

ПОВЫШЕНИЕ СЛУЖЕБНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛОЧИЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА В ПРОИЗВОДСТВЕ ТРУДНОДЕФОРМИРУЕМЫХ НИХРОМО- ВЫХ ПОЛОС

IMPROVING PERFORMANCE OF OFFICIAL DRAWING TOOLS IN PRODUCTION IS HARDLY DEFORMABLE NICHROME STRIPS

А.И. Снигирев¹, Л.М. Железняк², О.С. Гуртовенко²

¹ ОАО “Завод Уралпрокат”

² ФГАОУ “Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина”

Abstract

The task of increasing the production of TEP and nichrome ferronichromovyh bands according to alternative technology solved in three ways: 1) improving the condition of entering the lubricant in the working area fiber channel, increasing their resistance, elimination of breakage, 2) increase the stability of the drawing process and the quality of the bands, and 3) reduction in the probability of failure of cemented carbide inserts. In order to achieve the results have implemented a number of technical solutions that are protected by patents of the Russian Federation. Mastered the industrial production of 14 positions for the bands electric furnace heating elements. The products are fully complies with all the quantitative and qualitative parameters.

Вопреки важности информации о форме, углах наклона и протяженности зон волочильного канала (рабочей, калибрующей, входной) приводимые библиографические сведения (например [1-4, 6-8]) весьма противоречивы, а о выходной зоне – крайне скудны. Противоречие состоит в исключительно широком диапазоне рекомендованных углов рабочей зоны 2α – от 6 до 30 град, что в определенной мере порождено спецификой волочения изделий разнообразных форм и размеров сечения из различных металлов и сплавов. Вместе с тем при насыщенности сведений о параметрах каналов волок для получения проволоки и прутков слабо представлена информация по волокам для производства полосовых профилей. В частности отмечено [8]: при волочении полос из прямоугольных заготовок возникает различие длин контакта на разных участках рабочей зоны, деформация металла начинается не одновременно на разных местах сечения, в результате на поверхности продукции появляются дефекты.

Минимальные данные о выходной зоне (кроме углов наклона) сводятся к следующему. Ее назначение – предупреждение скалывания выходной кромки калибрующей зоны и травмирования протягиваемого металла об эту кромку при нередкой на практике нестабильности процесса – вибрации, несоосности канала, заготовки и изделия, динамических рывках и др. В [2] также отмечено, что выходная зона смещает очаг деформации к середине длины волочильного канала. В известных источниках практически ничего не сказано о ее длине, которая, как показано ниже, может стать весомым компонентом мер по повышению стойкости твердосплавных вставок при волочении полос из труднодеформируемого сплава нихрома, прочностные свойства которого существенно возрастают в результате холодного деформационного упрочнения. Кроме того, экономическое обоснованное стремление к сокращению маршрутов волочения путем повышения обжатий дополнительно увеличивает нагрузку на инструмент.

Проблеме производства нихромовых полос – около 20 лет, ее появление связано с резким падением объемов металла, заказываемых заводам черной металлургии со стороны российских потребителей, поэтому серийное производство полос согласно традиционной схеме, включающей горячую прокатку слитков массой до 2 т, холодную рулонную прокатку и продольную резку на готовые полосы, трансформировалось в нерентабельное. Авторами с сотрудниками на основе проведенной НИР разработана и осуществлена на производстве следующая альтернативная технология [5]:

- выплавка сплава с применением согласно шихтовой карте сырьевых материалов, флюсов, раскислителей и модификаторов, наполнительное литье слитков массой 55-60 кг в чугунные изложницы;
- нагрев слитков в камерной печи и горячая прокатка на мелкосортном стане 300 полосовых заготовок со смоткой их в бунты;
- травление горячекатаных заготовок, нанесение подсмазочного покрытия, острение переднего конца;
- волочение со смазкой в виде мыльного порошка с присадками на полосы готовых размеров за ряд проходов на стане ВСГ 1/650 через твердосплавные волокна с промежуточными отжигами и травлениями.

Ситуация при волочении прямоугольных профилей значительно усложняется (с учетом отмеченного выше поведения металла в канале [8]) при переходе от изделий из сплавов невысокой прочности и достаточной пластичности (медных шин и коллекторных полос из низколегированных бронз) к менее пластичному и значительно более прочному хромоникелевому сплаву нихрому. Параметры канала и технологические приемы при волочении изделий из меди и ее сплавов оказались практически непригодными для полос из нихрома, которому свойственны не только повышенные силовые характеристики (напряжение и сила волочения, давление на волоку), но и усложняющая обработку высокая склонность к адгезии даже при ис-

пользовании подмазочного покрытия и эффективной смазки. Эти факторы, наряду с неравномерным распределением обжатий по большим и малым граням профиля, обуславливают интенсивный износ канала, снижение стойкости инструмента, повышенную обрывность и ухудшение качества поверхности готовых полос. Например, при попытке эксплуатации волок с традиционными параметрами канала, давно и успешно используемых при волочении упомянутых электротехнических профилей, они показали нестабильную и в целом неудовлетворительную стойкость против износа и даже – разрушения, особенно для нихромовых полос максимальной ширины 40 мм: в лучшем случае протягивали около 200 кг полос с чистовым сечением 4×40 мм, в худшем (при фактическом отклонении толщины горячекатаной заготовки +0,5 мм) твердосплавная вставка разрушалась после протяжки первого же бунта.

Задачу значительного повышения ТЭП производства нихромовых полос на основе использования альтернативной технологической схемы решали по трем направлениям:

- 1) улучшение условий поступления смазки в очаг деформации (далее – ОД), повышение стойкости волок, ликвидация обрывности;
- 2) повышение стабильности волочения и качества поверхности полос;
- 3) резкое снижение вероятности разрушения твердосплавных вставок.

С целью достижения результата по первым двум направлениям реализовали следующие технические решения [10, 12]:

– входную и рабочую зоны объединили в единую рабочую зону и установили $\operatorname{tg} \alpha = (\Delta h / 2) / 0,6 \dots 0,7 l_{\text{рз}}$ (где α – угол ее наклона к оси канала; Δh – абсолютное обжатие по толщине; $l_{\text{рз}}$ – длина единой рабочей зоны);

– в местах перехода от рабочей к калибрующей и от калибрующей к выходной зоне предусмотрели фаски длиной $l_{\text{ф}} = 0,075 \dots 0,15 l_{\text{кз}}$, где $l_{\text{кз}}$ – длина калибрующей зоны;

– α малой грани рабочей зоны выполнили выше α большой грани, чтобы длина ОД $l_{\text{од}}$ по большой грани обязательно превысила $l_{\text{од}}$ по малой грани.

Для осуществления третьего направления приняли отношение длины выходной зоны $l_{\text{вз}}$ к полной длине канала l_{Σ} в интервале 0,24...0,32 [14].

На рис. 1 приведена волочильная вставка с усовершенствованной согласно [10, 12] геометрией канала; ее использование обеспечило надежное волочение нихромовых (марки Х20Н80) и ферро-нихромовых (марки Х15Н60) полос за счет значительного улучшения условий поступления смазки в ОД. Волочению нихрома, как правило, сопутствует высокое контактное давление, что подтверждено нижеприведенным расчетом. Согласно [8, с. 143, формула VI – 8а] среднее нормальное напряжение на контактной поверхности:

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sigma_{\text{лн}} \dot{A}}{2(1 + \mu \cdot \operatorname{ctg} \alpha)(1 - \nu)}},$$

где $\sigma_{\text{лн}}$ – продольное напряжение в упругой зоне, МПа; E – модуль упругости, МПа; ν – коэффициент Пуассона; μ – коэффициент трения.

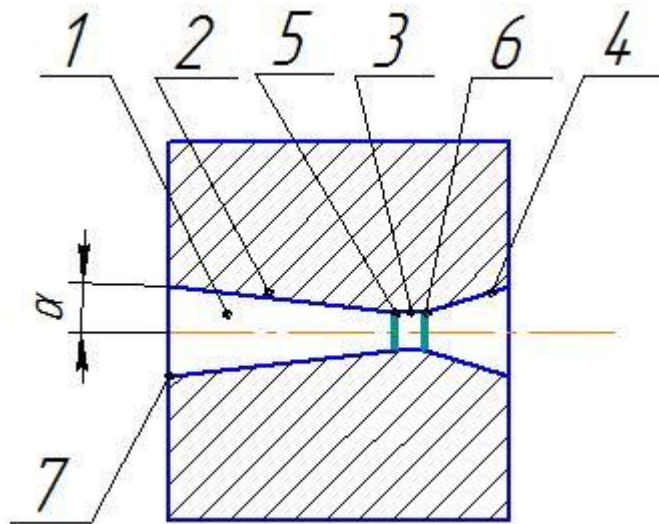


Рис. 1. Усовершенствованная волочильная вставка [10, 12]: 1 – волочильный канал; 2 – единая рабочая зона с углом ее наклона к оси канала $\alpha = 3 - 6$ град; 3 – калибрующая зона; 4 – входная зона; 5, 6 – фаски в местах перехода рабочей зоны в калибрующую и калибрующей в выходную; 7 – угловая кромка единой рабочей зоны.

При выборе значений параметров для расчета σ_n ориентировались на титан ВТ 1 [8, табл. 14] как наиболее близкий к нихрому по механическим

свойствам и также, как нихром, склонный к адгезии. Конкретно, исходные параметры составляют $\sigma_{\text{лн}} = 64$ МПа; $E = 1,1 \cdot 10^5$ МПа; $\nu = 0,22$; $\mu = 0,07$ [8, с.

439-440, прил. 6]; угол α принят 6 град. Рассчитанное значение $\sigma_n=1650$ МПа вполне коррелирует с приведенным в [8, табл. 14] и равным 1520 МПа. Для повышения надежности информации дополнительно рассчитали по [11, с. 298 и табл. 22] среднее контактное давление в ОД $p_n=1480$ МПа, хорошо (с отклонением $\sim 10\%$) согласующееся с результатом расчета σ_n по [8].

Площадь ОД (в форме трапеции) где b_0 и b_1 – ширина заготовки и протянутой полосы соответственно. Длина ОД при $\alpha_{\min}=6^\circ$ и $\Delta h=1,0$ мм составляет $l_{\text{од}}=4,76$ мм; следовательно, при волочении заготовки, например сечением 3×33 мм на полосу $2 \times 32,5$ мм, имеем: $F=155,9 \cdot 10^{-6}$ м² и нормальную к поверхности рабочей зоны силу $P_n=\sigma_n F=257$ кН.

Высокие значения p_n и P_n , а также склонность никрома к адгезии приводят к интенсивному износу канала: налипанию металла на его поверхность и выкрашиванию твердого сплава, свидетельствующих о нарушении режима граничного трения. Достижению этого режима препятствуют также завышенные значения угла α , что подтверждается начальным опытом авторов при использовании волок с углом $\alpha=8 \dots 12^\circ$. Фиксировали обрывность, контролировали состояние поверхности полос, наблюдали за поступлением смазки в канал (немалое количество которой выдавливалось в обратном направлении) и в результате констатировали низкую стойкость волок и недопустимое ухудшение качества поверхности полос после чистового прохода волочения.

Значение p_n для усовершенствованных согласно [10, 12] параметрах канала волоки, с учетом возросшей от 3-х до 6-и раз $l_{\text{од}}$, составляет 494 МПа, т.е. получено $1650/494=3,34$ -кратное снижение нормальных напряжений на контакте; это улучшило поступление смазки в ОД и обеспечило граничный режим трения. В итоге достигнуто многократное повышение стойкости волок, ликвидирована обрывность. Далее приведено обоснование параметров канала, назначенных с целью реализации первого и второго направлений.

1. Улучшение поступления смазки в ОД, повышение стойкости волок и ликвидация обрывности путем ограничения угла α величиной $3 \dots 6$ град осуществлены без изменения l_{Σ} , равной 25 мм. При $\alpha > 6$ град не достигается достаточное втягивание смазки в рабочую зону, более того – возникает ее отгон в обратном направлении. Выполнение $\alpha < 3$ град при практически неизбежной вибрации задаваемой в волоку заготовки повышает вероятность повреждения ее поверхности об угловую кромку 7 (рис. 1). С целью исключения этой опасности на волокодержателе установили два направляющих ролика, обеспечивших центрирование заготовки по оси канала.

2. Значения коэффициента $0,6 \dots 0,7$ в формуле для расчета $\text{tg} \alpha$ продиктованы как величинами $\Delta h=0,5 \dots 1,0$ мм и $\alpha=3 \dots 6$ град, так и ограничены длиной $l_{\text{рз}}$, которая при любых сочетаниях параметров должна превышать $l_{\text{од}}$. По сути – это коэффициент запаса во избежание нарушения условия

$l_{\text{рз}} > l_{\text{од}}$. Рассчитанный по формуле $\text{tg} \alpha = (\Delta h/2)/0,6 \dots 0,7 l_{\text{рз}}$ интервал $l_{\text{од}}=3,57 \dots 16,67$ мм не достигает $l_{\text{рз}}=18$ мм, т.е. условие $l_{\text{рз}} > l_{\text{од}}$ соблюдается.

3. Минимальная длина фасок 5 и 6 (рис. 1) (при $l_{\text{кз}}=4$ мм), равная $0,075 \times 4=0,3$ мм, назначена для соблюдения двух условий: стабильности размеров калибрующей зоны, особенно важной в чистовом проходе, и отсутствия сколов выходной кромки этой зоны из-за адгезии сплава. Максимальная длина фасок, равная $0,15 \times 4=0,6$ мм, установлена, кроме необходимости выполнения этих двух условий, с целью выдерживания известного принципа: чем протяженнее $l_{\text{кз}}$, тем эта зона меньше подвержена износу и тем выше стойкость инструмента. При превышении длины фаски 0,6 мм длина $l_{\text{кз}}$ заметно сокращается, что крайне нежелательно с учетом вышеизложенного.

4. Неравенство $\alpha_{\text{м грани}} > \alpha_{\text{б грани}}$ с целью соблюдения условия $l_{\text{б од}} > l_{\text{м од}}$ установлено в связи с тем, что при равенстве этих углов весьма вероятны следующие недостатки. На производстве крайне сложно, а часто практически невозможно соблюсти условие $\Delta h_{\text{б}} = \Delta h_{\text{м}}$ по двум причинам: во-первых, из-за значительного допуска на толщину горячекатаной заготовки, составляющего $\pm 0,5$ мм; во-вторых, вследствие трудности контроля многих факторов – несоосности заготовки, полосы и канала, вибрации тянущего устройства стана, недостаточного поступления смазки в канал, налипания металла на его поверхность с последующим выкрашиванием твердого сплава и др. Если $\Delta h_{\text{б}} > \Delta h_{\text{м}}$, то $l_{\text{б од}} > l_{\text{м од}}$, тогда деформация на больших гранях начнется раньше, чем на малых; эта ситуация вполне положительна, т.к. негативные последствия с позиции течения металла в ОД отсутствуют. Если по каким-либо причинам выполняются неравенства $\Delta h_{\text{б}} < \Delta h_{\text{м}}$ и $l_{\text{б од}} < l_{\text{м од}}$, т.е. деформация начнется на малых гранях раньше, чем на больших, то положение резко ухудшается: 1) возникает крайне неблагоприятное явление потери поперечной устойчивости полосы, что приводит с учетом отношения ее ширины к толщине, равного от 6:1 до 15:1, к образованию на полосе продольных складок, т.е. к неисправимому дефекту; 2) течение металла вдоль оси подавлено, и он заметно смещается в поперечном направлении – подобно известному из прокатки явлению интенсивного течения металла в ширину при очень высоком ОД, когда фактор формы ОД $l/h_c \ll 1$. С учетом ограниченного радиуса закругления в углах канала это приводит: к затрудненному заполнению углов рабочей и калибрующей зон канала; появлению “излишних” объемов металла в виде наплывов в районе кромок полосы; выдавливанию смазки из ОД в обратном направлении; снижению стойкости канала и качества поверхности полосы и к неизбежному обрыву. Свидетельство нарушения режима граничного трения – блестящие, в отличие от основной матовой поверхности, участки вблизи кромок полосы.

Улучшение качества поверхности полос достигнуто путем создания устойчивого режима граничного трения, в том числе за счет устранения указанных наплывов, препятствовавших смазке поступать в ОД. С полос исчезли блестящие участки, говорящие об отсутствии смазки и интенсивном износе канала, полосы имеют матовую поверхность, подтверждающую факт смазочного эффекта. Решение задач повышения стабильности волочения и улучшения качества поверхности нихромовых полос согласно 1-му и 2-му направлениям привело к исчезновению рассмотренных выше негативных явлений. Освоен промышленный выпуск 14-и позиций полос из нихрома марки Х20Н80, полностью отвечающих требованиям стандарта [9] по всем качественным и количественным показателям

дации разрушения вставок согласно третьему направлению [14]. На рис. 2а приведены векторы сил Q и F , нормальных к поверхности канала в его рабочей зоне и действующих на твердосплавную вставку 2 традиционного исполнения и стальную обойму 3; линиями 1-1 схематично показаны типичные места разрушения вставки. Распорные силы Q (основные в данной ситуации, т.к. они намного больше сил F) имеют весьма неблагоприятное направление (рис. 2б) по сравнению с направлением действия этих сил в усовершенствованной вставке (рис. 2в). В традиционной вставке сила Q направлена в конечном итоге на заднюю, опирающуюся на “дно” обоймы 3 поверхность 4 вставки 2, а поскольку в этом месте суммарное сечение $б-б$ (рис. 2б) вставки и обоймы понижено, то оно в принципе не может противостоять силе Q , и, как следствие, излом вставки становится неизбежным, что и подтверждается на практике.

Далее рассмотрено решение задачи по ликви-

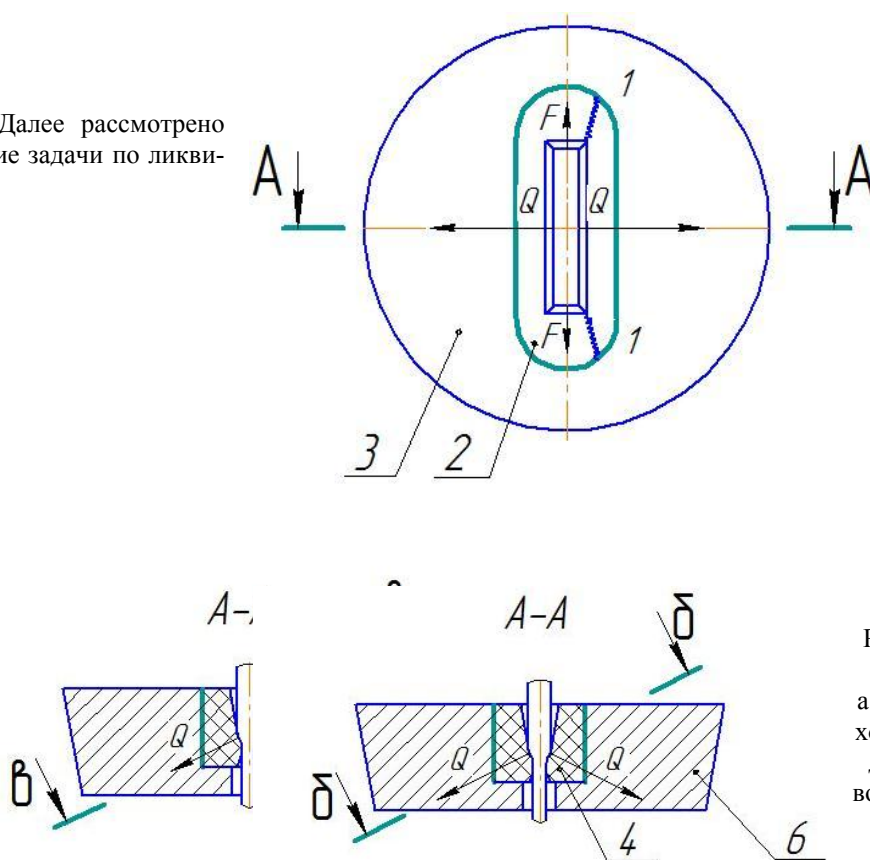


Рис.2. Схема действия сил на вставку и обойму:
а – вид волокна со стороны выхода из канала; б – волокна традиционного исполнения; в – волокна с усовершенствованной вставкой

В усовершенствованной вставке (рис. 2в) точки приложения сил Q смещены в направлении входа в канал, и им противостоит суммарное сечение $в-в$ вставки 2 и обоймы 3, значительно усиленное по сравнению с сечением $б-б$ (рис. 2б). Кроме того, в этом случае боковая поверхность 5 вставки (рис. 2в) взаимодействует не непосредственно с обоймой, а через слой латунного припоя 6 (предназначенного, как известно, для закрепления в обойме вставки), что дополнительно компенсирует негативное действие распорных сил Q .

В качестве подтверждения опасности разрушения вставки далее приведен расчет распорного напряжения, порождаемого силой Q на примере волочения полосы из нихрома X20H80. Согласно формуле верхней оценки [13] среднее нормальное напряжение, действующее на поверхность большей грани рабочей зоны канала при плоском деформированном состоянии (т.е. для случая волочения полосы):

$$\sigma_n/1,15\sigma_s=1+0,25l_{од}/h_c,$$

где σ_s – среднее по очагу сопротивление холодной деформации сплава;

$\sigma_s = 800$ МПа; h_c – средняя толщина ОД.

Для первого прохода волочения при деформации с $h_0=6$ мм до $h_1=5$ мм при $\alpha_{мин}=3^\circ$ $l_{од}=(\Delta h/2)/\operatorname{tg}3^\circ=9,54$ мм; $h_c=(6+5)/2=5,5$ мм; тогда $\sigma_n=1319$ МПа.

Значение $\sigma_n=1319$ МПа, а тем более рассчитанные выше $\sigma_n=1650$ МПа и $p_n=1480$ МПа весьма приближены к допускаемому напряжению на изгиб твердого сплава марки ВК8, равному 1666 МПа [15], и это обстоятельство является неоспоримым доказательством объективной причины изломов вставок, особенно с учетом условий производства. Далее приведено обоснование рекомендованного интервала отношения $l_{в3}/l_2=0,24\dots0,32$ [14].

При нижнем пределе интервала 0,24 и $l_2=25$ мм минимальная длина выходной зоны $l_{AC}^{мин} = 6$ мм. Следовательно, соответствующий полосе круг (после корректировки слишком низкого по [2] отношения $l_{в3}/d_k=0,05$ до величины $l_{в3}/d_k=0,2$, где d_k – диаметр калибрующей зоны) имеет диаметр $6/0,2=30$ мм. При верхнем пределе 0,32 получим $l_{AC}^{max} = 8$ мм, тогда соответствующий круг имеет диаметр $8/0,2=40$ мм^{*)}. Прутки таких диаметров на самом деле являются весьма крупными, получаемыми волочением. При использовании по [2] для крупных прутков отношения $l_{в3}/d_k=0,05$ рассчитанная для прутка диаметром 30 мм $l_{в3}$ составляет 1,5 мм, а для прутка диаметром 40 мм $l_{в3}$ равна 2,0 мм. Очевидно, что такие значения $l_{в3}$ не могут быть приемлемыми на практике. Таким образом, диапазон отношения $l_{в3}/l_2=0,24\dots0,32$ вполне адекватен

^{*)} Воспользоваться рекомендацией из [2] об этом отношении, равном 0,05, не представляется возможным, поскольку в этом случае диаметры соответствующих прутков будут равны $6/0,05=120$ мм и $8/0,05=160$ мм. Известно, что волочение прутков таких диаметров практически исключено.

ситуации и способствует достижению поставленной цели.

Для оценки уровня напряжений в теле твердосплавной вставки выполнили расчет полей напряжений по методике [16]. Сравнение картин полей напряжений (здесь не приводятся), возникающих от действующих на вставку распорных сил, показывает явные преимущества усовершенствованного канала, т.к. уменьшены площади зон действия опасных напряжений в теле вставки по сравнению со вставкой традиционного исполнения; кроме того, достигнуто более благоприятное распределение полей напряжений в теле вставки, а именно: сглажено кумулятивное действие напряжений в ослабленных местах вставки и снижена их интенсивность; в зоне действия максимальных напряжений им противостоят более толстое сечение вставки, а также более массивная часть стальной обоймы.

При использовании усовершенствованной твердосплавной волоки для производства самого массового из полосовых нихромовых профилей сечением 3×30 мм ее стойкость составила 4,5–5,0 т протянутого металла. Разрушение вставок в виде изломов при волочении полос всех без исключения размеров через волоки с указанными параметрами волочильного канала прекратилось полностью; волоки, как правило, выходят из строя вследствие износа канала в виде налипания нихрома, что недопустимо снижает качество поверхности и точность размеров полос. Вместе с тем волоку с явными признаками износа в виде наливов восстанавливают путем их снятия и одновременной обработки канала с использованием прецизионного станка электроэрозионного вырезания модели AGIECUT CLASSIC 2S (Швейцария), который вполне надежно и с необходимой точностью обеспечивает получение требуемых параметров канала.

Список литературы

1. Красильников Л.А., Красильников С.А. Волочи́льщик проволоки. Изд.2-е. М.: Металлургия, 1977. 240 с.
2. Ерманок М.З., Ватрушин Л.С. Волочение цветных металлов и сплавов. Изд.2-е. М.: Металлургия, 1988. 288 с.
3. Красильников Л.А., Лысенко А.Г. Волочи́льщик проволоки. Изд.3-е. М.: Металлургия, 1987. 320 с.
4. Хаяк Г.С. Инструмент для волочения проволоки. М.: Металлургия, 1974. 128 с.
5. Козловских Н.Ф., Котельников В.П., Снигирев А.И. и др. Освоение технологии производства проволоки и полос из нихрома. Цветные металлы № 10, 2003. С. 82-84.
6. Ландихов А.Д. Производство труб, прутков, профилей из цветных металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1971. 448 с.
7. Брыскин Б.Д., Несговорцов В.В., Шегай А.А. и др. Цветные металлы № 5, 1970. С. 78-79.
8. Перлин И.Л., Ерманок М.З. Теория волочения. Изд.2-е. М.: Металлургия, 1971. 448 с.

9. ГОСТ 12766.2-96 Лента из прецизионных сплавов с высоким электрическим сопротивлением. М.: Изд. стандартов. ОКП 12 3500, 12 3600. Группа В73.
10. Патент РФ № 2371268 Твердосплавная волока для волочения полос из нихрома и подобных сплавов / Н.С. Арсентьева, Л.М. Железняк, А.И. Снигирев, Н.А. Снигирев. Оpubл. 27.10.2009. Бюл. № 30.
11. Контактное трение в процессах обработки металлов давлением / А.Н. Леванов, В.Л. Колмогоров, С.П. Буркин и др. М.: Металлургия, 1976. 416 с.
12. Патент РФ № 2383404 Твердосплавная волока для получения полосовых профилей / Н.С. Арсентьева, Л.М. Железняк, А.И. Снигирев, Н.А. Снигирев. Оpubл. 10.03.2010. Бюл. № 7.
13. Ильюшин А.А. Прикладная математика и механика. Т.19, вып.6, 1955.
14. Патент РФ № 2400320 Твердосплавная волока для волочения изделий из труднодеформируемых сплавов / А.И. Снигирев, Н.А. Снигирев, Л.М. Железняк. Оpubл. 27.09.2010. Бюл. № 27.
15. ГОСТ 3882-74. Сплавы твердые спеченные. Марки. М.: Издательство стандартов, 1986. 18 с. УДК 669.18.25:006.354. Группа В56.
16. <http://www.solidworks.ru/com/index.html>.
17. Хайкин Б.Е. Железняк Л.М. Логинов Ю.Н. Особенности формоизменения при асимметричной прокатке клиновидного профиля из прямоугольной и круглой заготовки. Известия вузов. Черная металлургия, 1988, №4. С. 34-37.
18. Логинов Ю.Н., Железняк Л.М. Усовершенствование роликового волочильного инструмента. Теория и практика производства метизов. Вып.10. Труды вузов РСФСР, Свердловск, УПИ, 1982. С. 52-58.
19. А.с. СССР № 910270. Роликовая волока для производства прямоугольных и трапециевидных профилей. / Л.М.Железняк, Ю.Н.Логинов, А.А.Прудкая. Оpubл. 07.03.1982. Бюл. № 9.