

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

УДК 621.7.011

Корчунов А.Г., Решетникова Е.С., Зайцева М.В., Носов А.Н., Исхакова А.М.

АНАЛИЗ ВЗАИМОСВЯЗИ СТРОЕНИЯ ОЧАГА ДЕФОРМАЦИИ И УСЛОВИЙ СМАЗЫВАНИЯ ПРИ ВОЛОЧЕНИИ КАЛИБРОВАННОГО ПРОКАТА

Аннотация. Процесс волочения калиброванного проката с учетом особенностей состояния поверхностного слоя после дробеметной обработки, применяемой в качестве подготовки поверхности на новых высокотехнологичных линиях, требует изучения взаимосвязи строения очага деформации и условий смазывания. В статье представлены рекомендации по выбору геометрии волок и назначению абсолютных обжатий при волочении проката круглого сечения на линиях CDS 300/80 и DB 800/40 компании EJP, введенных в эксплуатацию на ОАО «Магнитогорский метизно-калибровочный завод «ММК-МЕТИЗ». Для изучения условий смазывания использован показатель «эффективной длины» контакта металла с волокой, который позволяет оценить величину смазочного клина при волочении. Приведены результаты эксплуатации волок с разной геометрией с учетом применяемых смазочных материалов. Актуальность работы обусловлена заменой традиционного способа подготовки поверхности проката на обработку металла дробью.

Ключевые слова: дробеметная обработка, поверхность, волочение, очаг деформации, калиброванный прокат, смазочный материал

Введение

Изучение очага деформации является важным этапом проектирования процесса волочения и позволяет определить нагрузки и энергетические затраты на оборудование, выбрать конструкцию инструмента для обеспечения стабильности процесса, механических характеристик и высокого качества проката. На ОАО «Магнитогорский метизно-калибровочный завод «ММК-МЕТИЗ» запущены в эксплуатацию новые линии CDS 300/80 и DB 800/40 компании EJP, в которых совмещены операции обработки поверхности горячекатаного металла дробью, холодной пластической деформации методом волочения и правки проката. Технические характеристики оборудования CDS 300/80 и DB 800/40 компании EJP позволяют производить калиброванный прокат из традиционных и перспективных марок стали по отечественным и международным стандартам с различными механическими свойствами. Замена традиционного способа подготовки поверхности проката перед волочением на обработку дробью требует изучения очага деформации и условий смазывания с целью разработки эффективных режимов волочения калиброванного проката.

Рекомендации по выбору режимов волочения калиброванного проката с традиционным способом подготовки поверхности металла к деформации приведены в работе [1]. Микроструктура и свойства поверхностного слоя металла после дробеметной обработки имеет ряд особенностей: на поверхности проката формируется градиентная структура с упрочненным поверхностным слоем, приповерхностный слой характеризуется неупрочненной частью обезуглероженного слоя [2, 3]. Дробеметная обработка приводит к повышению значений высотных параметров шерохо-

ватости поверхности, что меняет условия смазывания и требует изучения очага деформации.

Основная часть

Геометрия волок, применяемых для волочения калиброванного проката различных диаметров на линиях CDS 300/80 и DB 800/40 соответствует ГОСТ 9453-75 «Волоки-заготовки из твердых спеченных сплавов для волочения проволоки и прутков круглого сечения» [4]. Для изучения условий смазывания на границе раздела металла и волоки использовали показатель «эффективной длины» контакта $L_{эф}$, который определяет величину смазочного клина при волочении [5, 6] и позволяет определить отношение длины зоны контакта L_k металла с волокой к длине рабочего конуса волоки L_p (рис. 1, 2):

$$L_{эф} = \frac{L_k}{L_p} \cdot 100\% . \quad (1)$$

Длина зоны контакта L_k определяется следующим образом:

$$L_k = 0,5(d_0 - d_k) \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha} . \quad (2)$$

На величину $L_{эф}$ влияет выбор абсолютных обжатий и геометрических параметров волоки – полуугла α и длины рабочего конуса L_p . На рис. 1 представлены схемы волочения проката на диаметр 20 мм в форме волоки 16 по ГОСТ 9453-75 для абсолютных обжатий 1 и 3 мм. При назначении абсолютного обжатия 1 мм $L_{эф} = 23\%$, 3 мм – $L_{эф} = 69\%$. На рис. 2 представлены схемы процесса волочения на диаметр 20 мм в форме волоки 16 по ГОСТ 9453-75 – полуугол $\alpha=9^\circ$ и в форме волоки 17 по ГОСТ 9453-75 – полуугол $\alpha=8^\circ$ с абсолютным обжатием 2 мм. Длина рабочего конуса

волокни формы 17 по ГОСТ 9453-75 на 25% больше, чем для формы 16. «Эффективная длина» зоны деформации $L_{эф}$ составляет 46% в форме волокни 16 (рис. 2, а) и 39% – в форме волокни 17 (рис. 2, б).

Длина зоны контакта L_k имеет значение при определении нормальных напряжений P (см. рис. 1, 2), так как величина нормальных напряжений P представляет собой отношение нормальной силы, действующей между металлом и волокни, к площади контакта. При проведении расчетов обычно принимают средние значения P , считая нормальные напряжения постоянными и равномерными по всей длине. Величина нормальных напряжений P оказывает влияние на поступление смазки в очаг деформации – высокие значения ухудшают условия смазывания [5, 6].

Так как смазка подается в очаг деформации протягиваемым металлом за счет шероховатости поверхности металла и адгезии смазки к поверхности, длина зоны формирования смазочного клина L_c имеет значение для обеспечения стабильности процесса волочения. Исследования, представленные в работе [7], показывают, что наилучшие условия для поступления смазки в очаг деформации достигаются при использовании волок с удлиненной рабочей зоной.

Выбор абсолютных обжатий влияет на длину зоны контакта L_k , а, следовательно, и на «эффективную длину» зоны деформации $L_{эф}$, в большей степени, чем форма волокни. Однако уменьшение полуугла волокни α , как и увеличение абсолютных обжатий, приводит к увеличению длины зоны контакта L_k металла с волокни.

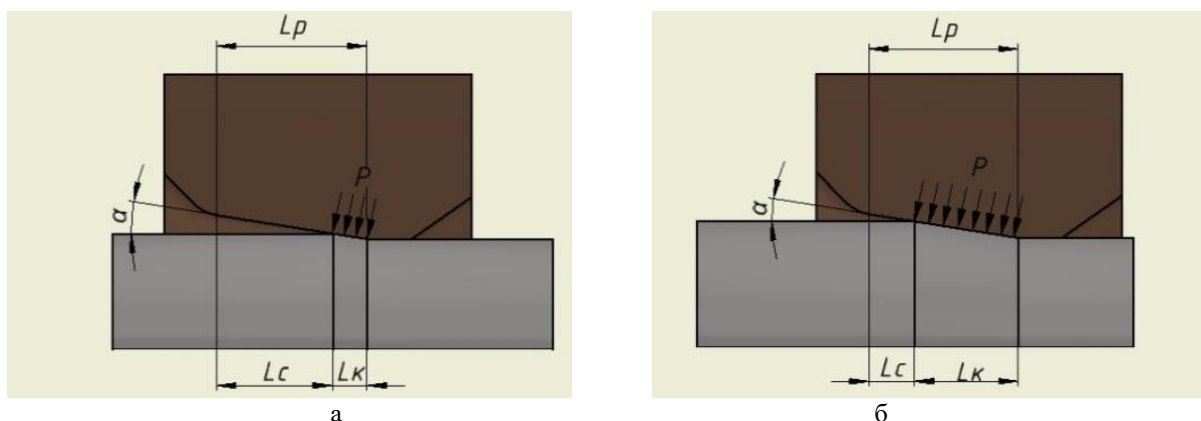


Рис. 1. Схема процесса волочения для определения «эффективной длины» зоны деформации $L_{эф}$:

а – абсолютное обжатие 1 мм; б – абсолютное обжатие 3 мм:

L_k – длина зоны контакта; L_p – длина рабочего конуса волокни; L_c – длина зоны формирования смазочного клина; P – нормальные напряжения; α – полуугол волокни

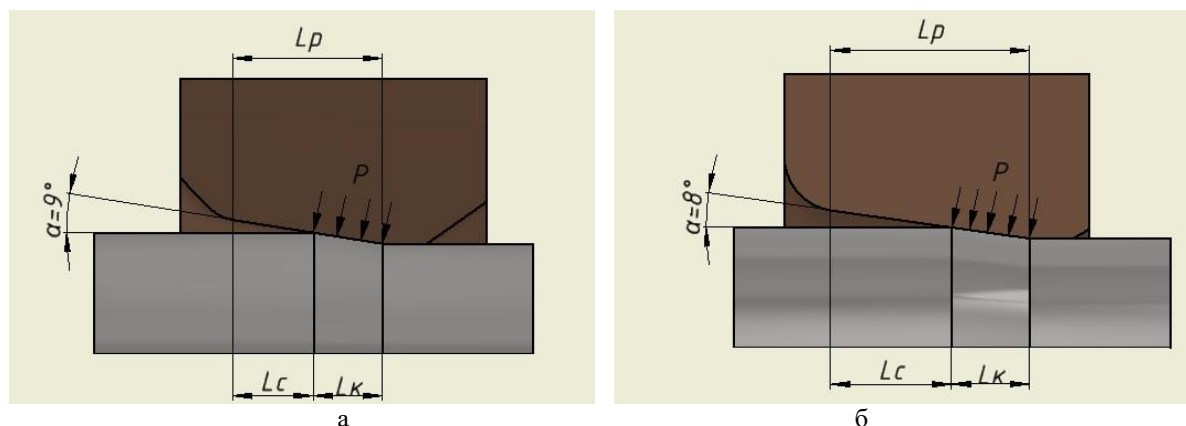


Рис. 2. Схема процесса волочения для определения «эффективной длины» зоны деформации $L_{эф}$:

а – форма волокни 16 по ГОСТ 9453-75, абсолютное обжатие 2 мм;

б – форма волокни 17 по ГОСТ 9453-75, абсолютное обжатие 2 мм:

L_k – длина зоны контакта; L_p – длина рабочего конуса волокни; L_c – длина зоны формирования смазочного клина; P – нормальные напряжения; α – полуугол волокни

Показатель «эффективной длины» зоны деформации $L_{эф}$ позволяет оценить соотношение длины зо-

ны контакта L_k металла с волокни и длины зоны формирования смазочного клина L_c . Авторами [5] реко-

мендовано выбирать величину показателя $L_{эф} = 50\text{--}75\%$ для процесса волочения. По данным исследований, представленных в работе [6], начальный контакт металла и рабочей зоны волокна должен находиться примерно в середине рабочего конуса волокна L_p , что соответствует $L_{эф}=50\%$. Рекомендации [5, 6] даны для процесса волочения проката при традиционном способе подготовки поверхности.

Оценка влияния геометрии волок на условия смазывания в процессе волочения на линии CDS 300/80 произведена для волок двух производителей: №1 – Vassena, Италия, и №2 – ОАО «ММК-МЕТИЗ». Геометрия рабочей поверхности волок определена с помощью 3D-сканирования сканером SHINING 3D EINSKAN-SP. Произведено сравнение рабочих поверхностей волок с использованием программного обеспечения GOM Inspect, предназначенного для анализа 3D-измерительных данных, полученных с помощью проекционных или лазерных сканеров [8]. Обе волокна предназначены для волочения круглого проката на диаметр 17,84 мм. Геометрия рабочей зоны волокна №1 имеет отличия от волокна №2: полуугол рабочего конуса меньше на 1° , длина рабочего конуса короче на 2,5 мм. Геометрия волокна №2 соответствует 1980-0214 Формы 16 по ГОСТ 9453-75. Для волокна №1 показатель «эффективной длины» контакта составляет $L_{эф} = 66\%$, для волокна №2 – $L_{эф} = 47\%$ (рис. 3). Уменьшение длины рабочего конуса волокна №1 привело к уменьшению L_c – длины зоны форми-

рования смазочного клина на 46%, а увеличение L_k – длины зоны контакта металла с волоком, к повышению величины нормальных напряжений P , что создает неблагоприятные условия для попадания смазки в очаг деформации [5]. Длина зоны формирования смазочного клина L_c у волокна №1 недостаточна – в очаг деформации смазочный материал подается в меньшем количестве, чем при волочении в волокне №2. Результаты эксплуатации волок №1 и 2 показали, что волокно №1 обладает меньшей стойкостью (примерно в 2 раза), чем волокно №2, одной из причин снижения стойкости является влияние строения очага деформации на условия смазывания. Учитывая особенности шероховатости поверхности проката после дробеметной обработки – повышенные значения высотных параметров шероховатости поверхности, выбирать форму волок и назначать абсолютные обжатия рекомендуется при значении показателя «эффективной длины» $L_{эф} = 30\text{--}50\%$.

В соответствии с номенклатурой калиброванного проката, производимого на линиях CDS 300/80 и DB 800/40, произведен анализ геометрии волок и построены графики зависимости показателя «эффективной длины» зоны деформации $L_{эф}$ от абсолютных обжатий. Графики, представленные на рис. 4, 5, позволяют выбрать форму волокна и назначить величину абсолютных обжатий для волочения проката круглого сечения с учетом показателя «эффективной длины» зоны деформации $L_{эф}$.

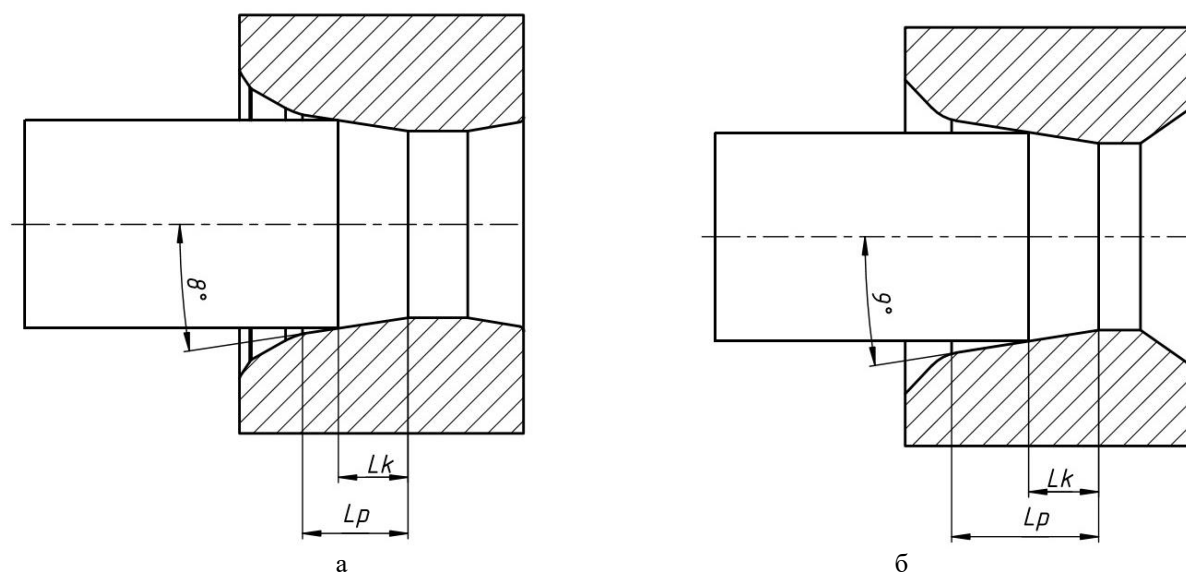


Рис. 3. Схема процесса волочения круглого проката на диаметр 17,84 мм с абсолютным обжатием 2 мм на линии CDS 300/80 для определения «эффективной длины» зоны деформации $L_{эф}$: а – волокно №1; б – волокно №2

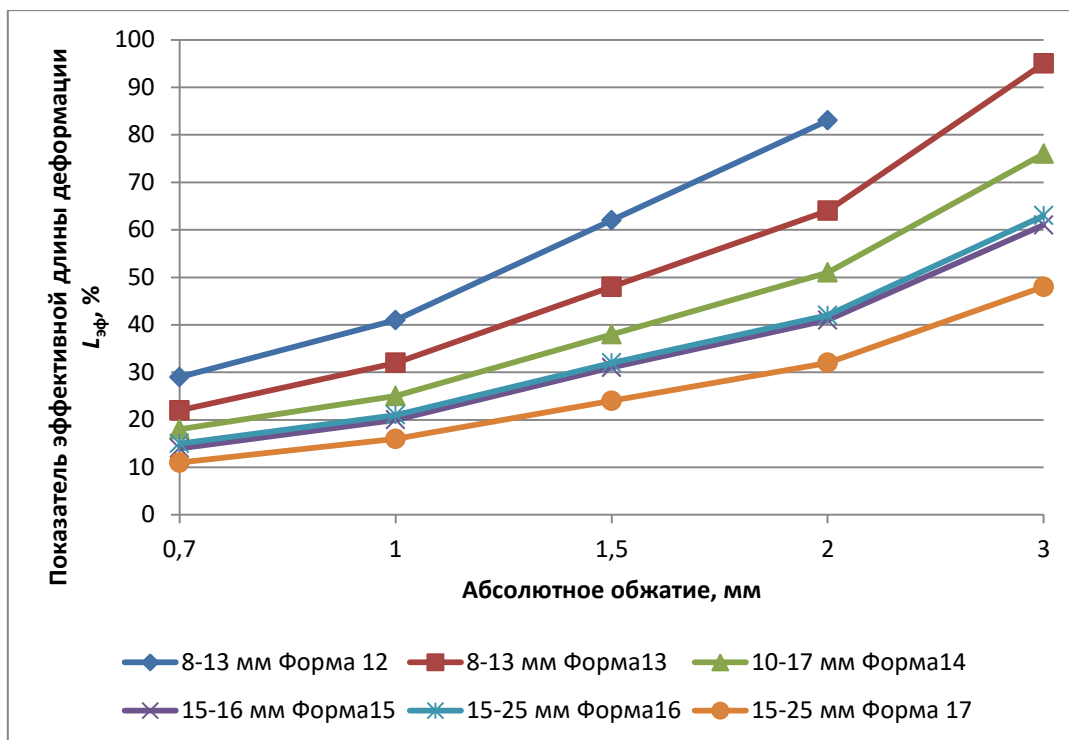


Рис. 4. Зависимость показателя «эффективной длины» зоны деформации $L_{эф}$ от абсолютных обжатий для волочения проката на линии CDS 300/80 номинальными диаметрами от 8 до 25 мм

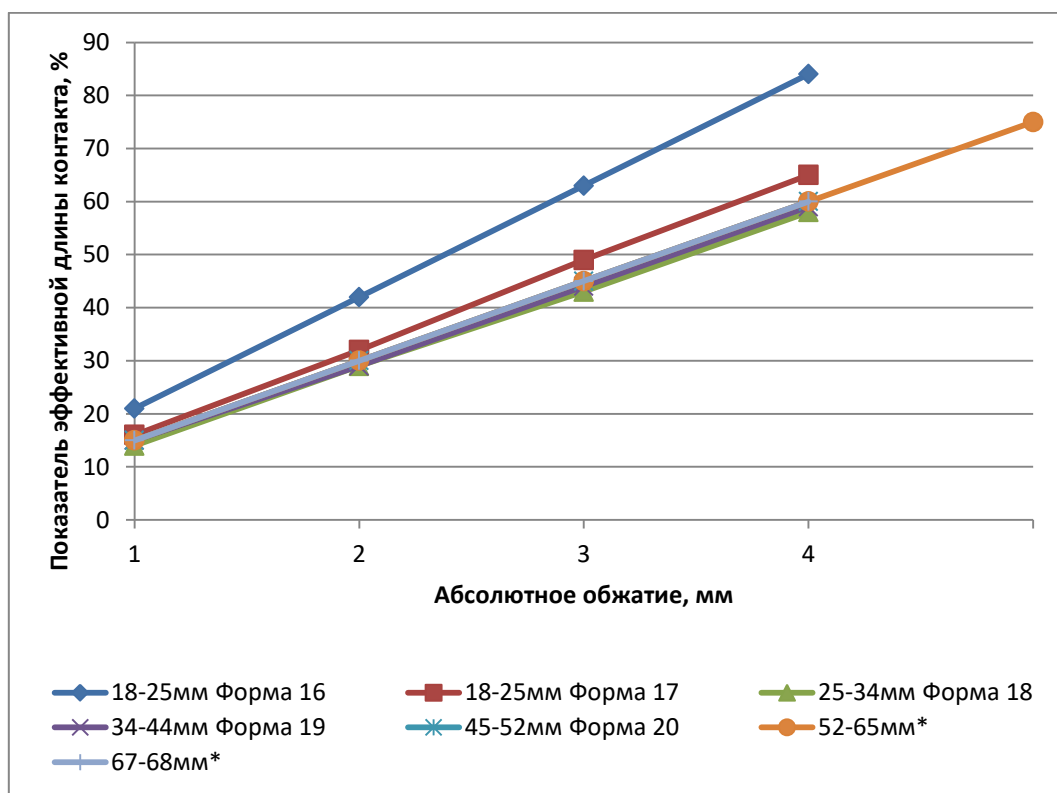


Рис. 5. Зависимость показателя «эффективной длины» зоны деформации $L_{эф}$ от абсолютных обжатий для волочения проката на линии DB 800/40 номинальными диаметрами от 18 до 68 мм (Для проката диаметрами 52-65 и 67-68 мм приняты значения полуугла волокна 9° и длина рабочего конуса 21 мм)

На линиях CDS 300/80 и DB 800/40 применяются смазочные материалы на водной основе, в том числе EXTRUDOIL 702F с кинематической вязкостью $U = 102,7$ сСт ($\text{мм}^2/\text{с}$). По данным исследований [9] количество смазки, поступающей в очаг деформации, прямо пропорционально скорости волочения, вязкости смазки и обратно пропорционально пределу текучести деформируемого металла и полууглу рабочего конуса волокна. В работе [9] предлагается определять толщину смазочного слоя на входе в рабочую зону волокна по формуле

$$h_0 = \frac{6\eta\vartheta}{\sigma_w \tan\alpha}, \quad (3)$$

где η – динамическая вязкость смазки, $\text{Нс}/\text{м}^2$;
 ϑ – скорость волочения, $\text{м}/\text{с}$;
 σ_w – среднее значение предела текучести стали, МПа ;
 α – полуугол рабочего конуса волокна, рад .

Для перевода кинематической вязкости в динамическую по паспорту EXTRUDOIL 702F определена

плотность материала при температуре 15°C $\rho = 0,936$ $\text{г}/\text{см}^3$, динамическая вязкость $\eta = U\rho = 0,0765$ $\text{Па}\cdot\text{с}$.

На рис. 6 представлен график изменения толщины смазочной пленки от скорости калибрования и для полууглов рабочего конуса волокна $\alpha=6^\circ$ и $\alpha=8^\circ$ по формуле (3) толщина смазочной пленки линейно увеличивается с повышением скорости калибрования.

Расчет по формуле (3) не учитывает, что увеличение скорости калибрования повышает температуру в зоне деформации и влияет на свойства смазочного материала. Также не учитывается величина нормальных напряжений P между металлом и волоком.

На рис. 7 представлена зависимость толщины смазочной пленки от скорости, вязкости смазочного материала и нормальных напряжений P между металлом и волоком [6]. График показывает значительное увеличение толщины смазочной пленки при достижении определенного значения величины $\frac{\eta v}{P}$, где η – вязкость смазки, v – скорость калибрования, P – нормальное напряжение между металлом и волоком.

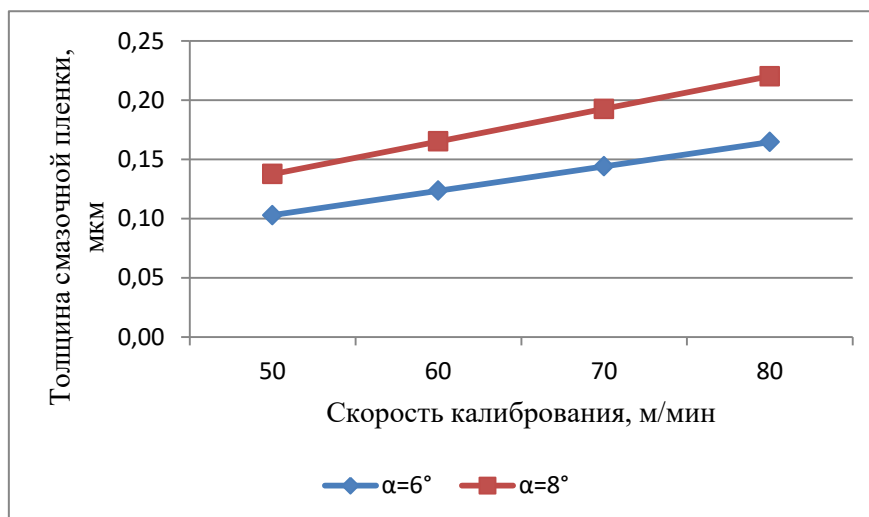


Рис. 6. Зависимость толщины смазочной пленки от скорости калибрования и полуугла рабочего конуса волокна α

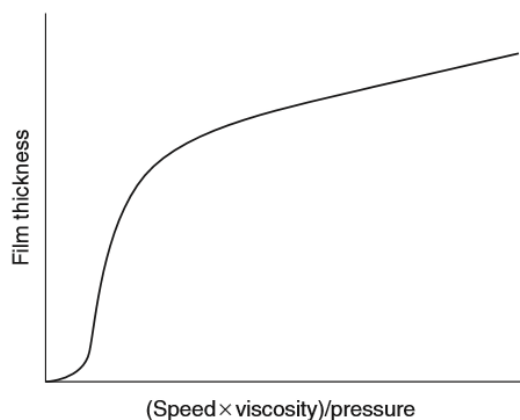


Рис. 7. Зависимость толщины смазочной пленки от скорости, вязкости смазочного материала и нормальных напряжений между металлом и волоком

Важной особенностью процесса производства калиброванного проката являются невысокие, по сравнению с процессами волочения проволоки, скорости волочения – до 80 м/мин. При обработке на таких скоростях ухудшается подача смазочного материала в контактную зону между волокой и металлом [10, 11]. Значительное повышение величины нормальных напряжений P между металлом и волокой приводит к снижению толщины слоя смазочной пленки в очаге деформации и негативным образом отражается на стабильности процесса волочения. Поэтому увеличивать толщину смазочной пленки следует путем снижения величины нормальных напряжений: рекомендуется назначать величину «эффективной длины» зоны контакта $L_{эф}$ не более 50% при обязательном контроле энергосиловых параметров волочения и качества изготовления инструмента.

Выводы

В ходе работы проанализированы режимы волочения, назначаемые на линиях CDS 300/80 и DB 800/40 на ОАО «Магнитогорский метизнокалибровочный завод «ММК-МЕТИЗ» и получены зависимости для выбора геометрии волок по ГОСТ 9453-75 с учетом показателя «эффективной длины» зоны деформации $L_{эф}$ и абсолютных обжатий. Графики, построенные по результатам расчетов, позволяют выбрать форму волоки и назначить величину абсолютных обжатий для волочения проката круглого сечения с учетом показателя «эффективной длины» зоны деформации $L_{эф} = 30-50\%$ и условий смазывания при подготовке поверхности металла к волочению дробеметной обработкой.

Список источников

1. Совершенствование производства калиброванной стали на основе мониторинга деформационных и энергосиловых режимов обработки / А.Г. Корчунов, В.Н. Лебедев, Б.А. Коломиец, К.Г. Пивоварова, А.В. Лысенин // Горный журнал. Черные металлы. 2012. Специальный выпуск. С. 71-74.
2. Жуков Д.В., Статных И.Е. Удаление окалины с поверхности горячекатаного проката перед волочением // Сталь. № 1. 2021. С. 36-38.
3. Gillstrom P., Jarl M. Replacement of pickling with shot blasting for wire rod preparation // Scandi-navian Journal of Metallurgy. 2004. Vol.33. P. 269–278.
4. ГОСТ 9453-75. Волоки-заготовки из твердых спеченных сплавов для волочения проволоки и прутков круглого сечения.
5. Харитонов В.А., Галлямов Д.Э. Производство пружинной проволоки: учеб. пособие. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. 151 с.
6. Roger N. Wright. Wire Technology: Process Engineering and Metallurgy. Jan 21, 2016.
7. Стальная проволока: монография / Х.Н. Белалов, А.А. Клековкин, Н.А. Клековкина, Г.С. Гун, А.Г. Корчунов, М.А. Полякова. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2011. 689 с.
8. Корчунов А.Г., Решетникова Е.С. Исследование точности геометрии волок с помощью 3D-сканирования // Механическое оборудование металлургических заводов. 2021. №2. С. 9-13
9. Gillstrom P., Jarl M. Wear of die after drawing of pickled or reverse bent wire rod. Wear, 262, 858–867, (2007).
10. Контактное трение в процессах обработки металлов давлением / А.Н. Леванов, В.Л. Колмогоров [и др.] М.: Металлургия, 1976. 416 с.
11. Мазур В.Л., Гончаров Ю.В. Особенности развития микрорельефа поверхности металла при волочении // Металлы. №6. 1991. С. 59-66.

Сведения об авторах

Корчунов Алексей Георгиевич – доктор технических наук, профессор кафедры проектирования и эксплуатации металлургических машин и оборудования, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия. E-mail: international@magtu.ru

Решетникова Елена Сергеевна – кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования и эксплуатации металлургических машин и оборудования ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия. E-mail: elenresh74@gmail.com

Зайцева Мария Владимировна – главный специалист Технологического центра ОАО «ММК-МЕТИЗ», г. Магнитогорск, Россия.

Носов Андрей Николаевич – ведущий инженер Управления по производству ОАО «ММК-МЕТИЗ», г. Магнитогорск, Россия.

Исхакова Асия Михайловна – инженер-технолог Технологического центра ОАО «ММК-МЕТИЗ», г. Магнитогорск, Россия.

ANALYSIS OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE STRUCTURE OF DEFORMATION ZONE AND LUBRICATION CONDITIONS DURING COLD DRAWING

Korchunov Alexey G. – DrSc (Eng.), professor of chair Design and exploitation metal mashing and equipment Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: international@magtu.ru

Reshetnikova Elena S. – PhD (Eng.), associate professor of chair Design and exploitation metal mashing and equipment Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: elenresh74@gmail.com

Zaytseva Maria V. – chief specialist of the Technology Center of MMK-METIZ, Magnitogorsk, Russia.

Nosov Andrey N. – leading engineer of the Production Department of MMK-METIZ, Magnitogorsk, Russia.

Ishakova Asia M. – engineer-technologist of the Technological Center of MMK-METIZ, Magnitogorsk, Russia.

Abstracts. The process of drawing calibrated rolled products, taking into account the peculiarities of the state of the surface layer after shot blasting, used as surface preparation on new high-tech lines, requires studying the relationship between the structure of the deformation focus and lubrication conditions. The article presents recommendations on the choice of drawing geometry and the purpose of absolute compression when drawing round-section rolled products on the CDS 300/80 and DB 800/40 lines of EJP company, commissioned at the Magnitogorsk Hardware and Calibration Plant MMK-METIZ. To study the lubrication conditions, the indicator of the "effective length" of the metal contact with the fiber was used, which allows us to estimate the size of the lubricating wedge during drawing. The results of the operation of portages with different geometries, taking into account the lubricants used, are presented. The relevance of the work is due to the replacement of the traditional method of preparing the rolled surface with metal processing with shot.

Keywords: shot-blasting, surface, cold drawing, deformation zone, gauged bars, lubricant

Ссылка на статью:

Анализ взаимосвязи строения очага деформации и условий смазывания при волочении калиброванного проката / А.Г. Корчунов, Е.С. Решетникова, М.В. Зайцева, А.Н. Носов, А.М. Исхакова // Теория и технология металлургического производства. 2022. №3(42). С. 24-30.
Korchunov A.G., Reshetnikova E.S., Zaytseva M.V., Nosov A.N., Ishakova A.M. Analysis of the relationship between the structure of deformation zone and lubrication conditions during cold drawing. *Teoria i tehnologiya metallurgicheskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2022, vol. 42, no. 3, pp. 24-30.