

ВИДЫ ИНСТРУМЕНТА ПРОКАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА И МЕТОДИК ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПОДОБНОГО ИНСТРУМЕНТА

П.В. Бурков

pvburkov@student.bmstu.ru

SPIN-код: 1651-9346

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Работа посвящена обзору типов прокатки, прокатных станов и соответствующего инструмента, а также обзору существующих методик проектирования прокатных станов и инструмента. Представлены основные разновидности металлопроката: сортовой, трубный, листовой, специальный; рассмотрены их ключевые свойства. Более подробно описаны виды листового и специального металлопроката. Дана краткая классификация разновидностей технологии прокатки, прокатных станов и основного прокатного инструмента — валков. Отмечается, что геометрическая форма валков и, как следствие, сложность их проектирования, зависит от сложности желаемого профиля, а наиболее сложные профили возможно получить на профилегибочных станах. Представлен краткий обзор рынка программных средств, позволяющих решать задачу проектирования прокатных и профилегибочных станов и соответствующего инструмента. Рассмотрены различные методики проектирования инструмента прокатки и профилегибки, подтверждающие актуальность задач в указанной области.

Ключевые слова

Металлопрокат, профнастил, прокатка, прокатный стан, профилегибка, профилегибочный стан, валки, система автоматизированного проектирования (САПР)

Поступила в редакцию 04.05.2020

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020

Разновидности металлопроката. На протяжении всей своей истории человек изучает и развивает разновидности материалов и способов изготовления из них необходимых ему изделий, которые впоследствии применяются во всех видах деятельности. Среди используемых материалов большую долю занимают металлы и сплавы. В зависимости от способа обработки металл может проявлять разные свойства, но основные остаются неизменными: прочность и долговечность. Благодаря этим свойствам металлы применяются в большом количестве отраслей народного хозяйства, в том числе в тех отраслях, где изделия подвергаются большим нагрузкам (все виды машиностроения: авиа-, судо-, автомобиле-, ракетостроение и т. п.).

Сегодня во всем мире металлургия является локомотивом для научно-технического прогресса, а металлургические комплексы стран могут насчитывать сотни и тысячи предприятий и обеспечивают работой миллионы людей.

Такие комплексы представляют собой совокупность взаимосвязанных отраслей и стадий производственного процесса от добычи сырья и до выпуска готовой металлургической продукции. К примеру, металлургический комплекс России включает в себя около 3 тысяч предприятий, из которых 330 предприятий непосредственно производят металлопродукцию [1].

Из всего спектра металлопродукции выделяется металлопрокат, который в большинстве случаев является непосредственным конечным продуктом металлургического производства. Классификация металлопроката насчитывает четыре основные разновидности:

- сортовой (является наиболее распространенным видом проката и основным видом выпускаемой продукции на крупнейших металлургических предприятиях России — Новолипецкий металлургический комбинат, Магнитогорский металлургический комбинат, «Северсталь» и пр.);
- трубный (вместе с сортовым прокатом занимает большую часть мирового рынка металлопродукции);
- листовой;
- специальный (разновидность листового проката).

Сортовой металлопрокат подразделяется на простой (круглый, квадратный, штрипсовый) и фасонный (угловый, тавровый и двутавровый, рельсовый и пр.) в зависимости от геометрической формы поперечного сечения. Также существует классификация по размеру профиля: различают крупно-, средне- и мелкосортную сталь, катанку и проволоку. Сортовой прокат применяется для производства различных деталей машин, строительных и прочих металлоконструкций [1].

Трубный металлопрокат находит свое применение не только в нефте- и газодобывающих отраслях, которые являются в немалой степени определяющими для современной российской экономики, но и в области жилищно-коммунального хозяйства (различные бытовые газопроводы и водопроводы), а также в машиностроении (автомобили, авиационная и ракетно-космическая техника).

Листовой металлопрокат в зависимости от способа получения классифицируется следующим образом: горячекатаный толстолистовой (толщина более 4 мм), горячекатаный тонколистовой (1,5...3,9 мм) и холоднокатаный (0,7...3,9 мм). Такие листы используются для производства кузовов автомобилей, корабельных корпусов и деталей фюзеляжа и крыльев самолетов. Также существуют разновидности тонколистового проката толщиной 0,2...0,5 мм (жесть для консервных банок и иной металлической тары) и 0,001...0,2 мм (фольга для упаковки фармацевтической и пищевой продукции) [1].

Специальный металлопрокат представляет собой особые заготовки машиностроительных деталей (их еще называют прецизионными или точными), например заготовки для валов, осей, шестерен, звездочек, колес для железнодорожного транспорта. Также к специальному металлопрокату относятся рифленные, гофрированные и просечно-вытяжные листы, гнутые профили. Рифленный

лист используется для создания напольных покрытий, ступеней и других конструкций во избежание травм на производстве и в иных местах. Просечно-вытяжной лист, или просечка (изготавливается из стали толщиной 0,7...6,0 мм), применяется для изготовления настилов, ступеней лестниц, декоративных ограждений и прочих строительно-отделочных нужд [1].

Гофрированный лист, иначе именуемый профилированным настилом, или профнастилом, является одним из наиболее популярных отделочных материалов в современном строительстве, используется повсеместно для отделки кровли, изготовления заборов и облицовки различных зданий и сооружений. Гофролист обычно изготавливается из стали толщиной 0,4...0,5 мм, имеет эстетичный вид и удобен в применении, а изделия из гофролиста (например, кровля) обладают хорошими качествами — высокой прочностью, огнестойкостью, устойчивостью к различным внешним воздействиям (погодным условиям и пр.) [1].

В настоящее время все более широкое применение находят изделия в виде тонкостенных профилей различного сечения, называемых также гнутыми профилями прокатами. Такие профили являются высокоэкономичным видом металлопродукции. Они изготавливаются методом непрерывного профилирования (формоизменения) листового металла на профилегибочных агрегатах разных типов. Во многих случаях гнутые профили являются готовыми к применению деталями и изделиями, не требующими дополнительной обработки. При их рациональном использовании в условиях снижения норм расхода металла сокращаются или полностью устраняются трудозатраты на сварку, сборку или монтаж итоговых конструкций [2].

Прокатные, профилегибочные станы и инструменты прокатного и профилегибочного производства. Прокатное производство — завершающий этап всего металлургического цикла, поэтому нередко прокатные цехи входят в состав крупных металлургических комплексов (например, Магнитогорский металлургический комбинат). Чаще всего это цехи горячей прокатки для получения толстостенных профилей и сортового проката. В цехах холодной прокатки обрабатывают заготовки меньших размеров по сравнению с цехами горячей прокатки, что отражается на размерах прокатного оборудования (профилегибочные станы для холодной прокатки гораздо компактнее и мобильнее).

Вне зависимости от типа прокатки современный прокатный стан представляет собой комплекс машин и механизмов, предназначенный для формообразования металла и его дальнейшей обработки (обточка, шлифование, резка и прочие операции). Как следствие, состав оборудования прокатного стана достаточно обширный, оно подразделяется на основное и вспомогательное оборудование. Основное оборудование прокатного стана предназначено для выполнения главной операции — получения необходимого металлического профиля с помощью деформации металла между вращающимися валками [1]. В число инструментов основного оборудования прокатного стана входят главные приводы и рабочие клетки, в составе которых присутствуют непосредственно валки. Для листопркатных станов (как горячих, так и холодных) набор валков имеет

наибольшую важность: в частности, одним из основных характеристических показателей для подобных станов является длина бочки рабочих валков.

Отметим, что способ прокатки влияет на качество конечной продукции. Так, холоднокатаный лист имеет чистую поверхность, более точные геометрические размеры, лучшую плоскостность и более высокие механические свойства, чем горячекатаный лист [1]. Кроме того, метод холодного профилирования в валках, используемый для массового получения трубчатых и фасонных профилей при вторичной обработке листового металла, как правило, является более экономичным, чем горячая прокатка, прессование или штамповка [2].

Инструменты и методики проектирования инструмента прокатного и профилигибочного производства. Для получения проката высокого качества необходим соответствующий инструмент — в данном случае хорошо спроектированный и качественно изготовленный набор валков. Это касается в первую очередь листового проката: разнообразие сложных форм и размеров поперечного сечения усложняет унификацию оборудования, для каждого сложного профиля приходится проектировать набор инструментов для профилигибочного стана практически с нуля. От сложности конфигурации изготавливаемого профиля и его размеров, от требуемых допусков на размеры, от соотношения ширины и длины исходной заготовки и отдельных участков профиля, от механических свойств материала, требуемых радиусов закругления мест изгиба, допускаемого утонения заготовки и характеристики профилигибочного оборудования в конечном счете зависит длина прокатного стана и количество выполняемых технологических операций, равное числу пар валков [2]. Видно, что чем сложнее профиль, тем сложнее спроектировать и по возможности оптимизировать набор валков для изготовления такого профиля. По этой причине задача проектирования основного инструмента профилигибочного стана является вполне актуальной, а для решения этой задачи уже были внедрены и продолжают разрабатываться новые методики проектирования.

Для первых профилигибочных станов наборы валков проектировались вручную, что сильно усложняло верификацию полученных изделий, а сам процесс проектирования был достаточно долгим. Тем не менее уже в середине прошлого века были выведены основные закономерности и формулы, позволяющие вычислять основные параметры (в первую очередь геометрические размеры) валков. Эти закономерности в достаточной степени подробно изложены в научных трудах А.И. Целикова [3–4] и И.С. Тришевского [2, 5]. С появлением и постепенным распространением электронно-вычислительных машин появилась возможность задействовать их мощности для осуществления расчетов по методикам, предложенным указанными выше авторами. Это были первые шаги в сторону автоматизации процесса проектирования как всего прокатного или профилигибочного стана, так и инструмента для прокатки.

Со временем мощность ЭВМ возрастала, сами машины уменьшались в размерах до уровня персональных компьютеров, а самое главное — стали развиваться системы автоматизированного проектирования (как графические

системы, так и системы инженерного анализа). Графические системы позволили существенно ускорить процесс построения чертежей и выпуска готовой конструкторской и технологической документации, а системы инженерного анализа стали основными инструментами для проведения численных экспериментов с построенными моделями и, как следствие, для верификации спроектированных изделий. Эти тенденции затронули все отрасли машиностроения, включая металлургию, поэтому современное металлургическое предприятие невозможно представить без систем автоматизированного проектирования (САПР).

Однако если в машиностроении и приборостроении помимо САПР общего назначения стали активно развиваться и системы, решающие задачи частного характера, то металлургия от указанных отраслей в данном контексте несколько отстает. На сегодняшний день наиболее известное программное решение в области проектирования инструмента профилигибочного стана — система Corra RollForm. Данная система разработана немецкой компанией “Data M” в сотрудничестве с одним из крупнейших разработчиков систем автоматизированного проектирования, компанией “Autodesk”, а также с крупным разработчиком систем инженерного анализа, компанией “MSC Software”. Основные модули системы и ее достоинства были неоднократно описаны в статьях профильных журналов (например, [6–9]), сама система является наиболее часто используемым инструментом для решения указанных задач в мире. Однако стоимость одной лицензии “Corra RollForm” достигает нескольких миллионов рублей, что отпугивает немалое количество потенциальных пользователей. Отечественные решения на рынке подобных инструментов присутствуют, но занимают малую долю рынка. Наиболее известен программный комплекс Gnut, разработанный в Московском институте стали и сплавов.

На сегодняшний день большая доля предприятий, занимающихся профилигибкой и профилигибочным оборудованием, использует для решения задачи проектирования такого оборудования САПР общего назначения, при этом возможности этих САПР в полной мере не используются, не задействуются подходы к автоматизации решения этой задачи. В последние годы прокатчики и инженеры-проектировщики прокатного и профилигибочного оборудования все чаще поднимают вопрос о поисках новых подходов к проектированию, об оптимизации уже существующих методик. Так, в [10] отмечается, что разработка принципов калибровки валков (калибр – пространство, образованное двумя валками, калибровка — система последовательно расположенных калибров для получения нужного профиля) предусматривает возможность формовки профиля требуемой конфигурации, минимальный износ валков, минимальные энергозатраты и минимальную трудоемкость изготовления и настройки валков, в этой же публикации предлагается метод ранжирования принципов калибровки. В публикации [11] представлена схема автоматизированной системы формирования и управления валковым хозяйством прокатного стана. Несмотря на

то что в данном источнике рассматриваются сортовые прокатные станы, описанные принципы легко экстраполируются и на профилегибку.

В публикациях [12–13] предлагается к рассмотрению метод морфологического анализа в качестве основы для методики проектирования формующих клеток профилегибочных станов. Данный метод позволяет решить задачу проектирования рациональных конструкций профилегибочных станов для различных типов профилей. При этом один из авторов этих публикаций, Н.В. Тепин, в своей кандидатской диссертации представил методику проектирования технологического процесса профилирования в валках профилегибочного стана, позволяющую оптимизировать параметры инструмента и оборудования (упор был сделан на снижение их общей массы). Разработанная методика включает в себя методики определения максимально допустимого угла подгибки профиля, определения энергосиловых параметров процесса профилирования и оптимизации количества рабочих клеток, диаметра валков и межклетевого расстояния [14].

В свою очередь, С.В. Поворов в своих работах отмечает: поскольку сложность геометрической формы профиля и количество промежуточных стадий формообразования часто бывают достаточно велики, то актуальным является вопрос автоматизации процесса выполнения этих расчетов. Методика, предложенная С.В. Поворовым, включает в себя описание поперечного сечения заготовки системой уравнений, благодаря чему возможно графическое построение этих элементов как графиков функций, что ускоряет процесс графического построения и автоматизирует его. Также описание профильной линии математическим уравнением открывает возможность для дальнейшего математического исследования этой кривой: определения центра масс, моментов инерции сечения, секториальных характеристик и пр., что может вывести на постановку соответствующих оптимизационных задач. Данная методика описана в работах [15–17].

Заключение. Прокатное производство является важной отраслью, имеющей непосредственное влияние на различные отрасли машиностроения и народного хозяйства. Среди всех видов прокатки особо выделяются листовой и специальный прокат, такие изделия все чаще применяются в автомобиле-, авиа-, судо-, ракетостроении, а также в строительстве. Средства автоматизации проектирования внедряются в прокатке и профилегибке не так активно, как в других отраслях машиностроения, а рынок специализированных САПР практически пуст.

В настоящее время представлено всего несколько программных комплексов, которые обладают либо высокой стоимостью, либо недостаточной функциональностью; при этом готовых российских решений на рынке чрезвычайно мало. Тем не менее потребность в профилях разнообразных форм приводит к немалым затратам на проектирование и производство прокатных и профилегибочных станов. Известные еще с прошлого века методики проектирования прокатных, профилегибочных станов и соответствующего инструмента не могут в полной мере лечь в основу автоматизированных решений. В связи с

этим в последние годы активизировались работы по разработке новых методик проектирования, среди которых выделяются работы Н.В. Тепина (ИжГТУ им. М.Т. Калашникова) и С.В. Поворова (МГТУ им. Н.Э. Баумана). Задачи, связанные с автоматизацией проектирования в области прокатки и профилировки, продолжают быть актуальными и на сегодняшний день.

Литература

- [1] Колесников А.Г., Яковлев Р.А., Мальцев А.А. Технологическое оборудование прокатного производства. М., Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014.
- [2] Тришевский И.С., Докторов М.Е. Теоретические основы процесса профилирования. М., Металлургия, 1980.
- [3] Целиков А.И., Никитин Г.С., Рокотян С.Е. Теория продольной прокатки. М., Металлургия, 1980.
- [4] Зюзин В.И., Третьяков А.В., ред. Теория прокатки. М., Металлургия, 1982.
- [5] Тришевский И.С., ред. Калибровка валков для производства гнутых профилей проката. Киев, Техніка, 1980.
- [6] Серавкин А. COPRA Rollform — проектирование роликовой оснастки и оптимизация холодного проката профилей, труб и профнастилов. Часть 1. Открытые и асимметричные сечения. *САПР и графика*, 2004, № 1. URL: <https://sapr.ru/article/6749>
- [7] Серавкин А. COPRA Rollform — проектирование роликовой оснастки и оптимизация холодного проката профилей, труб и профнастилов. Часть 2. Производство профнастилов. *САПР и графика*, 2004, № 4. URL: <https://sapr.ru/article/7176>
- [8] Серавкин А. Комплексная автоматизация проектирования, изготовления, контроля и сопровождения оснастки для производства холоднокатаных труб и специальных профилей. *САПР и графика*, 2005, № 1. URL: <https://sapr.ru/article/6776>
- [9] Скрипкин А. Будущее в области контроля геометрии гнутых профилей. *САПР и графика*, 2013, № 12. URL: <https://sapr.ru/article/24309>
- [10] Шемшурова Н.Г., Корнилов В.Л., Антипанов В.Г. Совершенствование калибровок валков профилигибочных станов. *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*, 2015, № 3, с. 58–63.
- [11] Дубинский Ф.С., Выдрин А.В., Черных И.Н. Системный подход проектирования и управления валковым хозяйством сортовых прокатных станов. *Вестник ЮУрГУ. Серия: Металлургия*, 2012, № 15(274), с. 142–145.
- [12] Шеногин В.П., Тепин Н.В. Системный подход при проектировании прокатных клетей. *Интеллектуальные системы в производстве*, 2012, № 2(20), с. 76–80.
- [13] Шеногин В.П., Тепин Н.В. Методика проектирования профилигибочных клетей. *Интеллектуальные системы в производстве*, 2012, № 2(20), с. 66–68.
- [14] Тепин Н.В. Совершенствование технологии и оборудования для производства гнутых профилей. Автореф. дисс. ... канд. тех. наук. Ижевск, Ижев. гос. техн. ун-т., 2006.
- [15] Поворов С.В. Расчет размеров профиля листовой заготовки в промежуточных переходах при формовке в роликах по заданным режимам. *Заготовительные производства в машиностроении*, 2016, № 12, с. 27–32.

- [16] Поворов С.В. Способ расчёта размеров поперечного сечения листовой заготовки в промежуточных переходах при осуществлении процесса формовки в роликах. *Калибровочное бюро*, 2018, № 12, с. 41–50.
- [17] Поворов С.В., Комкова О.Е., Косовская Д.В. Математическое описание контура поперечного сечения профиля, получаемого методом формовки в роликах из листовой заготовки. *Технологии разработки и отладки сложных технических систем. Сб. тр. V Всерос. науч.-тех. конф.* М., Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018, с. 106–112.

Бурков Павел Викторович — аспирант кафедры «Системы автоматизированного проектирования», МГТУ имени Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Волосатова Тамара Михайловна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Системы автоматизированного проектирования», МГТУ имени Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Бурков П.В. Виды инструмента прокатного производства и методик проектирования подобного инструмента. *Политехнический молодежный журнал*, 2020, № 05(46). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2020-05-609>

TYPES OF TOOLS FOR ROLLING PRODUCTION AND DESIGN TECHNIQUES FOR SUCH A TOOL

P.V. Burkov

pvburkov@student.bmstu.ru

SPIN-code: 1651-9346

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The work is devoted to a review of rolling types, rolling mills and the corresponding tool, as well as a review of existing design techniques for rolling mills and tools. The main types of metal rolling are presented: bar, pipe, sheet, special; their key properties are considered. The types of sheet and special metal rolling are described in more detail. A brief classification of the varieties of rolling technology, rolling mills and the main rolling tool — rolls is given. It is noted that the geometric shape of the rolls and the complexity of their design depends on the complexity of the desired profile, and the most complex profiles can be obtained on roll forming mills. A brief overview of the software market is presented, allowing to solve the problem of designing rolling and roll forming mills and the corresponding tool. Various methods of designing a rolling tool and roll forming are considered, confirming the relevance of tasks in this area.

Keywords

Metal rolling, corrugated board, rolling, rolling mill, roll forming, roll forming mill, rolls, CAD system

Received 04.05.2020

© Bauman Moscow State Technical University, 2020

References

- [1] Kolesnikov A.G., Yakovlev R.A., Mal'tsev A.A. Tekhnologicheskoe oborudovanie prokatnogo proizvodstva [Technological equipment of rolling-mill industry]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2014 (in Russ.).
- [2] Trishevskiy I.S., Doktorov M.E. Teoreticheskie osnovy protsessa profilirovaniya [Theoretical fundamentals of forming process]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1980 (in Russ.).
- [3] Tselikov A.I., Nikitin G.S., Rokotyay S.E. Teoriya prodol'noy prokatki [Theory of longitudinal rolling]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1980 (in Russ.).
- [4] Zyuzin V.I., Tret'yakov A.V., eds. Teoriya prokatki [Rolling theory]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1982 (in Russ.).
- [5] Trishevskiy I.S., ed. Kalibrovka valkov dlya proizvodstva gnutykh profiley prokata [Roll grooving for production of rolled-formed sections]. Kiev, Tekhnika Publ., 1980 (in Russ.).
- [6] Seravkin A. COPRA Rollform — design of roll equipment and optimization of cold rolling for profiles, pipes and sheeting. P. 1. Open and asymmetrical cross-sections. *SAPR i grafika*, 2004, no. 1. URL: <https://sapr.ru/article/6749> (in Russ.).
- [7] Seravkin A. COPRA Rollform — design of roll equipment and optimization of cold rolling for profiles, pipes and sheeting. P. 2. Production of sheeting. *SAPR i grafika*, 2004, no. 4. URL: <https://sapr.ru/article/7176> (in Russ.).

-
- [8] Seravkin A. Complex automation of design, production, control and maintenance of equipment for manufacturing cold-rolled pipes and special profiles. *SAPR i grafika*, 2005, no. 1. URL: <https://sapr.ru/article/6776> (in Russ.).
- [9] Skripkin A. Future in field of control on geometry of rolled-formed section. *SAPR i grafika*, 2013, no. 12. URL: <https://sapr.ru/article/24309> (in Russ.).
- [10] Shemshurova N.G., Kornilov V.L., Antipanov V.G. Improving the roll pass design of roll forming mills. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2015, no. 3, pp. 58–63 (in Russ.).
- [11] Dubinskiy F.S., Vydrin A.V., Chernykh I.N. The system approach in designing and management of roll stock of section mills. *Vestnik YuUrGU. Seriya: Metallurgiya* [Bulletin of the South Ural State University. Series 'Metallurgy'], 2012, no. 15(274), pp. 142–145 (in Russ.).
- [12] Shenogin V.P., Tepin N.V. System approach to design of rolling stands. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve* [Intelligent Systems in Manufacturing], 2012, no. 2(20), pp. 76–80 (in Russ.).
- [13] Shenogin V.P., Tepin N.V. Method of designing the roll forming stand. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve* [Intelligent Systems in Manufacturing], 2012, no. 2(20), pp. 66–68 (in Russ.).
- [14] Tepin N.V. Sovershenstvovanie tekhnologii i oborudovaniya dlya proizvodstva gnutnykh profilye. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk [Improving technology and equipment for production of rolled-formed sections. Kand. tech. sci. diss.]. Izhevsk, Izhev. gos. tekhn. un-t. Publ., 2006 (in Russ.).
- [15] Povorov S.V. Calculation of dimensions of cross section of sheet metal in intermediate transitions during roll forming process according to specified modes. *Zagotovitel'nye proizvodstva v mashinostroenii*, 2016, no. 12, pp. 27–32 (in Russ.).
- [16] Povorov S.V. A method of calculating the cross-sectional dimensions of a sheetblank in the intermediate stages of the roller forming process. *Kalibrovochnoe byuro*, 2018, no. 12, pp. 41–50 (in Russ.).
- [17] Povorov S.V., Komkova O.E., Kosovskaya D.V. [Mathematical description of cross-section outline achieved by molding in rolls from a sheet bar]. *Tekhnologii razrabotki i otladki slozhnykh tekhnicheskikh sistem. Sb. tr. V Vseros. nauch.-tekh. konf.* [Technology of development and adjusting of complex technical systems. Proc. V Russ. Sci.-Tech. Conf.]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2018, pp. 106–112 (in Russ.).

Burkov P.V. — PhD Student, Department of Computer-Aided Design Systems, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — Volosatova T.M., Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor., Department of Computer-Aided Design Systems, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Please cite this article in English as:

Burkov P.V. Types of tools for rolling production and design techniques for such a tool. *Politekhnikheskiy molodezhnyy zhurnal* [Politechnical student journal], 2020, no. 05(46). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2020-05-609.html> (in Russ.).