

УДК 621.774.353

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ЗАГОТОВОК ДЛЯ КОЛЕЦ ПОДШИПНИКОВ ПОПЕРЕЧНО-ВИНТОВОЙ ПРОКАТКОЙ

Диана Дмитриевна Левина

*Магистр 1 года,
кафедра «Оборудование и технологии прокатки»,
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Т.Ю. Комкова,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Оборудование и технологии прокатки»*

Вопрос производства заготовок под подшипники качения был и остается весьма актуальной проблемой.

Подшипники - это технические устройства, являющиеся частью опор вращающихся осей и валов. Они воспринимают радиальные и осевые нагрузки, приложенные к валу или оси, и передают их на раму, корпус или иные части конструкции. При этом они должны также удерживать вал в пространстве, обеспечивать вращение, качение или линейное перемещение с минимальными потерями энергии. От качества подшипников в значительной мере зависит коэффициент полезного действия, работоспособность и долговечность машины. Поскольку сам подшипник состоит из отдельных конструктивных деталей — колец, тел качения (шариков или роликов), сепаратора, заклепок, защитной шайбы — то и его производство включает в себя ряд отдельных технологических процессов по изготовлению всех составляющих, дополнительных работ по испытанию качества собранного изделия, маркировки, смазки и упаковки.

В данной работе рассматривается выбор способа получения заготовок под кольца подшипников качения. В зависимости от геометрических параметров колец возможно применение тех или иных технологий. Т.к. к подшипникам предъявляются повышенные требования к прочности и точности, то выбор технологии получения заготовки имеет очень серьезное значение.

Можно выделить несколько основных направления производства заготовок для колец подшипников:

- 1) формирование заготовок из цельного отрезка прутка штамповкой (малые и средние размеры) или ковкой (для колец больших размеров) на прессовом оборудовании с припуском под токарную обработку;
- 2) деформация отлитого полого цилиндра в трехвалковом стане винтовой прокатки с сужением внутреннего отверстия заготовки до диаметра, равного 0,2...0,8 диаметра отверстия, редуцируемого на прошивном стане;
- 3) прокатка на деталяпрокатных станах (станы поперечно-винтовой прокатки для раскатки колец)
- 4) прокатка на станах ХПТ.

При получении бесшовных труб на станах горячей прокатки с последующей прошивкой имеет место низкое качество дорожек качения наружных колец подшипников, т.к. при прошивке на прошивном стане центральная ликвационная зона переходит на внутренние стенки трубной заготовки [4].

Недостатками некоторых конструкций кольцепрокатных станов раскатки колец подшипников являются большие затраты по времени на смену валков и низкая точность центрирования прокатываемых колец, сказывающаяся на качестве подшипников [2]. Кроме того, для других станов имеет место разброс размеров диаметра остывших прокатных колец [3].

Можно сказать, что основным недостатком кольцепрокатных станов является низкое качество прокатанных колец.

Процесс холодной прокатки труб на станах ХПТ, из которых в дальнейшем получают заготовки под кольца подшипников качения, является дорогостоящим и трудоемким процессом, требует больших затрат парка инструментов и капиталовложений.

Поэтому поиск новых экономичных решений по освоению или модернизации способов получения заготовок под кольца подшипников малого диаметра (от 20 до 50 мм) с тонкими стенками, представляет большой интерес.

Как уже упоминалось, одним из способов получения подшипниковых труб является холодная периодическая прокатка труб на станах ХПТ. Такие трубы выпускаются из стали марок ШХ15, ШХ15СГ и их модификаций. Требования, предъявляемые к холоднодеформированным подшипниковым трубам, приведены в таблице 1.

Таблица 1. Требования, предъявляемые к холоднодеформированным подшипниковым трубам по ГОСТ 800-78

Показатель	Значение показателя по ГОСТ 800-78
Наружный диаметр	20 – 90 мм
Предельные отклонения по наружному диаметру: а) при диаметре от 20 до 60 мм включ. б) при диаметре от 60 до 90 мм включ.	+ 0,4 мм + 0,5 мм
Предельные отклонения по толщине стенки труб	12 %
Овальность и огранка по наружному профилю: а) при диаметре от 20 до 60 мм включ. б) при диаметре от 60 до 90 мм включ.	0,32 мм 0,4 мм
Волнистость наружной поверхности на длине волны 300 мм	0,3 мм
Кривизна труб на 1 м длины	1 мм
Твердость термообработанных труб	255 – 207 НВ
Макроструктура труб	должны отсутствовать трещины, плен и закатов
Микроструктура труб	мелкозернистый перлит с равномерно распределенными карбидами

Холоднодеформированные подшипниковые трубы диаметром 30 – 80 мм обычно получают прокаткой на стане ХПТ, где толщину стенки труб изменяют путем плавного перемещения оправки в осевом направлении. Изменение диаметра при прокатке в данных калибрах без смены инструмента возможно путем регулирования зазора между валками всего лишь на 0,5 – 1 мм. Если же мы хотим получить большие величины, то требуется переходить на другие калибры. Это влечет за собой дополнительные затраты времени на перевалку и затраты средств на новые калибры, к тому же станы ХПТ требуют очень точной настройки, что, при частых переналадках, также влечет за собой большие затраты времени.

На кафедре «Оборудование и технологии прокатки» Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана совместно с АХК «ВНИИМЕТМАШ» был предложен новый способ получения заготовок под кольца подшипников качения. Было предложено после получения трубы определенного диаметра и толщины стенки прокаткой в стане ХПТ, применить поперечно-винтовую прокатку, где путем быстрой перенастройки возможно получить из заготовки одного размера, трубы с необходимой дробностью размеров по диаметру.

Процесс безоправочной холодной поперечно-винтовой прокатки позволяет значительно упростить технологический процесс производства подшипниковых труб и при этом изготавливать точные заготовки высокого качества. Экспериментальные исследования показали, что при прокатке в стане ХПТ формируется продольная текстура металла и в том случае, когда далее деформация происходит в клети поперечно-винтовой прокатки, текстура металла возвращается к первоначальному состоянию, т.е. становится практически равноосной. Также было установлено, что при использовании поперечно-винтовой прокатки после ХПТ труба имеет минимальные остаточные напряжения, что позволяет исключить дальнейшую термообработку перед обработкой резанием.

Реализовать этот процесс было предложено с использованием стана поперечно-винтовой прокатки с планетарно-дифференциальным приводом валков, разработанного на кафедре «Оборудование и технологии прокатки» МГТУ им. Н.Э. Баумана вместе с АХК ВНИИМЕТМАШ и Трубным институтом (г. Днепропетровск) [1]. Конструкция стана приведена на рисунке 1.

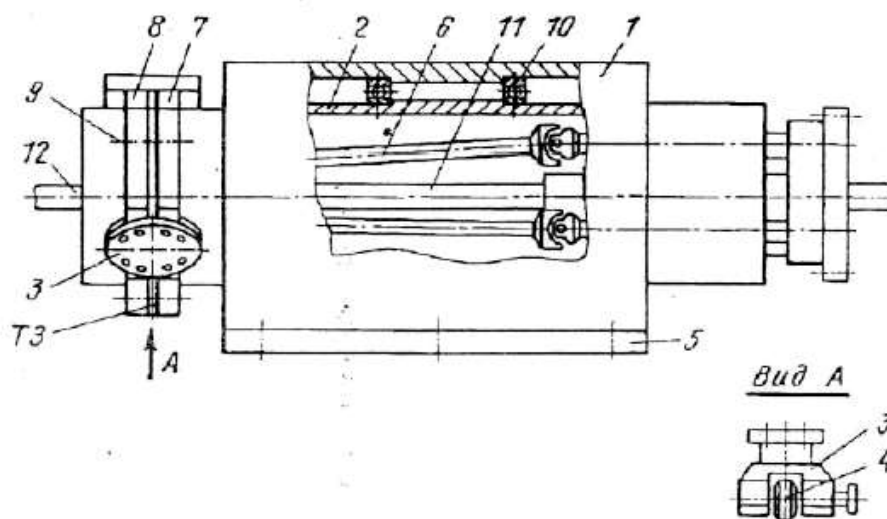


Рис. 1. Стан поперечно-винтовой прокатки с планетарно дифференциальным приводом валков.

1 – общий вид стана; 2 – корпус; 3 – пиноли; 4 – прокатные валки; 5 – основание стана; 6 – универсальные шпиндели; 7 – утолщенный фланец; 8 – торцевая крышка; 9 – натяжные шпильки; 10 – подшипники качения; 11 – проводка для выхода трубы; 12 – заготовка; ТЗ – торцевой зазор.

Допустим мы имеем уже установленное и работающее оборудование – один или несколько станов ХПТ. Предлагается на этом же или на соседнем участке установить стан поперечно-винтовой прокатки, куда трубы будут поступать после прокатки на станах ХПТ. Данная конструкция клети поперечно-винтовой прокатки позволяет быстро изменять ее настройку на новый диаметр трубы радиальным перемещением валков. При последовательной установке станов ХПТ и поперечно-винтовой прокатки идет разделение функций получения требуемой толщины стенки и точного диаметра между этими станами. На станах ХПТ путем осевого перемещения оправки обеспечивается толщина стенки, а диаметральные размеры с высокой дробностью получаются путем безоправочного редуцирования в клетях поперечно-винтовой прокатки.

Испытания на опытно-промышленном образце подтвердили, что производительность процесса свободного редуцирования в планетарной клети больше, чем на стане ХПТ на сопоставимом сортаменте. Особо следует отметить высокое качество получаемых труб.

Как уже говорилось ранее, при производстве подшипниковых труб серьезное значение имеет их точность, так как изготовление колец подшипников из труб предполагает их

предварительную механическую обработку, которая в случае большой поперечной разностенности и овальности труб приводит к значительным потерям металла.

Для определения поперечной разностенности исходные заготовки и прокатанные трубы обмерялись толщиномером ЗОНД-1. Результаты приведены на таблице 2.

Таблица 2. Разностенность труб до и после холодного безоправочного редуцирования

Маршрут прокатки	Степень деформации	Абс. разностенность	Отн. разностенность
48 x 7,7 → 46 x 7,4 мм	4,8 %	0,62 мм / 0,51 мм	8,1 % / 7,1 %
48 x 7,7 → 45 x 7,4 мм	6,4 %	0,54 мм / 0,42 мм	7,0 % / 5,7 %
48 x 7,7 → 44 x 7,3 мм	8,71 %	0,49 мм / 0,27 мм	6,3 % / 3,7 %
48 x 7,7 → 43 x 7,2 мм	10,8 %	0,81 мм / 0,63 мм	10,5 % / 8,7 %
Примечание: в числителе – параметры исходной заготовки, в знаменателе – готовой трубы			

Как следует из таблицы 2, абсолютная разностенность готовых труб снижается на 0,11 – 0,22 мм, а относительная поперечная разностенность на 1 – 2,6 %.

Для исследования овальности труб измерения проводились на универсальном измерительном микроскопе УИМ-23 в лучах проходящего свет («теневой метод») с погрешностью измерения ± 2 мкм. Результаты измерений представлены в таблице 3.

Таблица 3. Точность труб по диаметру до и после холодного безоправочного редуцирования

Маршрут прокатки	Абс. обжатие	Максимальное отклонение	
		заготовка	труба
48 x 7,7 → 46 x 7,4 мм	2 мм	0,45 мм	0,21 мм
48 x 7,7 → 45 x 7,4 мм	3 мм	0,45 мм	0,22 мм
48 x 7,7 → 44 x 7,3 мм	4 мм	0,45 мм	0,25 мм
48 x 7,7 → 43 x 7,2 мм	5 мм	0,45 мм	0,21 мм

Анализ результатов измерений показывает, что овализация труб, получаемых холодным безоправочным редуцированием, не превышает 0,32 мм (по ГОСТ 800-78). По сравнению с овальностью заготовки готовая труба имеет более высокую точность.

Требования к подшипниковым трубам распространяются и на её кривизну. Согласно результатам замеров, кривизна трубы не превышает 0,4 – 0,6 мм на длине 1000 мм, волнистость не превышает 0,3 мм на длине 300 мм. Кроме того, в ходе поперечно-винтовой прокатки может быть устранена концевая кривизна труб, прокатанных ранее на стане ХПТ.

Также были проведены исследования для получения зависимости изменения стенки трубы от отношения диаметра к толщине стенки (d/t) при различных обжатиях стенки для дальнейшего выбора маршрутов прокатки на станах ХПТ таким образом, чтобы после дальнейшей прокатки труб в клетки поперечно-винтовой прокатки выходили готовые трубы с толщиной стенки, находящейся в пределах допусков по ГОСТ 800-78. Для исследований использовались заготовки с различным отношением d/t . Результат исследований приведен в виде зависимости средней толщины стенки трубы от отношения d/t на рисунке 2.

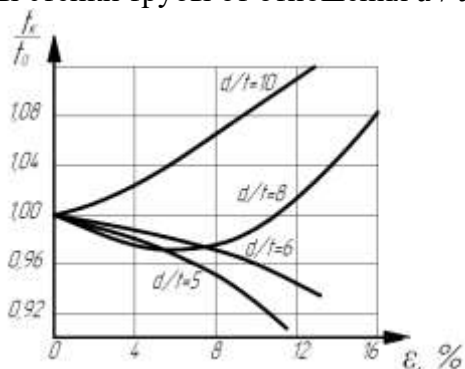


Рис. 2. Зависимость изменения средней толщины стенки трубы от отношения d/t при холодном безоправочном редуцировании

Анализ результатов показывает, что характер изменения средней толщины стенки зависит от отношения d/t . При отношениях $d/t > 10$ во всем диапазоне деформаций стенка утолщается, при $d/t < 6$ наблюдается утонение стенки также во всем диапазоне обжатий. При отношении $6 < d/t < 10$ имеет место переходный период, когда при малых обжатиях стенка утоняется, а при возрастании обжатия – утолщается.

При производстве подшипниковых труб большое значение имеет уровень их твердости и механические свойства. Поэтому были проведены исследования зависимости механических свойств подшипниковых труб от степени холодной поперечно-винтовой деформации в планетарном стане.

Для исследований использовали холоднодеформированные трубы из стали ШХ15 в двух состояниях: после рекристаллизационного отжига по традиционному режиму ($\approx 720^\circ\text{C}$) и без термической обработки непосредственно со стана ХПТ. Степень деформации в первом проходе составляла 10 – 13 %, во втором проходе 7 – 10 %. Результаты замеров твердости приведены на рисунке 3.

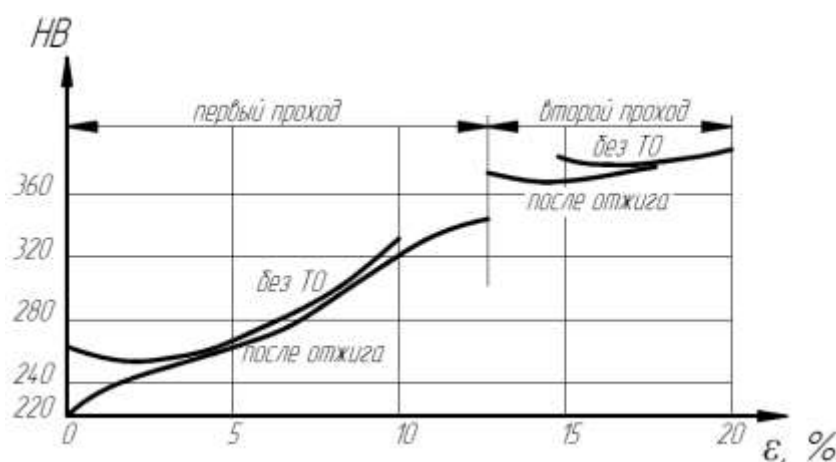


Рис. 3. Зависимость твердости трубы от степени деформации при холодном безоправочном редуцировании

Анализ кривых изменения твердости показал, что:

- абсолютный уровень твердости для заготовки, не подвергшейся термической обработке, выше, чем для отожженной заготовки во всем диапазоне деформаций. При степени редуцирования более 4 % величины твердости в обоих случаях различаются между собой на 3 – 5 единиц НВ;

- при редуцировании неотожженных труб в пределах деформаций 2 – 4 % имеет место незначительное (до 8 единиц НВ) снижение твердости металла;

- при суммарной степени деформации 18,8 % для термообработанной и для нетермообработанной заготовок уровень твердости практически одинаков и составляет 380 НВ.

Можно сказать, что абсолютный уровень прочностных характеристик для варианта с отожженной заготовкой во всем диапазоне обжатий ниже, чем при использовании неотожженной заготовки.

Экспериментально установлено, что поперечно-винтовое редуцирование труб на микроструктуру металла не влияет. На внутренней поверхности отсутствуют складки и трещины.

Как известно, одним из серьезных недостатков при производстве подшипниковых труб является овализация подшипниковых колец при отделении их от трубной заготовки из-за остаточных напряжений в прокате. Наличие остаточных напряжений в холоднодеформированных трубах является результатом неравномерности деформации в калибрах станов ХПТ при поставке труб в неотожженном состоянии и неравномерности деформации при правке термообработанных труб.

Основным способом снижения уровня остаточных напряжений в промышленности является высокотемпературный отжиг. Однако, применение последующей правки вновь приводит к появлению остаточных напряжений высокого уровня. Кроме того, операция отжига является дорогостоящей и трудоемкой, требует дополнительного расхода времени и энергии.

Эксперименты показали, что применение холодной поперечно-винтовой прокатки обеспечивает значительное снижение уровня остаточных напряжений, что наряду с прочностными характеристиками позволяет использовать трубы после холодного безоправочного редуцирования для дальнейшей обработки без предварительного отжига.

Проанализировав результаты исследований процесса холодного безоправочного редуцирования труб в клети поперечно-винтовой прокатки, можно прийти к заключению, что целесообразно промышленное применение данного способа при получении заготовок для колец подшипников малых диаметров (20 – 50 мм).

Литература

1. А. с. № 1680425. Стан поперечно-винтовой прокатки / О.В. Соколова, Н.С. Коптелкина, Т.Ю. Комкова // БИ. 1990. № 3.
2. А. с. № 2042463. Стан для раскатки колец / А.С. Тыртов, С.А. Тыртов, П.М. Финагин, Н.П. Рябихин // 1995.
3. А. с. № 650485. Кольцепрокатный стан / Густав Вирегге // 1979.
4. А. с. № 1787635. Способ изготовления подшипниковых колец / Р.М. Нуреев, Н.Д. Афанасьев, С.П. Галкин // 1993.
5. Розов Н.В. Холодная прокатка стальных труб. – М.: Металлургия, 1977. 184 с.
6. Соколова О.В., Комкова Т.Ю. Современный способ производства точных заготовок для колец подшипников // Производство проката. 2013. № 3. С. 23 – 24.