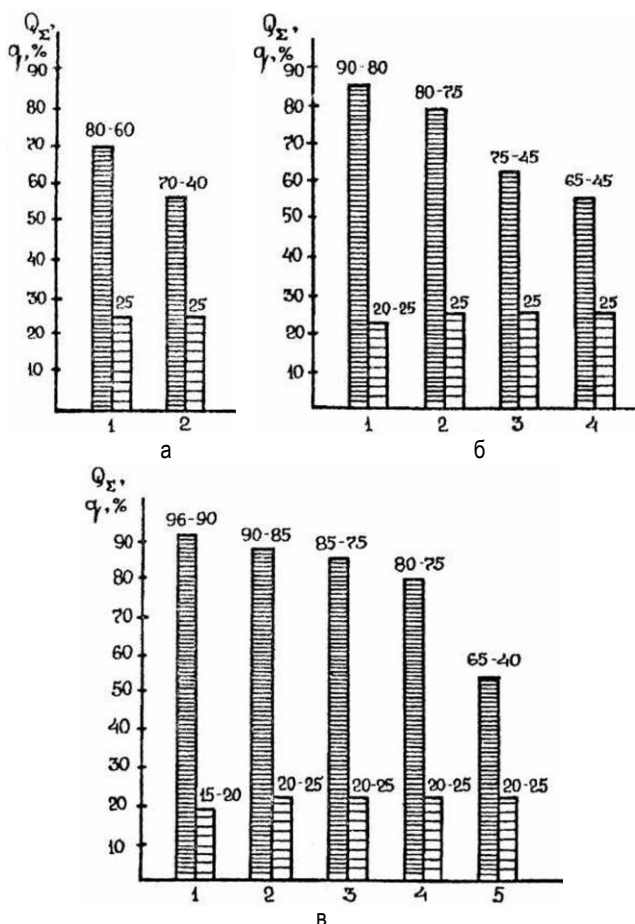


Рис. 1.2. Распределение суммарных и частных обжатий при волочении канатной проволоки (ГОСТ 7372-79):
а – первая передельная заготовка; б – вторая передельная заготовка;
в – готовый размер; 1 – 0,20–0,40 мм; 2 – 0,45–0,8 мм;
3 – 0,9–2,0 мм; 4 – 2,10–2,50 мм; 5 – 2,6–5,0 мм

Рассмотрим выбор количества переделов и расчет диаметров передельных заготовок на примерах.

Пример 1. Определить количество переделов и размеры передельных заготовок при изготовлении канатной оцинкованной проволоки диаметром $d_k = 0,30$ мм с допуском $\pm \Delta = \begin{smallmatrix} +0,02 \\ -0,01 \end{smallmatrix}$ и маркировочным пределом прочности $\sigma_g = 1960 \text{ Н/мм}^2$ (200 кгс/мм²).

1. Массовый размер катанки, прокатываемой на проволочных станах, – диаметр 6,5 мм.

Выбираем размер катанки диаметром $d_0 = 6,5$ мм с допуском на размер $\Delta_0 = \pm 0,3$ мм.

2. Вычисляем суммарное обжатие и общую вытяжку за весь технологический цикл изготовления проволоки:

$$Q_{\Sigma} = \frac{(d_0 + \Delta_0)^2 - (d_k - \Delta_k)^2}{(d_0 + \Delta_0)^2} = \frac{(6,5 + 0,3)^2 - (0,3 - 0,01)^2}{(6,5 + 0,3)^2} = 0,998181;$$

$$\mu_{\Sigma} = \frac{1}{1 - Q_{\Sigma}} = \frac{1}{1 - 0,998181} = 549,4505..$$

3. На основании практических данных (см. рис. 1.2) выбираем величину среднего суммарного обжатия между переделами $Q_{\Sigma_{cp}} = 85\%$ и вычисляем среднюю общую вытяжку:

$$\mu_{\Sigma_{cp}} = \frac{1}{1 - Q_{\Sigma_{cp}}} = \frac{1}{1 - 0,85} = 6,66667.$$

4. Находим расчётное количество переделов:

$$N^p = \frac{\lg \mu_{\Sigma}}{\lg \mu_{\Sigma_{cp}}} = \frac{\lg 549,4505}{\lg 6,66667} = 3,3255.$$

5. Округляем полученное число до ближайшего целого:

$$N^p \rightarrow N; \quad N = 3, 0.$$

6. Уточняем значения средних величин деформаций между переделами:

$$\lg \mu_{\Sigma_{cp}}^p = \frac{\lg \mu_{\Sigma}}{N} = \frac{\lg 549,4505}{3} = 0,9133; \quad =$$

$$\mu_{\Sigma_{cp}}^p = 8,1903;$$

$$Q_{cp}^p = \frac{\mu_{\Sigma_{cp}}^p - 1}{\mu_{\Sigma_{cp}}^p} = \frac{8,1903 - 1}{8,1903} = 0,8779; \quad Q_{cp}^p = 87,79\%.$$

7. На основе практических данных (рис. 1.2, в) выбираем значение суммарной деформации на последнем переделе:

$$Q_{III} = 94\% (0,94); \mu_{III} = \frac{1}{1-0,94} = 16,6666.$$

8. На последующих переделах (кроме первого) принимаем за расчетную величину суммарной деформации значение средних величин деформаций:

$$\mu_{II} \cdot \mu_{\Sigma_{cp}}^P = 8,1903; Q_{II} = Q_{cp}^P = 0,8779.$$

9. Вычисляем величину суммарной деформации на первом переделе:

$$\mu_1 = \frac{\mu_{\Sigma}}{\mu_{II} \cdot \mu_{III}} = \frac{\mu_{\Sigma}}{\mu_{II} \times \dots \times \mu_{K-1}} = \frac{549,4505}{8,1903 \cdot 16,6666} = 4,025;$$

$$Q_1 = \frac{\mu_1 - 1}{\mu_1} = \frac{3,025}{4,025} = 0,7516.$$

10. Проверка:

$$\mu_{\Sigma} = \mu_I \mu_{II} \mu_{III} = 4,025 \cdot 8,1903 \cdot 16,6666 = 549,45.$$

11. Находим размеры передельных заготовок:

$$d_{k(III)} = d_{II} - d_I - d_0;$$

$$d_{II} = (d_{k(III)} - \Delta_k) \sqrt{\mu_{III}}; d_I = d_{II} \sqrt{\mu_{II}};$$

$$d_{II} = 0,29 \sqrt{16,6666} = 1,1839 \text{ мм};$$

$$d_I = 1,1839 \sqrt{8,1903} = 3,3882 \text{ мм};$$

$$d_0 = 3,3882 \sqrt{4,025} = 6,8 \text{ мм}.$$

12. Полученные значения диаметров передельных заготовок округляем до первой значащей цифры после запятой и назначаем на основании требований стандарта предприятий (СТП) допуски на размеры передельных заготовок:

$$0,3 \pm \begin{matrix} 0,02 \\ 0,01 \end{matrix} - 1,2 \pm 0,05 - 3,4 \pm 0,05 - 6,5 \pm 0,3.$$

Пример 2. Определить количество переделов и размеры передельных заготовок при изготовлении канатной проволоки диаметром $d_k = 1,0 \text{ мм}$ с допуском $\pm \Delta_k = \begin{matrix} +0,02 \\ -0,01 \end{matrix}$ и маркировочным пределом прочности $\sigma_e = 1800 \text{ Н/мм}^2$ (180 кгс/мм^2).

1. Выбираем катанку диаметром $d_0 = 6,5$ мм, $\Delta_0 = \pm 0,3$ мм.

$$2. Q_{\Sigma} = \frac{(6,5 + 0,3)^2 - (1,0 - 0,01)^2}{(6,5 + 0,3)^2} = 0,9788.$$

$$\mu_{\Sigma} = \frac{1}{1 - 0,9788} = 47,1698;$$

3. Выбираем $Q_{cp} = 85\%$.

$$\mu_{\Sigma_{cp}} = \frac{1}{1 - 0,85} = 6,66667.$$

$$4. N^P = \frac{\lg \mu_{\Sigma}}{\lg \mu_{\Sigma_{cp}}} = \frac{\lg 47,1698}{\lg 6,66667} = 2,031.$$

5. Принимаем $N = 2$.

$$6. \lg \mu_{\Sigma_{cp}}^P = \frac{\lg \mu_{\Sigma}}{N} = \frac{\lg 47,1698}{2} = 0,83683; =$$

$$\mu_{\Sigma_{cp}}^P = 6,8680;$$

$$Q_{cp}^P = \frac{\mu_{\Sigma_{cp}}^P - 1}{\mu_{\Sigma_{cp}}^P} = \frac{6,8680 - 1}{6,8680} = 0,8544.$$

7. Принимаем (см. рис. 1.2, в) $Q_{II} = Q_{cp}^P$; $\mu_{II} = \mu_{\Sigma_{cp}}^P$.

8. Находим величину суммарной деформации на первом переделе:

$$\mu_1 = \frac{\mu_{\Sigma}}{\mu_{II}} = \frac{\mu_{\Sigma}}{\mu_{\Sigma_{cp}}^P} = \frac{47,1698}{6,8680} = 6,8681;$$

$$Q_I = \frac{\mu_I - 1}{\mu_I} = \frac{6,8681 - 1}{6,8681} = 0,8544.$$

$$9. d_{II} = d_k \sqrt{\mu_{II}} = 1,0 \sqrt{6,8680} = 2,6207 \text{ мм};$$

$$d_0 = 2,6207 \sqrt{6,8681} = 8,1 \text{ мм} = (6,5 + 0,3) \text{ мм}.$$

10. Определяем размер передельной заготовки:

$$1,0^{+0,02}_{-0,01} - 2,6 \pm 0,05 - 6,5 + 0,3.$$

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАРКИ СТАЛИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАДАНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НА ГОТОВОМ РАЗМЕРЕ

Марку углеродистых сталей выбирают в основном по содержанию углерода в стали, от которого зависит уровень прочностных свойств проволоки, и по величине суммарных обжатий. При необходимости прочностные характеристики корректируют по содержанию марганца: увеличение содержания марганца в стали на 0,1% повышает предел прочности проволоки на 50 Н/мм^2 (5 кгс/мм^2) при его содержании от 0,5 до 0,9%.

В основу выбора марки стали и размеров заготовки для последующего волочения заложены уравнения, полученные из практических данных. Для определения исходного диаметра обычно задаются известным диаметром готовой проволоки и заданным значением ее временного сопротивления разрыву (предела прочности). Связь между размерами исходной заготовки, готовой проволоки, их прочностными характеристиками обычно определяют по уравнению, которое выполняется достаточно точно для широкого диапазона суммарных обжатий (кроме начальных до 20%) – уравнение Н.В. Соколова–К.И. Туленкова:

$$d_0 = \frac{\sigma_B^2}{\sigma_{BII}^2} d_r,$$

где d_0 , d_r – диаметры заготовки и готовой проволоки; σ_B , σ_{BII} – предел прочности соответственно готовой проволоки и патентированной заготовки.

Предел прочности, кгс/мм^2 , патентированной заготовки определяется по формуле К.Д. Потемкина, выведенной на основе экспериментальных данных, практики работы ряда заводов и нормативных таблиц предприятий:

$$\sigma_{BII} = 100C - d_0 + 53,$$

где C – содержание углерода в стали, %; d_0 – исходный диаметр катанки или патентированной заготовки, мм.

На основании практических данных получены аналогичные уравнения для определения предела прочности, кгс/мм^2 , исходной катанки:

- после регулируемого охлаждения с получением сорбитизированной структуры или заготовки после нормализации

$$\sigma_{BII} = 100C - d_0 + 48;$$

- после обычного воздушного охлаждения с получением структуры грубопластинчатого перлита или заготовки после отжига

$$\sigma_{BII} = 100C - d_0 + 43.$$

Таким образом, если готовая проволока с заданным пределом прочности изготавливается за один передел, марку стали определяют в зависимости от выбранных размеров катанки, условий ее охлаждения после прокатного нагрева и вида термообработки:

$$C = \frac{\sigma_B - \sqrt{\frac{d_0}{d_k}} (A - d_0)}{100 \sqrt{\frac{d_0}{d_k}}},$$

где σ_B – заданный предел прочности, кгс/мм²; d_0 , d_k – размер катанки и готовой проволоки, мм; $A = 53$; $A = 48$; $A = 43$ соответственно для катанки после патентирования, сорбитизации с прокатного нагрева и после обычного охлаждения на воздухе.

Для практического пользования на рис. 2.1–2.3 изображены номограммы, построенные по приведенным уравнениям.

Пример пользования номограммой. Требуется изготовить проволоку диаметром 3,5 мм с пределом прочности 1400 Н/мм² (140 кгс/мм²). Определить размер патентированной катанки и марку стали.

Из точки, соответствующей диаметру готовой проволоки 3,5 мм, проводим перпендикуляр до пересечения с лучом, соответствующим, например, диаметру катанки 6,5 мм (см. рис. 2.1). Из точки пересечения проводим горизонтальную прямую до пересечения с кривой, соответствующей диаметру катанки 6,5 мм и заданному пределу прочности готовой проволоки (1400 Н/мм²). Перпендикуляр, опущенный из этой точки до пересечения с осью абсцисс, покажет содержание углерода 0,56% в стали марки 60. Из диаграммы видно, что проволоку с заданным геометрическими и прочностными характеристиками можно получить и из других размеров катанки. Если взять катанку диаметром 5,5 мм, то для получения заданной прочности необходимо выбрать марку 65 (содержание $C=0,64\%$). Если выбрана катанка диаметром 6,5 мм без дополнительного охлаждения с температуры прокатки (см. рис. 2.3), то нужное содержание углерода увеличится до 0,65% для требуемого получения предела прочности на готовом размере для катанки диаметром 6,5 мм и до 0,74% для катанки диаметром 5,5 мм. С увеличением размера катанки с данной структурой для получения заданных свойств уменьшается необходимое количество углерода в стали.

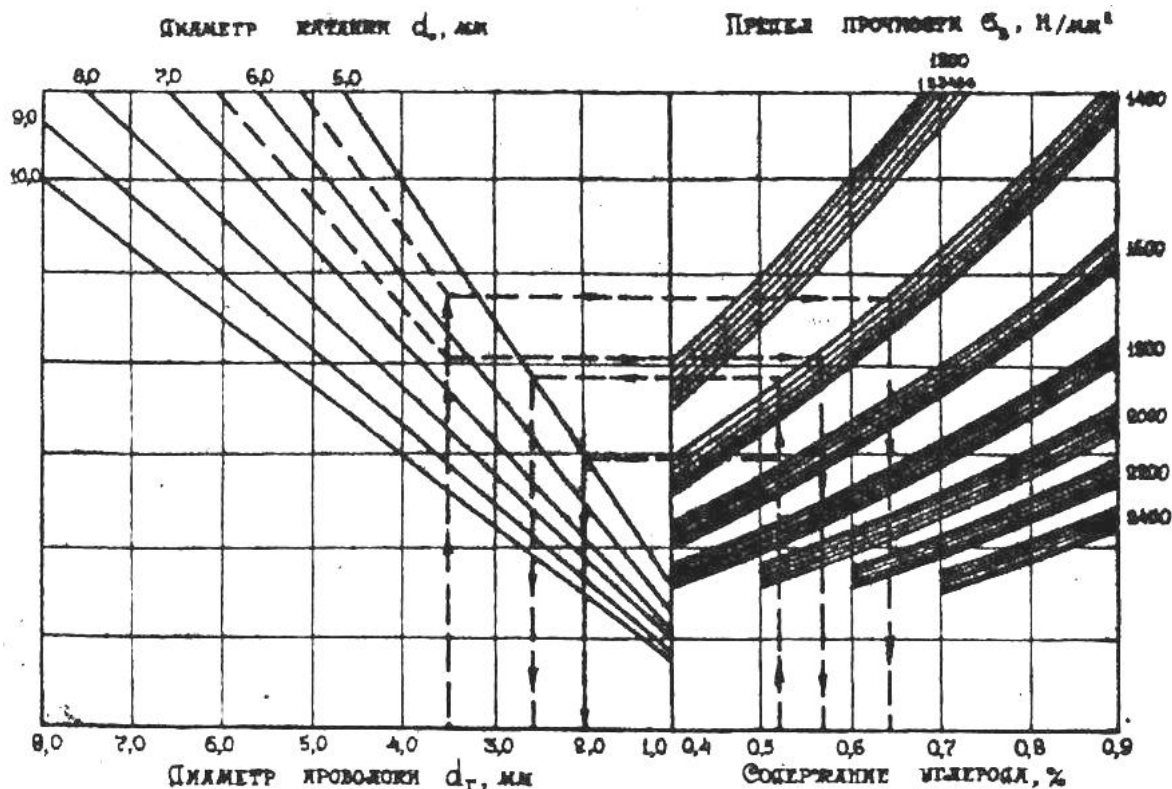


Рис. 2.1. Номограмма для определения свойств исходной заготовки (после патентирования):

1, 2, 3, 4, 5, 6 – диаметр катушки соответственно 5,0; 6,0; 7,0; 8,0; 9,0; 10,0 мм

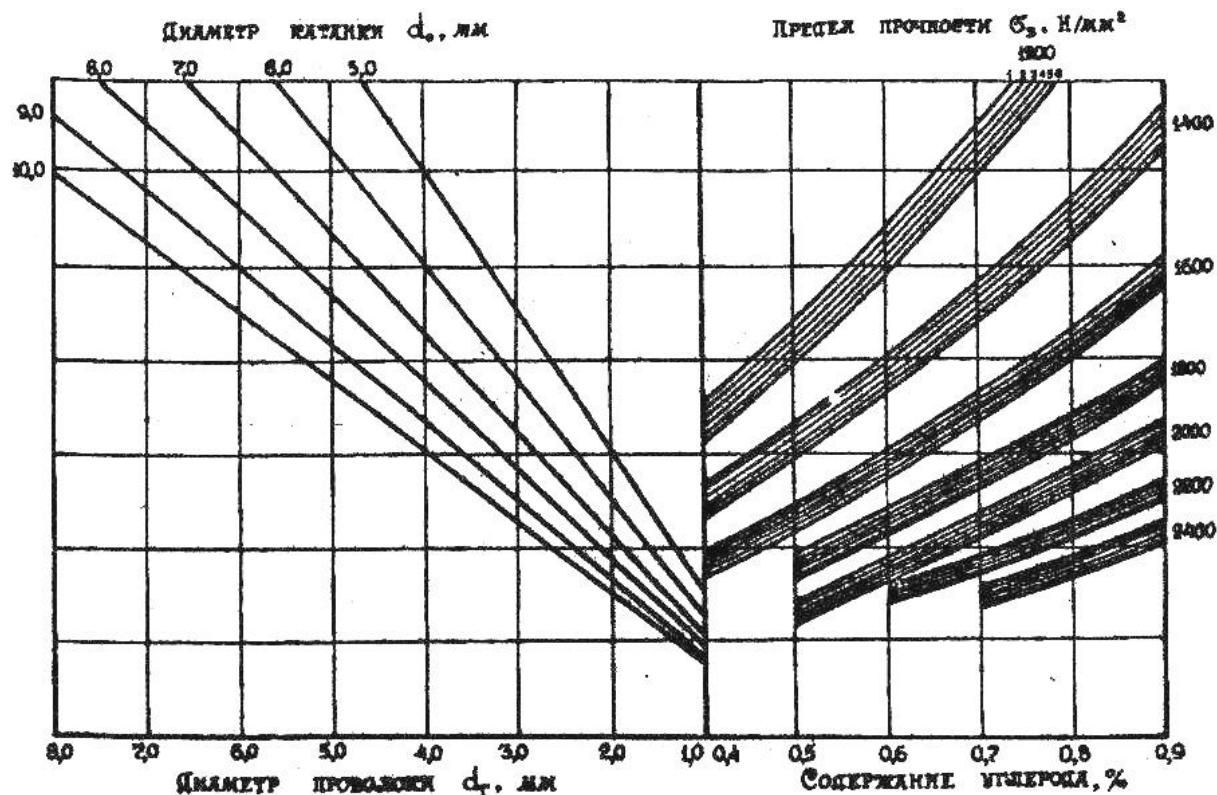


Рис. 2.2. Номограмма для определения свойств исходной заготовки (катушка сорбитизирована с прокатного нагрева).
Обозначения по рис. 2.1

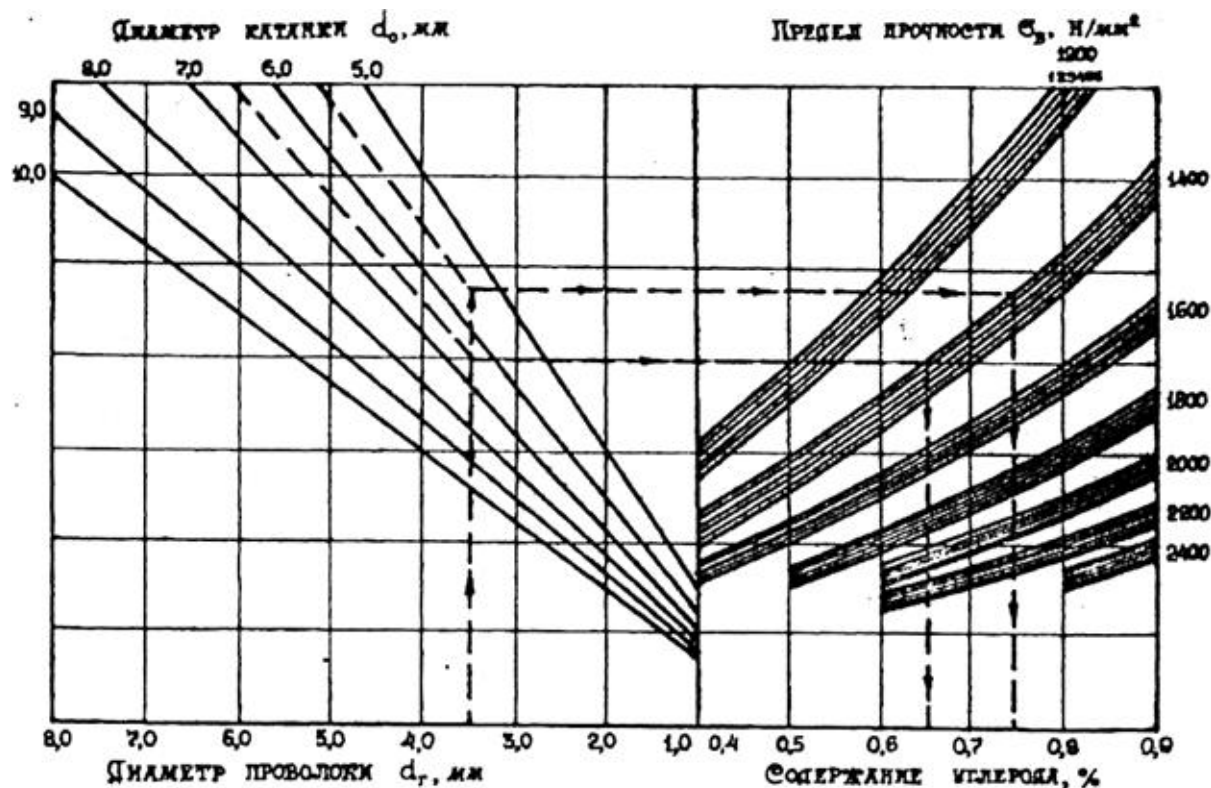


Рис. 2.3. Номограмма для определения свойств исходной заготовки (катанка после обычного охлаждения с прокатного нагрева).
Обозначение по рис. 2.1

Номограммы позволяют решать обратную задачу.

Пример. Имеется патентованная катанка диаметром 5,0 мм с содержанием углерода 0,52%. Определить возможные размеры готовой проволоки и их маркировочные пределы прочности.

Из точки, соответствующей содержанию углерода 0,52% (см. рис. 2.1), восстанавливаем перпендикуляр до пересечения с кривой, соответствующей заданному размеру катанки диаметром 5,0 мм, например, для группы прочности 1600 Н/мм^2 . Из точки пересечения проводим горизонтальную прямую до пересечения с лучом, соответствующим размеру катанки диаметром 5,0 мм. Перпендикуляр, опущенный из этой точки до пересечения с осью абсцисс, определит диаметр готовой проволоки 2,0 мм. Аналогичные операции позволяют установить, что из заданной катанки можно получить и готовую проволоку диаметром 2,6 мм с маркировочным пределом прочности 1400 Н/мм^2 .

Из сравнения номограмм следует, что наиболее целесообразно применять патентованную катанку, поскольку заданный предел прочности при прочих равных условиях достигается при меньшей величине суммарных обжатий с лучшим набором характеристик пластичности.

Если готовая проволока с заданным пределом прочности изготавливается за несколько переделов, марку стали устанавливают по характеристикам последнего передела, заменив в уравнении $d_0 = d_{k-1}$, где $k-1$ – размер заготовки на последнем переделе:

$$C = \frac{\sigma_B - \sqrt{\frac{d_{k-1}}{d_k}} (53 - d_{k-1})}{100 \sqrt{\frac{d_{k-1}}{d_k}}}.$$

Необходимо учитывать, что при выборе марки стали для заготовки, предназначенной для получения готовой оцинкованной проволоки, содержание углерода принимают на группу выше, чем для изготовления светлой проволоки одной и той же группы прочности.

Для облегчения и ускорения расчетов на рис. 2.4 изображена номограмма для определения количества переделов, размеров переделных заготовок и марки стали при заданных размерах готовой проволоки и требуемого маркировочного предела прочности. Для условий примера 1 порядок работы с номограммой следующий.

Вычисляя суммарное обжатие Q_Σ за весь технологический цикл, выбирают величину среднего суммарного обжатия Q_{cp} внутри передела, рассчитывают количество переделов $N^P \rightarrow N$ и корректируют распределение суммарных обжатий по переделам:

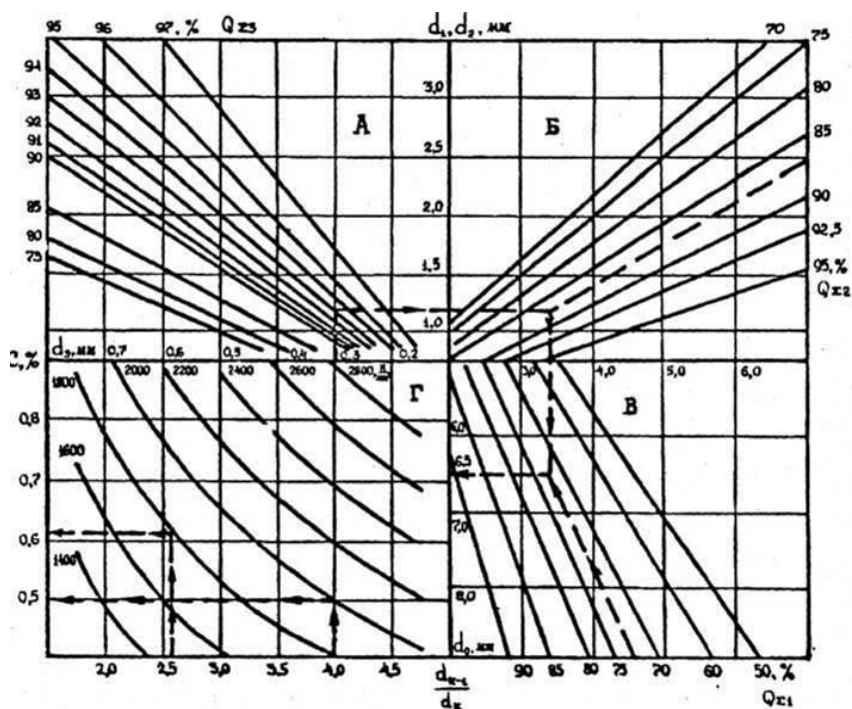


Рис. 2.4. Номограмма для определения количества переделов, размеров передельных заготовок и марки стали для заданного сортамента готовой проволоки

$$Q_I = 72,5\%; Q_{II} = 87\%; Q_{III} = 94\%.$$

На поле А номограммы из точки, соответствующей диаметру готовой проволоки (0,30 мм), восстанавливают перпендикуляр до пересечения с лучом, определяющим величину суммарной деформации на последнем переделе (94%). Из точки пересечения проводим горизонтальную прямую до пересечения с правой осью ординат и устанавливаем размер передельной заготовки d_{II} на последнем третьем переделе (1,20 мм). На поле Б номограммы из точки, соответствующей диаметру заготовки 1,20 мм, проводим горизонталь до пересечения с лучом, соответствующим суммарной деформации на втором переделе (87%). Из точки пересечения проводим вертикальную прямую до пересечения с осью координат. Точка пересечения укажет диаметр передельной заготовки d_0 (3,40 мм). Продолжаем прямую на поле В номограммы до пересечения с лучом, соответствующим суммарному обжатию на первом переделе $Q = 72,5\%$. Горизонтальная прямая, проведенная из точки пересечения до встречи с осью ординат, опре-

делит диаметр катанки 6,5 мм. На поле Г восстанавливаем перпендикуляр из точки, соответствующей отношению d_{k-1}/d_k на последнем переплете $d_{k-1}/d_k = 4$ до пересечения с лучом, соответствующим заданному маркировочному пределу прочности 2000 Н/мм^2 (200 кгс/мм^2). Проведенная из этой точки горизонтальная прямая до пересечения с осью ординат укажет содержание углерода (0,50) в стали. Поскольку готовая проволока диаметром 0,3 мм имеет цинковое покрытие, расчетное содержание углерода увеличивается на группу:

$$C = 0,5 + 0,05 = 0,55\%.$$

Выбираем для изготовления проволоки сталь марки 60.

Для условий второго примера: на поле Г восстанавливаем перпендикуляр из точки, соответствующей отношению $d_{k-1}/d_k = 2,6$, до пересечения с кривой, соответствующей заданному маркировочному пределу прочности 1800 Н/мм^2 (180 кгс/мм^2). Проведенная из этой точки горизонтальная прямая до пересечения с осью ординат укажет содержание углерода в стали – 0,61%. Выбираем сталь марки 60. последовательность определения основных параметров технологии указана стрелками.

3. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПЕРЕХОДОВ ПРИ ВОЛОЧЕНИИ

Волочение проволоки различного назначения осуществляют на волочильных станах, работающих со скольжением и без скольжения.

На волочильных станах без скольжения линейные скорости рабочей поверхности барабана и поступательного движения проволоки совпадают. К этим станам относятся прямоточные и петлевые волочильные станы, станы магазинного типа с накоплением проволоки на промежуточных барабанах и станы с накоплением проволоки и сдвоенными барабанами (системы Баркро).

У станов со скольжением линейная скорость рабочей поверхности вытяжной шайбы несколько больше скорости движения проволоки.

Волочение можно производить одновременно в одну или в несколько протяжек.

В первом случае волочение называют однократным и волочильный стан однократником. При однократном волочении не требуется никакой синхронизации скоростей, так как частота вращения барабана определяет скорость волочения проволоки. Однократные станы применяют при изготовлении прутков, труб, фасонных профилей и проволоки больших диаметров. Иногда их используют для получения промежуточной подтяжки, при калибровке катанки с целью исключе-

ния исходной овальности для получения геометрически точных размеров и в потоке с механическим удалением окалины.

При изготовлении проволоки через несколько протяжек волочения называют многократным, а волочильный стан – станом многократного волочения. Для этого используют преимущественно многократные волочильные станы.

Последовательное изменение размеров проволоки на блоках волочильного стана, составленное по определенной программе, называют переходами (маршрутом волочения).

Число переходов (количество протяжек в маршруте) зависит от свойств и назначения готовой проволоки, ее геометрических размеров, вида передела, смазки и способа ее ввода в очаг деформации, способа охлаждения и других конструктивных и технологических факторов.

Технически грамотно спроектированные переходы при волочении, учитывающие технологические особенности и конструктивные характеристики стана, обеспечивают высокопроизводительную работу оборудования и высокое качество продукции.

3.1. Станы однократного волочения

Барабан однократного волочильного стана служит для протягивания проволоки, ее накопления и формирования бунта или передающим устройством при непрерывном съеме проволоки и для намотки на приемную катушку.

Обжатия при волочении определяются размерами готовой проволоки (передельной заготовки) и катанки:

$$q = \frac{d_0^2 - d_k^2}{d_0^2} ; \mu = \frac{d_0^2}{d_k^2} \cdot \frac{1}{1 - q} .$$

Станы однократного волочения применяют для производства толстой и особо толстой проволоки (диаметром 6,0–17,0 мм) и бунтового калиброванного металла.

На рис. 3.1 изображены схемы станов однократного волочения с вращающимся вертикальным тяговым барабаном. Тяговый барабан может располагаться и в горизонтальной плоскости. В табл. 3.1 приведены технические характеристики станов однократного волочения, наиболее применяемые в сталепроволочном производстве.

Недостатки этих станов – малый коэффициент использования оборудования (до 50%) и низкая производительность труда, обусловленные следующими конструктивными особенностями станов.

1. Необходимость выпрямления заготовки из изогнутого состояния в прямолинейное, трудоемкость при сварке концов бунта, зачистке сварного шва, острении и заправке в волоку.

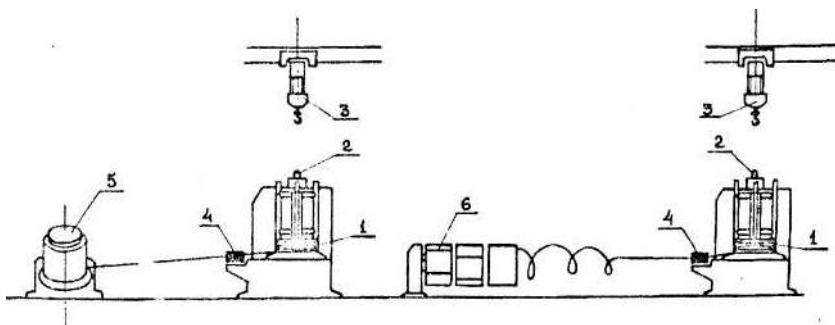


Рис. 3.1. Схемы станов однократного волочения с вращающимся вертикальным тяговым барабаном:
1 – тяговый барабан; 2 – съемное устройство; 4 – мильница с волокодержателем;
5 – не приводное вращающееся размоточное устройство (фигурка);
6 – неподвижное горизонтальное размоточное устройство (хлопуша)

Таблица 3.1

Технические характеристики станов однократного волочения

Параметр	АЗТМ				СКЕТ, ФРГ		
	1/350	1/550	1/650	1/750	UDZSAbes	UDZSAIa	UDZSAII
Диаметр барабана, мм	350	550	650	750	700	600	500
Диаметр, мм:							
заготовки	2,7–3,5	4,5–8	12–15	12–20	12–18	7–9	5–6
готовой проволоки	0,8–3,0	3–6,8	7–10	10–17	10–17	6–9	3–7
Предел прочности заготовки, Н/мм ²	392–784	392–784	588–1078	588–1078	392–1176	392–1176	392–1176
Максимальная сила волочения, кН	10	24,5	49	78,4	49	24,5	12,25
Скорость волочения, м/с	1,0–3,3	1,4–4,8	1,2–3,4	0,7–1,2	0,55	18,0	18,0
Мощность двигателя, кВт	25	40	75	100	40–50	30–55	22–30
Габаритные размеры, мм:							
длина	3600	4110	6200	9385	2050	1900	1600
ширина	3400	3620	4350	4520	2600	1900	1700
высота	2500	2720	3250	3550	2300	2400	2100
Масса стана, т	4,5	5,6	18,2	10,9	4,4	3,3	2,2
Максимальный расход воды для охлаждения барабана и волоки, м ³ /ч	0,3	0,4	1,1	1,5	1,5	1,4	1,1

2. Скорость волочения ограничивается скоростью съема заготовки с размоточного устройства и дисбалансом из-за несимметричности бунта проволоки большой массы на барабане при высоких скоростях.

Компания STELCO (СТИЛКО, Канада), разработала однократный стан "Stelblock" ("Стилблок") принципиально новой конструкции. На рис. 3.2 показана конструкция этого стана. Бунт 1 исходной катанки 2 помещают на размоточный барабан 3, который имеет возможность свободно вращаться вокруг центрального тормозного вала 4. Этот вал связан с мыльницей и волокодержателем 5 и вращается с такой же скоростью, что и они. Волокодержатель с мыльницей

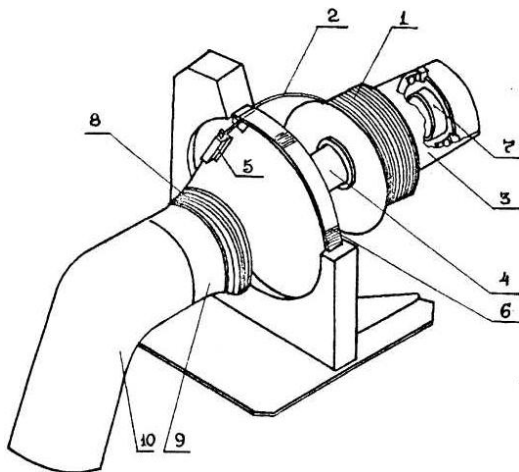


Рис. 3.2. Конструкция стана типа «Стилблок»:

1 – бунт исходной катанки; 2 – катанка; 3 – размоточный барабан; 4 – центральный тормозной вал; 5 – волокодержатель с мыльницей; 6 – зубчатое колесо; 7 – диск тормоза; 8 – проволока; 9 – намоточный барабан; 10 – приемное устройство

смонтирован на кольцевом диске – зубчатом колесе 6 с внутренним зацеплением, имеющем привод через редуктор и двигатель постоянного тока (на рис. 3.2 не показаны). Диск 7 тормоза жестко присоединен к центральному валу и поэтому вращается с той же частотой, что и волока. Детали тормоза связаны изнутри с размоточным барабаном так, что он легко может войти в зацепление с диском тормоза.

Передний конец катанки после его острения задают в волоку и образующуюся проволоку 8 наматывают несколькими витками на намоточный барабан 9, после чего витки сходят на приемное устройство 10.

Размоточный барабан 3 может вращаться с той же частотой и в том же направлении, что и волокодержатель 5, но фактическая частота вращения определяется вытяжкой за переход. Заправка предварительно заостренного конца катанки механизирована роботизированной системой с манипулятором, имеющим две степени свободы.

На стане типа "Стилблок" исключены недостатки однократных станов традиционного типа. Коэффициент использования стана может достичь 70%, производительность при скорости волочения 3,6 м/с составляет 8,104 т/ч. Стан может быть полностью автоматизирован.

3.2. Станы магазинного типа

Процесс многократного волочения с накоплением проволоки на промежуточных барабанах принципиально не отличается от однократного. Каждый барабан (блок) служит для протягивания проволоки, ее накопления и является размоточным устройством для последующего барабана (блока).

Волочильные станы магазинного типа изготавливаются в двух исполнениях – с верхним съемом и со сдвоенными барабанами.

Основное условие непрерывного волочения с накоплением – превышение вытяжки в волоке над отношением скоростей данного и предыдущего барабанов.

На рис. 3.3 показана схема стана магазинного типа с верхним съемом. На последующий барабан проволока передается через верх барабана – поводок, отклоняющий и направляющий ролики. Такой переход обеспечивает независимую друг от друга работу барабанов: на каждом промежуточном блоке процесс волочения может идти с постоянным запасом проволоки на барабане (идеальный случай), с ее расходом или с накоплением. Идеальный процесс из-за постоянного износа волок возникает редко. Поэтому в любом другом случае проволока при переходе с блока на блок подвергается скручиванию. При наполнении проволокой любого промежуточного барабана его останавливают, и часть проволоки

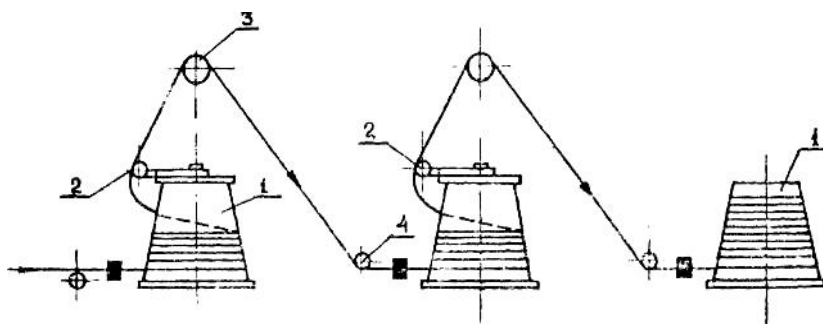


Рис. 3.3. Схема стана магазинного типа:

- 1 – барабан; 2 – поводковое устройство; 3 – верхний отклоняющий ролик;
4 – нижний направляющий ролик

сматывают на последующие барабаны. При этом поводок, делая каждый раз один оборот вокруг неподвижного барабана, скручивает проволоку на 360° .

Станы с верхним съёмом проволоки имеют общий или индивидуальный приводы. Для первого случая характерна жесткая кинематическая связь между барабанами. Некоторое изменение передаточного отношения между блоками возможно с применением вариаторов скорости. При использовании индивидуального привода с бесступенчатым регулированием скорости двигателя возможности кинематических связей резко расширяются. Преимущества станов данного типа – относительно простая конструкция привода; хорошее охлаждение проволоки на барабанах, особенно при принудительном воздушном охлаждении; достаточно гибкая кинематическая связь между блоками, исключающая частую смену волок; незначительные простои стана при обрыве проволоки и замене волок. Однако конструктивные особенности волочильных станов с верхней передачей проволоки обуславливают некоторые недостатки, которые ограничивают их применение для волочения толстой высокопрочной проволоки, высокопрочной проволоки ответственного назначения, проволоки из труднодеформируемых и малопластичных сталей и сплавов, проволоки фасонных сечений.

Многочисленные перегибы проволоки при переходе с блока на блок затрудняют заправку стана, особенно проволоки грубых, толстых размеров и высокопрочной, и ограничивают скорости волочения. Верхний съём проволоки с барабанов повышает вероятность обрывов и травмирования и требует создания дополнительных защитных устройств, что также затрудняет и удлинняет процесс заправки. При скручивании в проволоке возникают дополнительные остаточные напряжения, которые резко снижают ее технический ресурс и ухудшают условия формирования мотка. На станах этой конструкции невозможно создание регулируемого противонатяжения.

Станы такого типа применяют при волочении низко-, средне- и высокоуглеродистой проволоки из заготовки диаметром до 12 мм. В табл. 3.2 приведены основные технические данные станов магазинного типа с верхним съёмом проволоки.

Поскольку на волочильных станах со вдвоенными барабанами (станы Баркро) изменена схема передачи проволоки с блока на блок, это позволило исключить скручивание проволоки.

На каждом блоке (рис. 3.4) устроены два соосных барабана, размещенные на одном валу. Нижний барабан плотно насажен на вал и соединен с ним через шпонку, верхний имеет свободу вращения относительно вала. Проволока из волоки заправляется на приводной нижний барабан и с помощью поводкового ролика, раз-

мещенного на фрикционном кольце, переводится в обратном направлении на верхний барабан, с которого тангенциально передается через направляющие ролики на последующий блок. Поводковый ролик с фрикционным кольцом обеспечивает практически одинаковое количество проволоки на обоих барабанах независимо от того, накапливается или расходуется проволока на нижнем барабане, а также если блок остановлен.

Наличие сдвоенного барабана на последнем блоке позволяет снимать катушку без остановки стана. Привод барабанов на этих машинах индивидуальный от двигателей переменного тока, что определяет простую схему электропривода. Станы со сдвоенными барабанами сохраняют все преимущества волочильных машин с верхним съемом. Дополнительное исключение скручивания расширяет

Таблица 3.2

Технические характеристики станов магазинного типа

Параметр	АЗТМ			СКЕТ, ФПГ			
	6/650	6/350	8/250	UDZSA 5000	UDZSA 1250	UDZSA 1250	UDZSA 630
Количество переходов	6	6	8	1–6	1–10	1–10	1–12
Диаметр барабана, мм	450	350	250	700	600 (550)	500	400 (350)
Диаметр, мм: заготовки	9,0	4,5–3,4	2,0–1,4	18,0–12,0	9,0–7,0	6,5–5,3	4,5–3,5
готовой проволоки	2,8–4,0	1,4–2,0	0,5–0,8	4,0–6,0	1,6–3,0	1,4–2,0	0,9–1,2
Предел прочности заготовки, Н/мм ²	алюминий	392–882	980–1176	392–1176	392–1176	392–1176	392–1176
Максимальная сила волочения, кН	4	2	1	49	24,5	12,25	6,2
Скорость волочения, м/с	5–10	5–10	3,25–9,3	5,5	18	18	18
Кинематическая вытяжка	1,3	1,25	1,20	1,35	1,3	1,3	1,25
Мощность двигателя	9,2–10,7–13,5	9,2–10,7–13,5	3,5	40–45–50	30–40–55	22–30	13–17–18,5
Габаритные размеры, мм:	Стан			Блок			
длина	5800	10200	8,600	2050	1900	1600	1550
ширина	900	3900	3800	2600	1900	1700	1400
высота	2000	3000	2900	2300	2400	2100	1900
Масса, т	Стан			Блок			
	4,4	12,9	12,6	4,4	3,3	2,2	1,6

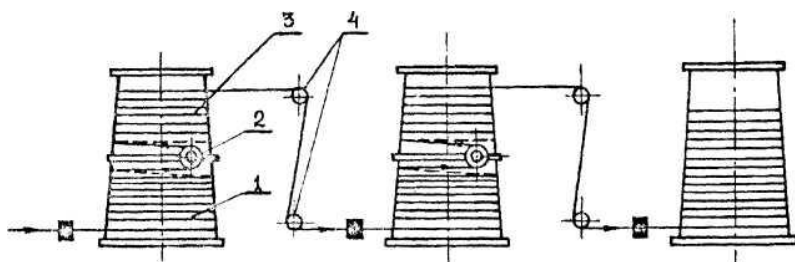


Рис. 3.4. Схема стана магазинного типа со сдвоенными барабанами:
1 – нижний барабан; 2 – поводковое устройство; 3 – верхний барабан;
4 – направляющие ролики

сортамент изготавливаемой проволоки и увеличивает показатели работоспособности.

Узким местом считается зона перехода с нижнего барабана на верхний и большое количество изгибов по направляющим роликам. Эти обстоятельства ограничивают использование станков для волочения проволоки толстых размеров. Нагрев и износ тормозной ленты лимитируют скорости волочения.

Станы со сдвоенными барабанами применяют для изготовления стальной проволоки диаметром от 0,35 до 2 мм со скоростью волочения до 20 м/с из заготовки диаметром от 1,2 до 8,0 мм.

В табл. 3.3 приведена характеристика станков магазинного типа с двойными барабанами, изготавливаемыми в различных странах.

Для непрерывности процесса многократного волочения необходимо, чтобы соблюдался закон постоянства секундных объемов металла, проходящего через волок:

$$\frac{\pi d_1^2}{4} V_1 = \dots = \frac{\pi d_{n-1}^2}{4} V_{n-1} = \frac{\pi d_n^2}{4} V_n$$

или

$$\frac{d_{n-1}^2}{d_n^2} = \frac{V_n}{V_{n-1}}; \mu = i,$$

где d_1, d_{n-1}, d_n – диаметр проволоки на данном блоке; V_1, V_{n-1}, V_n – скорость волочения на данном блоке; μ – вытяжка за проход; i – передаточное отношение между блоками.

Отношение скоростей волочения или частоту вращения на предыдущем и последующем блоках, характеризующее передаточным отношением, – величина постоянная для данной машины и служит паспортной характеристикой. Ее часто называют кинематической вытяжкой. Чем меньше передаточное отношение между блоками, тем универсальнее стан с точки зрения диапазона изменения значе-

ний частных обжатий за переход. Вытяжка между блоками – величина переменная, определяемая кинематикой стана, принятым режимом обжатий и степенью износа волок на смежных блоках.

При соблюдении условия $\mu = i$ происходит идеальный процесс многократного волочения, при котором количество проволоки на барабане остается постоянным и она не скручивается. Поводок в этом случае неподвижен при вращающемся барабане. Длительная работа в идеальном режиме невозможна из-за неизбежности износа волок.

При $\mu < i$ количество проволоки на барабане постоянно уменьшается вплоть до прекращения процесса волочения. Поводок вращается навстречу вращению барабана. Иногда с помощью вариатора скорости специально ведут процесс при условии $\mu < 1$, с тем чтобы, не останавливая блок, уменьшить количество проволоки на барабане. Постоянная работа стана в данном режиме невозможна.

Волочение на станах магазинного типа ведут при условии $\mu > i$.

Таблица 3.3

Техническая характеристика станов магазинного типа с двойными барабанами

Параметр	ВНР		ФРГ	Герборн, ФРГ			
	DHGE 7/350	DHGE 6/550	UDZAT 0320	G-25	G-16	G-6	G-4
Количество переходов	4–7	6	4–12	4–6	4–6	3,7	3–7
Диаметр барабана, мм	350	550	300	630	560	350	280
Диаметр, мм: заготовки	2–3,5	4–6,5	2–3,6	7–8	6–7	3,6–4,2	2,5–3,0
готовой проволоки	0,8–1,6	3,0	0,6–1,0	2,0–3,5	1,2–2,8	0,5–1,3	0,4–0,9
Предел прочности заготовки, Н/мм ²	1176	1176	1176	1274	1274	1274	1274
Максимальная сила волочения, кН	6,0	15,2	3,1	24,5	15,7	6,2	3,92
Скорость волочения, м/с	4–12	10	5–15	12	15	18	20
Кинематическая вытяжка	1,22	1,22	1,22	1,15–1,18	1,15–1,18	1,15–1,18	1,15–1,18
Мощность двигателя блока, кВт	17	40	5–9	74	60	22	14,7
Габаритные размеры, мм:	Стан			Блок			
длина	7,05	9,27	0,62	–	–	–	–
ширина	1,45	2,3	1,43	–	–	–	–
высота	1,88	2,02	1,68	–	–	–	–

При этом на барабане происходит постоянное накопление проволоки и вращение поводка совпадает с направлением вращения барабана. При наполнении барабана проволокой его останавливают со всеми предшествовавшими барабанами и часть проволоки сматывают на последующий барабан, после чего остановленный блок снова запускают в работу. При значениях $\mu < i$ и $\mu > i$ всегда происходит скручивание проволоки между соседними блоками и в тем большей степени, чем больше разница в этих величинах. Для обеспечения нормального течения процесса волочения при наименьшей величине скручивания на станах магазинного типа минимальное значение вытяжек

$$\mu = k i ,$$

где $k = 1,03-1,05$ – коэффициент накопления.

Следует отметить, что большое значение коэффициента накопления ведет к быстрому увеличению запаса проволоки на барабанах и частым остановкам стана, что затрудняет многостаночное обслуживание.

Переходы при волочении рассчитывают в такой последовательности:

1. После выбора размера катанки и определения количества переделов известны размеры исходной заготовки (катанки), передельных заготовок и готовой проволоки.

2. Внутри каждого передела устанавливают величину средней вытяжки за переход и количество переходов. Размеры заготовок необходимо брать всегда с учетом плюсовых допусков ($+\Delta_0$), размеры передельных заготовок или готовой проволоки с учетом минусовых допусков ($-\Delta_0$). Размеры допусков устанавливают по стандартам или технологическим картам производства. Подобный выбор поля допусков позволяет находить максимальную величину обжатия (вытяжки) внутри каждого передела:

$$\mu_{\Sigma i} = \frac{(d_{0i} + \Delta_{0i})^2}{(d_{ni} - \Delta_{ni})^2} \mu_1 \mu_2 \times \dots \times \mu_{n-1} \mu_n = \mu_{cp}^n ;$$

$$n_p = \frac{\lg \mu_{\Sigma i}}{\lg \mu_{cpi}} .$$

3. Принимают величину средней вытяжки за переход

$$\mu_{cp} = k i ,$$

где $k = 1,03-1,06$ – коэффициент накопления; i – передаточное отношение между блоками, служащее паспортной характеристикой.

Тогда количество переходов

$$n_p = \frac{\lg \mu_{\Sigma i}}{\lg(ki)}.$$

4. Полученное число округляют до ближайшего целого числа (определяют кратность волоочильного стана) и уточняют величину средней вытяжки за переход:

$$n_p \rightarrow n;$$

$$\lg \mu_{\text{cpi}} = \frac{\lg \mu_{\Sigma i}}{n}.$$

Уточненная величина средней вытяжки не должна быть меньше передаточного отношения между блоками волоочильного стана.

5. Скорректированная величина средней вытяжки за переход определяет одинаковые обжатия по всему маршруту волочения с размерами волок по ходу волочения

$$d_1 = \frac{d_0 + \Delta_0}{\sqrt{\mu_{\text{cpi}}}}; d_2 = \frac{d_i}{\sqrt{\mu_{\text{cpi}}}} \text{ и т.д.}$$

или против хода волочения

$$d_{n-1} = (d_n - \Delta_n) \sqrt{\mu_{\text{cpi}}}; d_{n-2} = d_{n-1} \sqrt{\mu_{\text{cpi}}} \text{ и т.д.}$$

6. Волочение всегда сопровождается увеличением сопротивления деформации, а тепловой фон заметно возрастает к чистовому барабану. Поэтому инструмент на последнем переходе работает в самых неблагоприятных условиях. Для улучшения качества поверхности, увеличения стойкости волок и повышения производительности обжатия на последнем переходе всегда уменьшают. Волока на первом переходе также работает в неблагоприятном режиме: из-за несовершенств в геометрии поперечного сечения заготовки, особенно исходной катанки, велика неравномерность деформации по сечению и длине протягиваемого металла; возможны локальные ухудшения условий контактного трения из-за дефектов подготовки поверхности; при использовании механических способов удаления окалины затруднен захват технологической смазки в очаг деформации свежоочищенной поверхностью. Кроме того, на первом переходе формируется смазочный слой, который должен сохраняться на протяжении всех переходов. Поэтому обжатие на первой волоке также уменьшают. Степень отклонения от средней вытяжки на первом и последнем переходах зависит от конкретных условий и определяется по практическим соображениям.

Можно принять значения вытяжек на первом и последнем переходах

$$\mu_1 = \mu_n = 0,95\mu_{cp}.$$

Тогда вытяжки на остальных промежуточных переходах составят

$$\lg \mu_{n-2} = \frac{\lg \mu_{\Sigma i} - \lg \mu_1 - \lg \mu_n}{n-2} = \frac{\lg \mu_{\Sigma i} - 2 \lg (0,95\mu_{cp})}{n-2}.$$

7. После корректировки вытяжек по переходам рассчитывают диаметры волок для данного типоразмера проволоки:

$$d_{n-1} = (d_n - \Delta_n) \sqrt{\mu_n}; \quad d_{n-2} = d_{n-1} \sqrt{\mu_{n-1}}$$

или

$$d_1 = \frac{d_0 + \Delta_0}{\sqrt{\mu_1}}; \quad d_2 = \frac{d_1}{\sqrt{\mu_2}} \text{ и т.д.}$$

Разработанные переходы волочения должны соответствовать кинематическим особенностям волочильного стана и рекомендуемым величинам частых обжатий для производства конкретного вида проволоки (см. табл. 1.2, 1.3, рис. 1.1, 1.2).

Принятый маршрут волочения проверяется на условие стабильности процесса по коэффициенту запаса и по энергосиловым параметрам.

Пример. Определить кратность и рассчитать переходы при волочении передельной заготовки диаметром $2,6 \pm 0,05$ мм из катанки диаметром $6,5 \pm 0,3$ мм под канатную проволоку на стане магазинного типа $n/550$ с передаточным отношением между блоками $i = 1,25$.

1. Определим общее количество переходов:

$$n_p = \frac{\lg \mu_{\Sigma}}{\lg(ki)} = \frac{\lg \frac{(6,3 + 0,3)^2}{(2,6 - 0,05)^2}}{\lg(1,03 \cdot 1,25)} = \frac{\lg 7,11}{\lg 1,288} = \frac{0,852}{0,1097} = 7,76.$$

Выбираем кратность оборудования $n = 8$.

2. Корректируем величину средней вытяжки за переход:

$$\lg \mu_{cp} = \frac{\lg \mu_{\Sigma}}{n} = \frac{\lg 7,11}{8} = \frac{0,852}{8} = 0,1065;$$

$$\mu_{cp} = 1,277 > i = 1,25.$$

Вычисленное расчетом значение средней вытяжки соответствует средней величине частного обжатия между переходами:

$$q_{cp} = 21,7\%.$$

3. Назначаем величину частных обжатий на первом блоке $q_1 = 20\%$ ($\mu_1 = 1,25$), на последнем $q_8 = 18\%$ ($\mu_8 = 1,22$) и вновь корректируем величину частной вытяжки на остальных блоках:

$$\lg \mu_{cp} = \frac{\lg \mu_{\Sigma} - \lg \mu_1 - \lg \mu_8}{n_k - 2} = \frac{0,852 - 0,0969 - 0,0864}{8 - 2} = 0,11;$$

$$\mu_{cp} = 1,29.$$

4. Проверяем полученное распределение обжатий по переходам:

$$\mu_{\Sigma} = 1,22 \cdot 1,29 \cdot 1,29 \cdot 1,29 \cdot 1,29 \cdot 1,29 \cdot 1,29 \cdot 1,25 = 7,11.$$

5. Рассчитываем переходы при волочении (против хода процесса):

$$d_8 = 2,55 \text{ мм}; d_7 = 2,55\sqrt{1,22} = 2,8 \text{ мм}; d_6 = 2,8\sqrt{1,29} = 3,2 \text{ мм};$$

$$d_5 = 3,2\sqrt{1,29} = 3,6 \text{ мм}; d_4 = 3,6\sqrt{1,29} = 4,1 \text{ мм};$$

$$d_3 = 4,1\sqrt{1,29} = 4,65 \text{ мм}; d_2 = 4,65\sqrt{1,29} = 5,3 \text{ мм};$$

$$d_1 = 5,3\sqrt{1,29} = 6,0 \text{ мм}; d_0 = 6,0\sqrt{1,25} = 6,8 \text{ мм}.$$

Запишем полученные переходы при волочении в виде

$$2,55 - 18\% \quad 2,8 - 22,5\% \quad 3,2 - 22,5\% \quad 4,1 - 22,5\% \quad 4,65 - 22,5\% \quad 5,3 - 22,5\% \quad 6,0 - 20\% \quad 6,8.$$

Распределение обжатий между блоками соответствует заданной кинематике волочильного стана и принятому на практике режиму деформаций при изготовлении передельной заготовки под канатную проволоку.

3.3. Станы петлевого и прямоточного типов

Станы петлевого и прямоточного типов – это машины многократного волочения, работающие с автоматическим регулированием скоростей промежуточных барабанов без накопления проволоки на промежуточных блоках.

На петлевых станах (рис. 3.5) проволока передается от барабана к барабану через подвижный и неподвижный направляющий ролики. Каждый блок имеет индивидуальный привод от двигателя

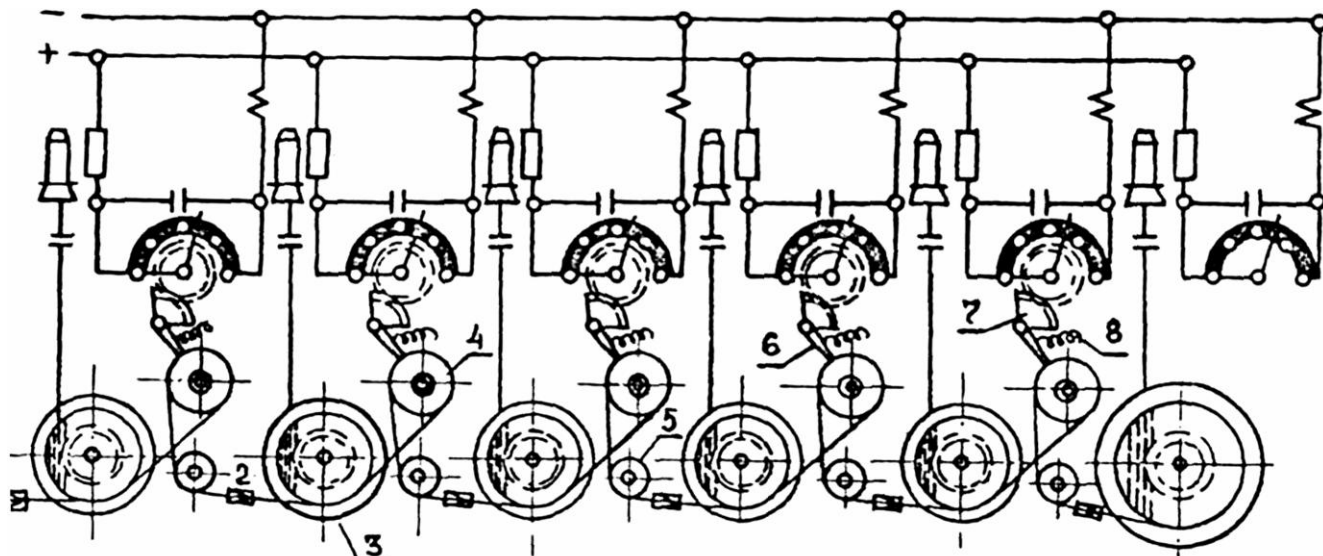


Рис. 3.5. Схема петлевого волочильного стана:

1 – проволока; 2 – волока; 3 – барабан; 4 – подвижный натяжной ролик; 5 – направляющий ролик; 6 – уравнивающий рычаг;
7 – зубчатый сектор; 8 – пружина

постоянного тока. При заправке стана на каждый барабан наматывается 8–10 витков, и это количество проволоки остается постоянным в процессе работы стана. Подвижный ролик создает регулируемое противонатяжение. При изменении диаметра проволоки на смежных блоках увеличивается или ослабляется натяжение проволоки. Подвижный ролик под действием пружины изменяет свое положение и поворачивает уравнительный рычаг. Рычаг связан с реостатом или сельсином, которые регулируют напряжение в обмотке возбуждения привода предыдущего барабана. Таким образом, в процессе работы стана частота вращения барабанов автоматически регулируется и устанавливается в соответствии с фактической вытяжкой на каждой блоке:

$$i = \mu.$$

В табл. 3.4 приведены технические характеристики станов петлевого типа.

На прямоточных волочильных станах (рис. 3.6) проволока непосредственно передается с барабана на барабан. Прямоточные станы отличаются тем, что частота вращения барабанов регулируется полностью за счет применения специальной электрической схемы привода двигателя постоянного тока и их последовательного соединения. При такой схеме нагрузка на двигатели распределяется пропорционально моменту на каждом барабане, т.е. в итоге пропорционально силе волочения. Прямоточные станы позволяют более точно и в широком диапазоне регулировать противонатяже-

Таблица 3.4

Технические характеристики станов петлевого типа

Параметр	5–6/650	3–4/550	6–7/350	6/350	8–9/250
Диаметр барабана, мм	550	550	350	350	250
Количество переходов	5–6	3–4	6–7	6	8–9
Диаметр, мм: заготовки	4–6,5	4–6,5	2–3,2	2,2–3,0	1,4–2,0
готовой проволоки	2,0	3,0	0,75–1,9	0,9–1,2	0,5–1,1
Предел прочности заготовки, Н/мм ²	392–1078	392–1078	392–1372	392–1274	980–1372
Скорость волочения, м/с	5–10	3,3–6,7	8–20	4–10	5,9–16,7
Кинематическая вытяжка	1,25	1,25	1,20	1,20	1,18
Мощность двигателя блока, кВт	29,4	29,4	19,8	8,8	4,4
Габаритные размеры блока, м:					
длина	7,45	4,88	6,07	4,7	6,32
ширина	2,18	2,18	1,49	1,62	1,12
высота	1,64	1,64	1,59	1,4	1,4
Масса стана, т	14,4	9,8	8,9	13,5	6,5

ние. При заданных переходах волочения частоты вращения барабанов устанавливаются так, что

$$i = \mu.$$

В табл. 3.5 приведены технические данные отечественных и зарубежных станов прямоточного типа.

Характерная особенность петлевых и прямоточных станов – обязательное наличие регулируемого противонатяжения в процессе работы, составляющего 10–30% силы волочения. При отсутствии противонатяжения станы работать не могут из-за проскальзывания витков проволоки по барабану.

По сравнению со станами магазинного типа петлевые и прямоточные волочильные машины характеризуются такими преимуществами: использование регулируемого противонатяжения снижает удельное давление, повышает стойкость волок, уменьшает температуру очага деформации; передача проволоки с барабана на барабан исключает ее скручивание и перегибы, что облегчает заправку стана и позволяет перерабатывать на них толстые высокопрочные сорта проволоки; допускается применение более высоких скоростей. К недостаткам станов относятся неудовлетворительные условия охлаждения из-за малого числа витков проволоки на барабане и при переходе с барабана на барабан; сложная конструкция привода; длительные простои стана при ликвидации обрывов и смене волок, большие производственные площади (до 20 м² на стан).

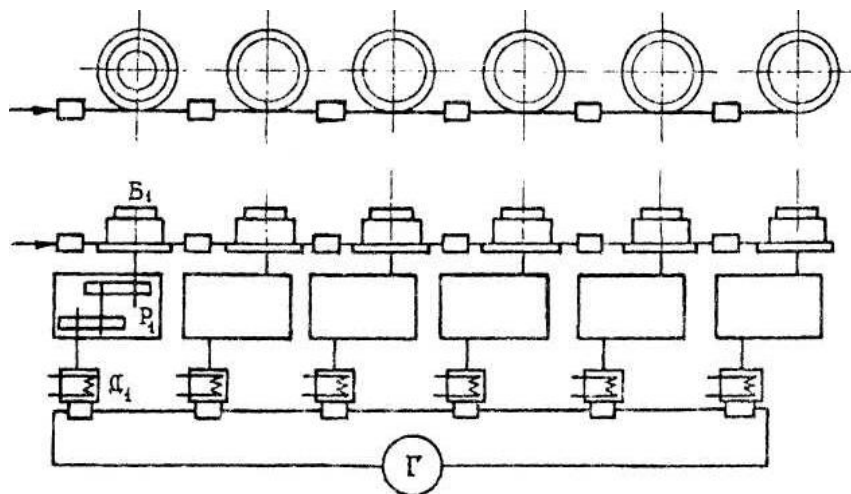


Рис. 3.6. Схема прямоточного волочильного стана:
Г – общий генератор; Д1 – двигатель; Р1 – редуктор; Б1 – барабан

Таблица 3.5

Технические характеристики волочильных станов прямоточного типа

Параметр	Венгрия		ФРГ	ВНИИМЕТМАШ		
	DHE 6/600	DHE 5/750	UDZSO 160	5/750	5–6/550	6–7/350
Диаметр барабана, мм	600	750	250	750	550	350
Количество переходов	6	5	10	5	5–6	6–7
Диаметр, мм: заготовки	4,5–7,5	5,5–12	2–3,2	13,0	7,0	2–3,2
готовой проволоки	1,6–4	2,5–6,5	0,7–1,5	4–8	2,1–4,1	0,75–1,9
Предел прочности заготовки, Н/мм ²	1176	1176	1176	980–1274	686–1372	392–1372
Кинематическая вытяжка	1,24	1,24	1,21	1,18	1,18	1,18
Скорость волочения, м/с	5,0	3,5	7,6–20	4,2	11,2	20
Мощность двигателя блока, кВт	3,2	50	Общий привод 100	55	55	20
Габаритные размеры, м:	Машина		Блок	Машины		
длина	10,1	10,35	0,6	8,2	6,7	6,0
ширина	2,3	2,8	2,5	2,2	2,2	1,5
высота	2,0	2,0	2,3	1,6	1,6	1,40

Машины прямоточного и петлевого типов применяют для волочения проволоки из низко-, средне- и высокоуглеродистых сталей диаметром от 2 до 16,0 мм со скоростью до 20 м/с.

Методика расчетов переходов для петлевых и прямоточных станов аналогична последовательности, принятой для станов магазинного типа при условии, что коэффициент накопления $k = 1$ и $\mu = i$.

Компактные машины РТК с барабанами башенного типа для прямоточного волочения проволоки диаметром 2,8–8,5 мм разработаны и изготавливаются в ФРГ фирмой "Henrich GmbH".

Они отличаются от обычных прямоточных станов тем, что содержат только 2–4 (вместо 4–10) вертикально расположенных барабана, состоящих из нескольких смонтированных друг над другом горизонтальных тяговых шкивов с уменьшающимся сверху диаметром (рис. 3.7).

На уровне каждого вытяжного шкива установлены мыльницы 1. Протягиваемая проволока наматывается на первый шкив и через обводной диск 2 достаточно большого диаметра переходит к другому шкиву и т.д. Последний шкив – чистовой. Каждый шкив вращается со все увеличивающейся скоростью и имеет охлаждающую камеру с интенсивным турбулентным подводом охлаждающей воды.

Машины такой конструкции очень компактные: двухбарабанная машина (см. рис. 3.7) пятикратного волочения при ширине 1,8 м

занимает площадь 5,4 м. Обычному пятикратному стану прямоочного типа требуется площадь 18 м².

На машине РТК 1600-5-Р можно протягивать стальную проволоку со скоростью 12 м/с по маршруту 7,0–3,0 мм с единичными обжатиями, допускаемыми окружными скоростями шкивов, 28%. Сила волочения на каждом шкиве – до 16 кН при мощности привода каждого шкива от регулируемого двигателя 60 кВт.

Алгоритм расчета переходов на станах петлевого и прямоочного типов следующий:

1. Рассчитывается общая вытяжка за предел:

$$\mu_{\Sigma i} = \frac{(d_0 + \Delta_0)^2}{(d_n - \Delta_n)^2} \mu_1 \mu_2 \times \dots \times \mu_n = \mu_{cp}^m.$$

2. За величину средней вытяжки по переходам принимается значение передаточного отношения между блоками, служащее паспортной характеристикой:

$$\mu_{cp} = i.$$

3. Определяется расчетное количество переходов:

$$n_p = \frac{\lg \mu_{\Sigma i}}{\lg i}.$$

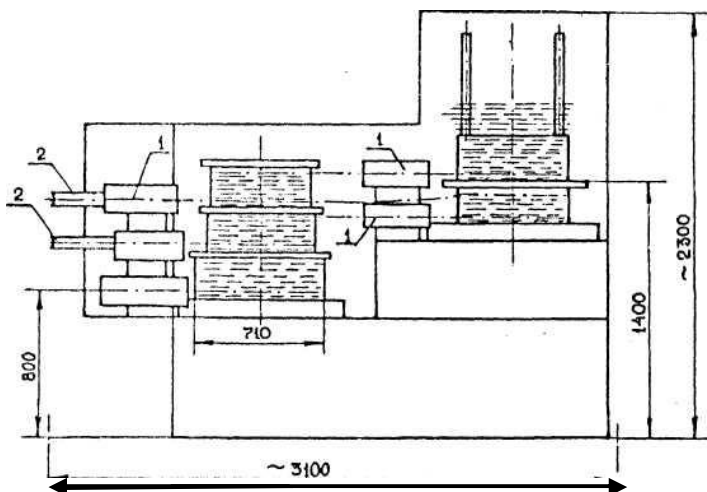


Рис. 3.7. Схема машины с барабанами башенного типа РТК 1600-5-Р:

1 – мыльница с волокодержателем; 2 – обводные диски

4. Полученное число округляется до ближайшего целого:

$$n_p \rightarrow n.$$

5. По условию работы станов на промежуточных блоках всегда должен выполняться закон постоянства секундных объемов:

$$\mu_{n-2} = i,$$

т.е. распределение вытяжек по блокам должно удовлетворять условию

$$\lg \mu_{\Sigma i} = (n-2) \lg \mu_{n-2} + 2 \lg \mu_{1,n} = (n-2) \lg i + 2 \lg \mu_{1,n}.$$

6. Уточняются величины вытяжек на первом и последнем блоках:

$$\lg \mu_{1,n} = \frac{\lg \mu_{\Sigma i} - (n-2) \lg i}{2}.$$

7. Рассчитываются диаметры волок по переходам:

$$d_{n-1} = (d_n - \Delta_n) \sqrt{\mu_n}; \quad d_{n-2} = d_{n-1} \sqrt{\mu_{n-1}}.$$

Пример. Определить кратность и рассчитать переходы при волочении передельной заготовки диаметром 3,3 мм из катанки диаметром 5,5 мм под пружинную проволоку диаметром 0,40 мм на стане прямомоточного типа $n/550$.

1. Вычисляем расчетное количество переходов:

$$n_p = \frac{\lg \frac{(5,5 + 0,1)^2}{(3,3 + 0,05)^2}}{\lg 1,25} = \frac{0,47261}{0,09691} = 4,877.$$

2. Определяем кратность волочильного стана:

$$n_p \rightarrow n; \quad n = 5.$$

3. Рассчитываем вытяжки на первом и последнем блоках:

$$\lg \mu_{1,n} = \frac{\lg \mu_{\Sigma i} - (n-2) \lg i}{2} = \frac{0,47261 - 0,291}{2} = 0,09081.$$

$$\mu_{1,n} = 1,2326.$$

4. Проводим проверку:

$$\mu_{\Sigma i} \approx 2326 \cdot 1,25 \cdot 1,25 \cdot 1,2326 = 2,97.$$

5. Рассчитываем переходы при волочении (против хода процесса):

$$\begin{aligned}d_5 &= (d_6 - \Delta_6) = 3,25 \text{ мм}; \quad d_4 = 3,25 \cdot 1,2326 = 3,61; \\d_3 &= 3,61 \cdot 1,25 = 4,036; \quad d_2 = 4,036 \cdot 1,25 = 4,51; \\d_1 &= 4,51 \cdot 1,25 = 5,04; \quad d_0 = 5,04 \cdot 1,2426 = 5,6 \text{ мм}.\end{aligned}$$

Запишем полученные переходы:

$$5,6 - 5,05 - 4,5 - 4,05 - 3,6 - 3,25.$$

Распределение обжатий между блоками соответствует заданной кинематике волочильного стана и рекомендуемым деформациям при изготовлении передельной заготовки под пружинную проволоку.

3.4. Станы многократного волочения со скольжением

Эти станы типа $n/200-250$ для волочения проволоки тончайших и наитончайших размеров и станы $n/250-350$ для волочения тонкой проволоки (n – количество протяжек, знаменатель – диаметр чистового барабана (шайбы), мм).

Принципиальная схема волочильного стана со скольжением изображена на рис. 3.8. Волочильные барабаны такого стана состоят из ряда дисков разного диаметра, расположенных на одном валу. Перед каждым диском (тяговой шайбой) установлены волоки. Для изменения направления движения проволоки и перевода ее от одной тяговой шайбы к другой предназначены холостые (обводные) шайбы, имеющие одинаковый с рабочими шайбами диаметр. Волокодержатели с волоками, тяговые и обводные шайбы и протягиваемая проволока размещены в ванне с жидкой технологической смазкой. Смазка уменьшает трение в волоках, между проволокой и вытяжными (обводными) шайбами и одновременно служит охлаждающим реагентом для проволоки, инструмента и барабанов.

Возможны варианты изготовления волочильных станов со скольжением без обводных шайб, а также с рабочими шайбами одинакового диаметра, вращающимися с разными скоростями за счет изменения передачи. Таким образом, разница скоростей тяговых шайб обеспечивается за счет изменения диаметра шайбы или ее угловой скорости. Значение передаточного отношения между вытяжными шайбами постоянное и является паспортной характеристикой машины.

Многократные волочильные станы со скольжением применяются для волочения проволоки из низко- и высокоуглеродистых сталей диаметром от 0,02 до 4,0 мм из заготовки диаметром 0,05–8,0 мм со скоростью до 40 м/с. В табл. 3.6 приведены основные технические характеристики волочильных станов со скольжением.

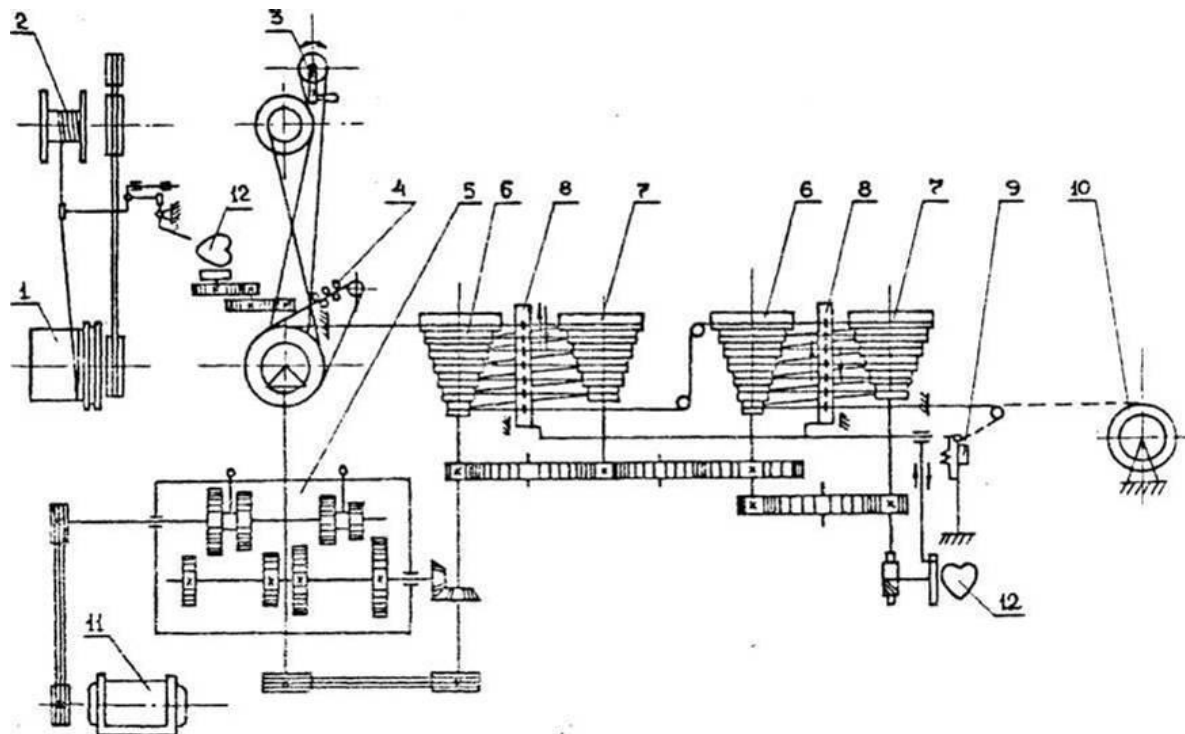


Рис. 3.8. Схема многократного волочильного стана со скольжением:

- 1 – чистовой барабан; 2 – шпуля для намотки проволоки; 3 – натяжной ролик привода шпули; 4 – рихтовальное устройство;
 5 – коробка скоростей; 6 – вытяжные шайбы; 7 – обводные шайбы; 8 – волокодержатель; 9 – концевой выключатель;
 10 – фигурка (катушка с заготовкой); 11 – двигатель; 12 – кардиодный кулачок

Таблица 3.6

Технические характеристики волочильных станов со скольжением

Параметр	ФРГ			АЗТМ		
	UDZWG 40/22	UDZWG 160/15	UDZWG 160/22	ВСКТ 10/350	ВСК 15/300	ВСК 13/250
Диаметр, мм: заготовки	0,6–1,5	1–2,5	2–3	2,2–3	1,5	2,0
готовой проволоки	0,15–0,2	0,3–0,8	0,3–0,5	0,9–1,4	0,35–0,4	0,5–0,6
Кратность волочения	22	15	22	10	15	13
Кинематическая вытяжка	1,21	1,21	1,21	1,2	1,22	1,22
Максимальная сила волочения, Н	392	1568	1568	–	–	–
Скорость волочения, м/с	3,5–40	9–35	9–35	5–13,3	5,8–25	16,6–25
Мощность двигателя, кВт	10; 17	55	40; 55	95	32	55
Габаритные размеры, м:						
длина	3,5	3,2	4,2	10,9	–	–
ширина	1,5	1,9	1,9	2,1	–	–
высота	1,2	1,3	1,3	3,3	–	–
Масса машины с электрооборудованием	2,0	3,3	4,0	13,9	6,14	6,3

Особенность процесса волочения на машинах этого типа – неравенство окружных скоростей вытяжных шайб и проволоки, навитой на эти шайбы. В результате этого тяговые шайбы постоянно проскальзывают по виткам проволоки.

При отсутствии скольжения нарушается основное условие работы непрерывных станов – закон постоянства секундных объемов.

При заправке стана проволоку протягивают через первую волоку, наматывают 1–3 витка на первую тяговую шайбу, через обводную шайбу заправляют во вторую волоку и т.д. После заправки всего стана проволоку наматывают на чистовой барабан или приемную катушку. На каждую волоку (кроме первой по ходу волочения) действуют силы: со стороны выхода – сила волочения P_n , со стороны входа – сила противонапряжения Q_{n-1} , которая необходима для осуществления процесса волочения в предыдущей волоке. Если к концу проволоки, сходящему с вытяжной шайбы, приложить силу $Q_n \geq (P_n + Q_{n-1}) / e^{2\pi mf}$ (f – коэффициент трения проволоки по поверхности шайбы; m – количество витков проволоки на шайбе), то начнется волочение на n -й шайбе. По мере натяжения проволоки возникает сила Q_{n-1} , которая обеспечивает процесс волочения на $(n-1)$ -й шайбе и т.д. до включения в работу всех шайб, после чего начинается установившийся процесс волочения. Если $Q_n < (P_n + Q_{n-1}) / e^{2\pi mf}$, то сил трения, действующих по шайбе, не-

достаточно для процесса волочения. Следовательно, сила волочения на станах со скольжением создаётся внешней растягивающей силой и силой трения между проволокой и поверхностью шайбы. Поэтому при отсутствии скольжения проволоки по шайбе, когда трение исчезает, процесс волочения становится невозможным.

Таким образом, чтобы осуществлялся устойчивый процесс многократного волочения со скольжением, необходимо выполнение правила:

Окружная скорость каждой промежуточной тяговой шайбы V_n^{III} должна быть всегда несколько больше скорости движения проволоки V_n^{II} по этой шайбе:

$$V_n^{\text{III}} > V_n^{\text{II}} \text{ или } \frac{V_n^{\text{II}}}{V_n^{\text{III}}} < 1.$$

Отметим, что скорость движения проволоки на чистовом барабане V_k^{II} всегда совпадает с окружной скоростью V_k^{III} чистового барабана:

$$V_k^{\text{III}} = V_k^{\text{II}}.$$

Обозначим относительную величину скольжения проволоки по n -й шайбе с учетом

$$E = \frac{V_n^{\text{III}} - V_n^{\text{II}}}{V_n^{\text{II}}} > 0.$$

Из условия постоянства секундных объёмов

$$F_{n-1} V_{n-1}^{\text{II}} = F_n V_n^{\text{II}} = \dots = F_k V_k^{\text{II}}$$

следует, что

$$V_n^{\text{II}} = \frac{F_k V_k^{\text{II}}}{F_n} = \frac{F_k V_k^{\text{III}}}{F_n}.$$

Это подтверждает, что при установившемся процессе скорость проволоки на любой промежуточной шайбе зависит только от конечных размеров проволоки, скорости волочения и размеров сечения проволоки на данной волоке и не зависит от частоты вращения промежуточных шайб.

$$E_n = \frac{V_n^{\text{III}} - V_n^{\text{II}}}{V_n^{\text{III}}} \left(1 - \frac{V_n^{\text{II}}}{V_n^{\text{III}}} \right) \left(1 - \frac{F_k V_k^{\text{III}}}{F_n V_n^{\text{III}}} \right) \left(1 - \frac{\prod_k^n i}{\prod_k^n \mu} \right) > 0,$$

где $\prod_k^n i$ – общее передаточное отношение от чистового барабана

до n -й волоки; $\prod_k^n \mu$ – общая вытяжка на этом промежутке.

Отсюда следует, что

$$\prod_k^n \mu > \prod_k^n i \text{ или } \mu > i.$$

Из уравнений следует два вывода:

1. Для обеспечения нормального течения процесса ($V_n^{\text{II}}/V_n^{\text{III}} < 1$)

на станах со скольжением вытяжка в каждой волоке должна быть больше передаточного отношения между смежными шайбами.

2. С увеличением вытяжки при данном количестве переходов скольжение на всех тяговых шайбах повышается.

Машины многократного волочения со скольжением обычно имеют передаточное отношение между шайбами порядка 1,15–1,35.

Для уменьшения износа последней чистовой волоки ограничивают величину передаточного отношения:

$$i = 1,05 - 1,15.$$

При расчете переходов волочения на станах со скольжением необходимо учитывать следующие особенности.

1. В процессе волочения происходит неизбежный износ волок. Обычно каждую новую волоку подбирают с минимально допустимыми размерами и эксплуатируют до достижения максимально возможных размеров. Поскольку скорость намотки на чистовой барабан или приемную катушку постоянна ($V_k^{\text{III}} = \text{const}$), увеличение размеров поперечного сечения проволоки, например на отделочной волоке F_k , вызывает повышение секундного объема металла, проходящего через эту волоку. В соответствии с уравнением при установке новых волок скольжение всегда повышено и снижается по мере износа волок. Поскольку площадь поперечного сечения

проволоки может изменяться в пределах допусков на готовый размер, а это составляет для тонких диаметров проволоки до 12%, изменение скольжения может быть значительным.

2. Вытяжка μ_0 в течение всего процесса волочения должна быть всегда больше отношения скоростей смежных шайб i_n . С учетом износа волок вытяжка на промежуточных шайбах должна удовлетворять условию

$$\mu_n \geq (1 + \beta_n) i_n \geq c_n i_n,$$

где β_n – коэффициент, учитывающий возможные изменения вытяжки за счет неравномерного износа $(n-1)$ -й и n -й волок; $c_n = (1 + \beta_n)$.

Коэффициент β_n принимают равным 0,02–0,08. Необходимо иметь в виду, что числовое увеличение коэффициента β_n ведет к повышению величины скольжения по всему маршруту. Значение коэффициента β_n может быть искусственно увеличено, например, при необходимости протянуть проволоку в меньшее количество переходов. В этом случае назначают вытяжки μ_n , намного превышающие величину паспортных характеристик i_n , и тогда волочение идет с повышенным скольжением. В этом смысле многократное волочение позволяет протягивать проволоку с вытяжками, значительно превышающими передаточное отношение, и, чем меньше величина паспортной характеристики i_n , тем универсальнее волочильная машина.

3. На основании закона постоянства секундных объемов и условия многократного волочения со скольжением можно записать:

$$V_n^n \frac{V_k^n}{\mu_n \mu_{n+1} \times \dots \times \mu_k}; \quad V_n^{\text{III}} = \frac{V_k^n}{i_n i_{n+1} \times \dots i_k};$$

$$\frac{V}{V} = \frac{V_k^{\text{III}}}{V_k^n} \frac{\mu_n}{i_n} \frac{\mu_{n+1}}{i_{n+1}} \times \dots \times \frac{\mu_k}{i_k}.$$

Поскольку волочение со скольжением происходит при условии

$$\frac{\mu_n}{i_n} > 1; \quad \frac{\mu_{n+1}}{i_{n+1}} > 1 \text{ и т.д.,}$$

$$\frac{V_{n+1}^{\text{II}}}{V_n^{\text{II}}} : \frac{V_{n+1}^{\text{III}}}{V_n^{\text{III}}} > 1,$$

откуда следует, что

$$\frac{V_n^{\text{III}} - V_n^{\text{II}}}{V_n^{\text{III}}} > \frac{V_{n+1}^{\text{III}} - V_{n+1}^{\text{II}}}{V_{n+1}^{\text{III}}} \text{ или } E_n > E_{n+1}.$$

Следовательно, скольжение на предыдущей тяговой шайбе всегда выше, чем на последующей по ходу волочения. Скольжение минимально на последних шайбах и возрастает по мере приближения к входной волоке. Из уравнений следует, что чем больше отношение μ_n / i_n , тем больше величина относительного скольжения, и чем меньше i при данном маршруте волочения, тем больше величина скольжения.

Скольжение при мокром волочении вызывает такие вредные явления:

1. Дополнительные потери энергии на трение и нагрев эмульсии.
2. Появление на поверхности проволоки продольных рисок, особенно если металл обладает невысокой прочностью или является мягким лакирующим покрытием.
3. Быстрый износ поверхности шайб с образованием на их поверхности глубоких врезов. Особенно это заметно при волочении высокопрочной проволоки типа пружинной или под металлокорд.

Расчет переходов при многократном волочении со скольжением проводят в такой последовательности:

1. По паспортным данным или непосредственными измерениями определяют скорость волочения на чистовом барабане или намотки проволоки на приемную катушку V_k^{II} , скорости промежуточных тяговых шайб V_n^{III} и передаточные отношения между соседними шайбами.

$$i = \frac{V_{n+1}^{\text{III}}}{V_n^{\text{III}}}.$$

2. По заданным требованиям к готовой проволоке ($d_k \pm \Delta_k$) определяют максимальную и минимальную площади поперечного сечения на готовом размере.

3. Зная значение отношения скоростей соседних шайб, назначают частные вытяжки по переходам, задаваясь величиной

$$\mu_{\bar{n}} = c_n i_n (1 + \beta_n) i_n.$$

Эти частные вытяжки ориентировочные и могут потом корректироваться.

4. Согласно значениям частных вытяжек по переходам определяют площади поперечных сечений и диаметры проволоки на промежуточных волоках.

5. По известным значениям размеров готовой проволоки и заготовки проверяют возможность получения заданных свойств на готовом размере.

6. Устанавливают максимально допустимые диаметры промежуточных волок, исходя из того, что в каждой волоке максимальной вытяжка может быть в том случае, если предыдущая выработалась до максимального диаметра, а последующая имеет минимально допустимый размер.

Если размер предыдущей волоки по условиям износа стал максимальным, то это значит, что на предыдущей шайбе установилось равенство $\mu_{n-1} = i_{n-1}$. Тогда максимально возможный размер проволоки, входящий в $\eta - 1$ -ю волоку:

$$F_{n-1}^{\max} = F_n \mu_{n-1} = \frac{F_{n-1}}{i_{n-1}} \mu_{n-1} = F_{n-1} c_{n-1}.$$

Максимальная вытяжка в последующем n -переходе составит

$$\mu_n^{\max} = \frac{F_{n-1}^{\max}}{F_n} = \frac{F_{n-1} c_{n-1}}{F_n} \mu_n c_{n-1}.$$

Отсюда максимально допустимый диаметр проволоки $d_n^{\max}$ на любом переходе на стане со скольжением

$$F_{n-1}^{\max} = \mu_n^{\max} F_n \quad \mu_n c_{n-1} F_n ;$$

$$\left(d_{n-1}^{\max}\right)^2 = \mu_n c_{n-1} d_n^2.$$

По аналогии можно записать

$$\left(d_n^{\max}\right)^2 = \mu_{n+1} c_n d_{n-1}^2 = d_n^2 c_n ;$$

$$d_n^{\max} = d_n \sqrt{c_n}.$$

Пример. Спроектировать переходы на стане со скольжением для изготовления канатной проволоки диаметром $0,30^{+0,02}_{-0,01}$ мм с маркировочным пределом прочности 1800 Н/мм^2 (180 кгс/мм^2). Скорость волочения 900 м/мин при работе на моток, т.е. скольжение на чистовом барабане отсутствует. Последовательность и результаты расчета приведены в табл. 3.7. Из расчета следует, что для получения заданных свойств на готовом размере следует выбрать патентованную заготовку диаметром $1 \pm 0,05 \text{ мм}$ с содержанием углерода $0,41\text{--}0,45\%$.

Рассмотрим упрощенный вариант расчета переходов на станах со скольжением по следующему алгоритму:

1. За величину средней вытяжки по переходам принимают

Таблица 3.7

Расчет переходов при волочении канатной проволоки диаметром 0,30 мм

№	Показатель	Направ- ление счета	Номера волок и тяговых шайб													
			Заго- товка	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	V_n^{III} , м/с	←		2,93	3,37	3,88	4,46	5,13	5,9	6,78	7,8	8,97	10,13	11,86	13,64	15
2	$i = V_n^{\text{III}} / V_{n-1}^{\text{III}}$	Паспорт		1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,10
3	$C_n = 1 + \beta_n = \mu_n / i_n$	↔		1,08	1,07	1,07	1,07	1,06	1,06	1,06	1,06	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
4	$\mu_n = c_n i_n$	↔		1,24	1,23	1,23	1,23	1,23	1,22	1,22	1,22	1,21	1,21	1,21	1,21	1,16
5	$\mu_{\Sigma} = \mu_1 \mu_2 \times \dots \times \mu_k$	→	1	1,24	1,53	1,88	2,31	2,82	3,43	4,19	5,11	6,19	7,48	9,06	10,96	12,71
6	$\delta_{\Sigma} = \mu_{\Sigma n} - 1 / \mu_{\Sigma n}$	→	0	0,19	0,35	0,47	0,57	0,65	0,70	0,76	0,80	0,84	0,87	0,89	0,91	0,92
7	$F_k = \pi d_k^2 / 4;$ $F_{n-1} = F_n \mu_n$, мм ²	←	0,84	0,68	0,55	0,45	0,36	0,3	0,24	0,2	0,16	0,14	0,11	0,093	0,077	0,066
8	$d_{n-1} = d_n \sqrt{\mu_n}$, мм	←	1,05	0,91	0,82	0,74	0,67	0,61	0,55	0,5	0,45	0,41	0,37	0,344	0,31	0,29
9	$d_n^{\text{max}} = d_n \sqrt{c_n}$, мм	↔		0,95	0,85	0,76	0,69	0,63	0,57	0,51	0,46	0,42	0,38	0,35	0,32	0,30
10	$V_n^{\text{II}} = V_k^{\text{II}} / \mu_n$, м/с	←	1,18	1,46	1,8	2,21	2,72	3,3	4,05	4,95	6,03	7,3	8,83	10,7	12,9	15
11	$V_n^{\text{III}} - V_n^{\text{II}}$, м/с	↔		1,47	1,57	1,67	1,74	1,83	1,83	1,83	1,77	1,67	1,48	1,16	0,74	0
12	$\frac{V_n^{\text{III}} - V_n^{\text{II}}}{V_n^{\text{III}}} \cdot 100$, %	↔		50,2	46,6	43,0	39,0	35,7	31,4	27,0	22,7	18,6	14,4	9,8	5,4	0

$$\mu_{\Sigma} = i(1 + \beta) \cdot$$

2. Определяют расчетное количество переходов:

$$n_p = \frac{\lg \mu_{\Sigma i}}{\lg \mu_{cp}} = \frac{\lg \mu_{\Sigma i}}{\lg [i(1 + \beta)]}.$$

3. Полученное число округляют до ближайшего целого: $n_p \rightarrow n$.

4. Уточняют величины вытяжек на первой и последней шайбах:

$$\lg \mu_{1,n} = \frac{\lg \mu_{\Sigma i} - (n - 2) \lg [i(1 + \beta)]}{2}.$$

5. Выполняют проверку:

$$\mu_{\Sigma i} = \mu_{1,n}^2 \mu_{n-2}^{n-2}.$$

6. Рассчитывают переходы при волочении против хода процесса:

$$d_n = d_k - \Delta_k; \quad d_{n-1} = (d_k - \Delta_k) \sqrt{\mu_n} \text{ и т.д.}$$

Пример. Определить кратность и рассчитать переходы при волочении готовой оцинкованной канатной проволоки диаметром 0,3 мм из заготовки диаметром 1,2 мм на стане со скольжением типа $n/2000$.

1. Из паспортных данных выбираем стан со скольжением $i = 1,18$ и назначаем значение коэффициента скольжения $\beta = 0,03$.

2. Определяем расчетное количество переходов:

$$n_p = \frac{\lg \frac{(1,20 + 0,05)^2}{(0,30 - 0,01)^2}}{\lg 1,18(1 + 0,03)} = \frac{1,2690}{0,08472} = 14,98.$$

3. Устанавливаем кратность волочения: $n_p \rightarrow n; n = 15$.

4. Уточняем величины вытяжек на первой и последней шайбах:

$$\lg \mu_{1,15} = \frac{\lg \mu_{\Sigma} - (n - 2) \lg [1,18 \cdot 1,03]}{2} = \frac{1,2690 - 1,10136}{2} = 0,0838;$$

$$\mu_{1,15} = 1,21.$$

5. Проверяем распределение вытяжек:

$$\mu_{\Sigma} = 1,21^{12} \cdot 1,215^{13} = 18,6.$$

6. Рассчитываем переходы при волочении против хода процесса:

$$\begin{aligned}
d_{15} &= d_k - \Delta_k = 0,29 \text{ мм}; d_{14} = 0,29\sqrt{1,21} = 0,319; \\
d_{13} &= 0,319\sqrt{1,215} = 0,352; d_{12} = 0,352\sqrt{1,215} = 0,3876; \\
d_{11} &= 0,3876\sqrt{1,215} = 0,4273; d_{10} = 0,4273\sqrt{1,215} = 0,471; \\
d_9 &= 0,471\sqrt{1,215} = 0,519; d_8 = 0,519\sqrt{1,215} = 0,572; \\
d_7 &= 0,572\sqrt{1,215} = 0,631; d_6 = 0,631\sqrt{1,215} = 0,695; \\
d_5 &= 0,695\sqrt{1,215} = 0,766; d_4 = 0,766\sqrt{1,215} = 0,845; \\
d_3 &= 0,845\sqrt{1,215} = 0,931; d_2 = 0,931\sqrt{1,215} = 1,027; \\
d_1 &= 1,027\sqrt{1,215} = 1,13; d_0 = 1,13\sqrt{1,21} = 1,25.
\end{aligned}$$

Запишем рассчитанный маршрут волочения:

0,29–0,32–0,35–0,39–0,43–0,47–0,52–0,57–0,63–0,70–0,77–0,85–
0,93–1,03–1,15–1,25

В табл. 3.8 приведены переходы при волочении на станах разных типов, значения которых могут быть повторены при самостоятельных упражнениях.

Таблица 3.8

Маршруты волочения на станах со скольжением

Готовая проволока		Заготовка		Маршруты волочения	Рекомендуемое оборудование
Диаметр, мм	ГОСТ, группа прочности Н/мм ² (кгс/мм ²)	Диаметр, мм	Содержание углерода, %		
0,6	ГОСТ 9389–75, 1 кл., 2650–3000 (265–300)	2,20	0,83–0,87	2,20–1,92–1,68–1,47–1,29–1,13–0,99–0,87–0,77–0,68–0,60	320/10
	ГОСТ 7372–79, 1800(180)	2,0	0,51–0,55	2,0–1,75–1,53–1,34–1,17–1,02–0,89–0,78–0,685–0,6	
0,5	ГОСТ 9389–75, 2 кл., 2200–2650 (220–265)	1,6	0,76–0,8	1,6–1,5–1,4–1,3–1,2–1,1–1,0–0,9–0,81–0,73–0,66–0,61–0,55–0,5	15/250
	ГОСТ 7372–79, 1600(160)	1,6	0,41–0,45	1,5–1,41–1,25–1,11–0,99–0,89–0,79–0,7–0,62–0,55–0,5	10/200
0,4	ГОСТ 9389–75, 2 кл., 2200–2650 (220–265)	1,6	0,66–0,7	1,6–1,44–1,30–1,20–1,10–1,0–0,9–0,81–0,73–0,66–0,6–0,55–0,5–0,45–0,40	15/250
	ГОСТ 7372–79, 1800(180)			1,40–1,25–1,1–0,97–0,85–0,75–0,6–0,58–0,51–0,46–0,4	10/200
0,36	ГОСТ 9389–75, 1 кл., 2700–3050 (270–305)	1,5	0,82–0,87	1,5–1,36–1,23–1,11–1,0–0,9–0,81–0,73–0,66–0,6–0,54–0,49–0,44–0,40–0,36	15/200
	ГОСТ 7372–79, 1600(160)	1,2	0,41–0,45	1,2–1,07–0,96–0,85–0,76–0,68–0,6–0,53–0,465–0,41–0,36	10/200

Готовая проволока		Заготовка		Маршруты волочения	Рекомендуемое оборудование
Диаметр, мм	ГОСТ, группа прочности Н/мм ² (кгс/мм ²)	Диаметр, мм	Содержание углерода, %		
0,3	ГОСТ 9389-75, 1 кл., 2750-3100 (275)	1,35	0,85-0,91	1,35-1,25-1,13-1,02-0,92-0,83-0,75-0,675-0,61-0,55-0,50-0,45-0,405-0,30-0,32-0,30	15/200
	ГОСТ 7372-79, 1700(170)	1,2	0,41-0,45	1,2-1,1-1,01-0,92-0,83-0,75-0,68-0,61-0,55-0,495-0,445-0,4-0,36-0,325-0,30	15/200
0,25	ГОСТ 9389-75, 1 кл., 2750-3100	1,20	0,82-0,88	1,2-1,1-1,01-0,92-0,83-0,75-0,68-0,61-0,55-0,495-0,445-0,4-0,36-0,325-0,295-0,265-0,25	22/200
	ГОСТ 7372-79, 1800(180)	1,1	0,36-0,40	1,1-0,91-0,83-0,74-0,66-0,6-0,53-0,475-0,425-0,36-0,34-0,305-0,27-0,25	15/200

4. МЕТОДИКА РАСЧЕТА СИЛОВЫХ УСЛОВИЙ ПРИ ВОЛОЧЕНИИ ПРОВОЛОКИ

Напряжение и сила волочения – один из основных характеристик процесса деформации при изготовлении проволоки. Знание этих величин необходимо при проектировании и разработке технологического процесса. Силовые условия процесса волочения определяют стабильность пластического формоизменения и производительность волочильного стана, расход энергии и требуемую мощность оборудования, служат основными факторами при расчете конструктивных параметров основного и вспомогательного оборудования.

Теоретическое определение напряжения и силы волочения возможно только при некоторых допущениях, которые хотя и упрощают реальный процесс, приближая его к идеальной схеме, но позволяют с достаточной для практических целей точностью устанавливать энергосиловые условия процесса. Это следующие основные допущения:

1. Деформация проволоки начинается в геометрической плоскости входа металла в очаг деформации и заканчивается в геометрической плоскости выхода. Не учитывается влияние зон внеконтантной деформации.

2. Скорость деформации в данном сечении проволоки одинакова и изменяется только в направлении волочения. Используется гипотеза плоских сечений: сечения, плоские до деформации, остаются плоскими и в процессе деформации. Однако опыты с коор-

динатной сеткой показывают значительный изгиб вертикальных линий и неприменимость гипотезы плоских сечений.

Рассмотрим волочение сплошного профиля круглого сечения через волоку с конической формой рабочей зоны при указанных допущениях.

Составим дифференциальное уравнение равновесия элементарного объема металла, выделенного в очаге деформации на расстоянии x от плоскости выхода (рис. 4.1):

$$-\sigma_x F_x + (\sigma_x + d\sigma_x)(F_x + dF_x) + p_x \sin \alpha dF_k + t_x \cos \alpha dF_k = 0, \quad (4.1)$$

где σ_x – долевые растягивающие напряжения; p_x, t_x – удельная сила и напряжение контактного трения; F_x – площадь поперечного сечения полосы на расстоянии x от плоскости выхода; dF_k – площадь контакта элементарного объема с волокой; α – полуугол волоки.

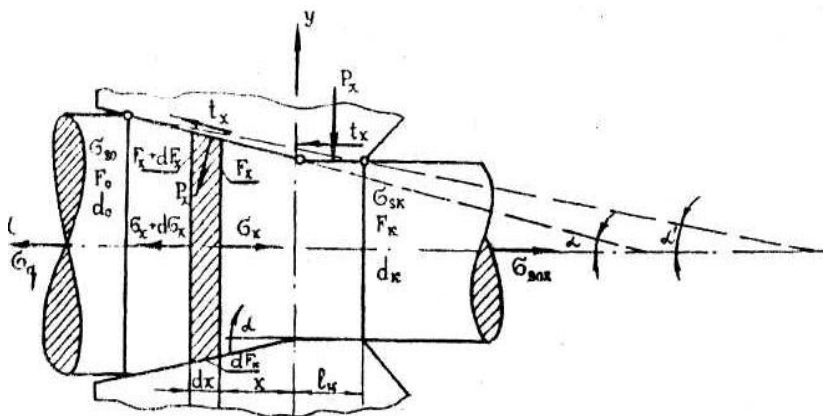


Рис. 4.1. Схема сил, действующих в очаге деформации при волочении

Примем закон контактного трения в виде закона Амонтона–Кулона

$$t_x = f p_x. \quad (4.2)$$

Тогда уравнение (4.1) запишем в виде

$$\frac{d\sigma_x}{d\mu_x} + \frac{\sigma_x}{F_x} + \frac{p_x}{F_x} (1 + f \operatorname{ctg} \alpha) = 0. \quad (4.3)$$

Уравнение (4.3) удобно решать в функции текущего значения вытяжки $\mu_x = F_0/F_x$:

$$\frac{d\sigma_x}{d\mu_x} - \frac{\sigma_x}{\mu_x} - \frac{p_x}{\mu_x}(1 + f \operatorname{ctg} \alpha) = 0. \quad (4.4)$$

Приближенное условие пластичности для разноименной схемы напряженного состояния при волочении имеет вид

$$\sigma_1 - (-\sigma_3) = \sigma_{sx}; \quad \sigma_1 + \sigma_3 = \sigma_{sx}, \quad (4.5)$$

где $\sigma_1 = \sigma_x$ – долевое растягивающее напряжение;

$\sigma_3 = \sigma_3 = p_x \cos \alpha + t \sin \alpha = p_x (\cos \alpha + f \sin \alpha)$ – вертикальная составляющая удельной силы и напряжения трения.

Для полууглов волокна $\alpha = 4-6^\circ$, значение $\cos \alpha$ близко к единице, а произведение $t_x \sin \alpha$ при $f = 0,03-0,06$ является бесконечно малой величиной второго порядка. Поэтому примем, что

$$\sigma_2 = \sigma_3 = p_x. \quad (4.6)$$

При принятых допущениях условие пластичности будет

$$\sigma_x + p_x = \sigma_{sx}, \quad (4.7)$$

где $\sigma_x = \sigma_{so} + m(\mu_x - 1)$ – текущее значение предела текучести (по Г.Э. Аркулису); m – модуль упрочнения,

$$m = \frac{\sigma_{sk} - \sigma_{so}}{\mu - 1}; \quad (4.8)$$

σ_{so}, σ_{sk} – соответственно начальное и конечное значение пределов текучести материала при конечной вытяжке μ за проход.

Решение уравнения (4.4) с учетом (4.7) при граничных условиях $\mu_x = 1, \sigma_x = \sigma_q$ (σ_q – напряжение противонатяжения) устанавливает распределение долевого растягивающего напряжения по длине очага деформации:

$$\sigma_x = \sigma_{sx} - \frac{(m - \sigma_{so})(\mu_x^{f \operatorname{ctg} \alpha} - 1)}{f \operatorname{ctg} \alpha \mu_x^{f \operatorname{ctg} \alpha}} - \frac{\sigma_{so} - \sigma_q}{\mu_x^{f \operatorname{ctg} \alpha}}. \quad (4.9)$$

С учетом условия пластичности, подставив (4.9) в (4.7), найдем закон распределения удельного давления по длине очага деформации, при волочении в монолитной волоке:

$$p_x = \frac{(m - \sigma_{so})(\mu_x^{f \operatorname{ctg} \alpha} - 1)}{f \operatorname{ctg} \alpha \mu_x^{f \operatorname{ctg} \alpha}} + \frac{\sigma_{so} - \sigma_q}{\mu_x^{f \operatorname{ctg} \alpha}}. \quad (4.10)$$

Принимая значение $\mu_x = \mu$ в уравнении (4.9), получаем напряжение волочения

$$\sigma_{\text{вол}} = \sigma_{sk} - \frac{(m - \sigma_{so}) \left(\mu^{f \operatorname{ctg} \alpha} - 1 \right)}{f \operatorname{ctg} \alpha \mu^{f \operatorname{ctg} \alpha}} - \frac{\sigma_{so} - \sigma_q}{\mu^{f \operatorname{ctg} \alpha}}. \quad (4.11)$$

Уравнение (4.11) определяет напряжение волочения, необходимое для пластического формоизменения при данной вытяжке за проход, преодоления внешнего трения в рабочей зоне волокна и противонапряжения.

Если в уравнении (4.11) исключить упрочнение металла ($m = 0$) и принять, что $\sigma_s = \frac{\sigma_{so} + \sigma_{sk}}{2}$, то получим уравнение С.И. Губкина и А.Я. Хейна:

$$\sigma_{\text{вол}} = \sigma_s \frac{1 + f \operatorname{ctg} \alpha}{f \operatorname{ctg} \alpha} \left[1 - \left(\frac{F_1}{F_0} \right)^{f \operatorname{ctg} \alpha} \right] + \sigma_q \left(\frac{F_1}{F_0} \right)^{f \operatorname{ctg} \alpha}. \quad (4.12)$$

Если дополнительно исключить противонапряжение ($\sigma_q = 0$), получим известное уравнение Закса:

$$\sigma_{\text{вол}} = \sigma_s \frac{1 + f \operatorname{ctg} \alpha}{f \operatorname{ctg} \alpha} \left[1 - \left(\frac{F_1}{F_0} \right)^{f \operatorname{ctg} \alpha} \right]. \quad (4.13)$$

Если в уравнении (4.11) вместо полуугла рабочей зоны α принять приведенное его значение (см. рис. 4.1)

$$\operatorname{tg} \alpha' = \frac{(d_0 - d_k) \operatorname{tg} \alpha}{d_0 - d_k + 2l \operatorname{tg} \alpha}, \quad (4.14)$$

где l – длина цилиндрической зоны волокна, получим упрощенное уравнение И.Л. Перлина

$$\sigma_{\text{вол}} = \sigma_s \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \alpha'}{f} \right) \left[1 - \left(\frac{F_1}{F_0} \right)^{\frac{f}{\operatorname{tg} \alpha'}} \right] + \sigma_q \left(\frac{F_1}{F_0} \right)^{\frac{f}{\operatorname{tg} \alpha'}}. \quad (4.15)$$

Сила волочения, необходимая для осуществления деформации в монолитной волоке,

$$T_b = \sigma_{\text{вол}} F_1, \quad (4.16)$$

где F_1 – площадь поперечного сечения металла после волочения.

Силу волочения можно найти на основании мощности, потребляемой волочильным станом:

$$T_b = 102 \frac{N_b \eta}{V_b}, \quad (4.17)$$

где N_b – мощность, рекомендуемая на волочение, кВт; $\eta = 0,87-0,95$ – КПД стана; V_b – скорость волочения, м/с.

Несмотря на принятые допущения теоретические расчеты по уравнению (4.11) дают удовлетворительное совпадение расчетных и опытных данных за счет усреднения вносимых в расчет величин.

Теоретические уравнения для определения силы и напряжения волочения наглядно отражают влияние основных технологических факторов (угла рабочей зоны волоки, единичного обжатия, коэффициента трения, противонапряжения, сопротивления металла деформации) на силовые условия процесса.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Из каких соображений выбирают исходный размер катанки для волочения?
2. Как определяется количество переделов при изготовлении проволоки заданного сортамента?
3. Как устанавливают марку стали для получения на готовом размере заданных механических свойств? Приведите примеры.
4. Что называют переходами при волочении и какие принципы заложены в основу их построения?
5. Особенности работы однократных волочильных станов.
6. Особенности работы станов магазинного типа, их разновидности, преимущества и недостатки, области применения.
7. Принципы расчета переходов на станах магазинного типа. Проиллюстрируйте примерами. Из каких соображений выбирают значение коэффициента накопления?
8. Особенности работы станов петлевого и прямоточного типов. Как обеспечивается противонапряжение на станах этих типов?
9. Роль противонапряжения при волочении проволоки.
10. Преимущества и недостатки петлевых и прямоточных станов. Пути усовершенствования конструкций этих станов.

11. Принцип работы станов многократного волочения со скольжением и особенности их конструктивного исполнения. Сферы применения.
12. Особенности расчета переходов на станах со скольжением. Из каких соображений выбирается величина скольжения?
13. Какие факторы и каким образом влияют на силу и напряжение волочения?
14. Как влияет цилиндрическая зона волоки на напряжение волочения и из каких соображений выбирают ее длину? Приведите доказательства.
15. Особенности волочения металла в сдвоенных волоках. Целесообразность их применения.
16. Что такое коэффициент запаса при волочении и какие факторы определяют его значение?
17. Какие особенности с точки зрения силовых условий процесса имеет волочение проволоки с металлопокрытиями?
18. Особенности силовых условий при волочении биметаллической проволоки. Какие факторы влияют на силу и напряжение волочения биметалла?
19. Какими условиями определяются условия стабильности процесса волочения биметаллической проволоки?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аркулис Г.Э. Совместная пластическая деформация разных металлов. – М.: Металлургия, 1964. – 271 с.
2. Ерманок М.З., Ватрушин Л.С. Волочение цветных металлов. – М.: Металлургия, 1982. – 272 с.
3. Брабец В.И. Проволока из тяжелых цветных металлов и сплавов. Справочник. – М.: Металлургия, 1984. – 296 с.
4. Когос А.М. Механическое оборудование волочильных и листопрокатных цехов. – Изд. 3-е. – М.: Металлургия, 1980. – 312 с.
5. Походня И.К., Суптель А.М., Шлепакова В.Н. Сварка порошковой проволоки. – Киев: Наук. думка, 1972. – 233 с.
6. Пацекин В.П., Рахимов К.З. Производство порошковой проволоки / Сер. Метизное производство. – М.: Металлургия, 1979. – 80 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. Выбор размера катанки и определение количества переделов..	3
2. Определение марки стали для получения заданных механических свойств на готовом размере	12
3. Методика расчета переходов при волочении	19
3.1. Станы однократного волочения.....	20
3.2. Станы магазинного типа	23
3.3. Станы петлевого и прямоточного типов.....	31
3.4. Станы многократного волочения со скольжением	38
4. Методика расчета силовых условий при волочении проволоки	49
Контрольные вопросы.....	53
Библиографический список	54