

# Создание системы гидросбива печной окалины с цилиндрических заготовок

Одним из наиболее заметных отечественных предприятий, которое осуществляет работы по модернизации оборудования на трубопрокатных производствах, является ООО «Уральский Инжиниринговый Центр» (УРИЦ). На настоящий момент это холдинг, объединяющий проектные, научно-исследовательские, производственные, ремонтные, сервисные и учебные подразделения.

Двадцатилетний опыт работы позволяет специалистам компании выполнять сложные инновационные проекты. Одним из направлений работы УРИЦ является разработка и реализация систем гидросбива печной окалины с заготовок. В частности, в 2012-2013 годах был реализован проект гидросбива печной окалины с заготовок, предназначенных для поперечно-винтовой прокатки труб на ОАО «Синарский трубопрокатный завод».

При разработке проекта было необходимо учитывать следующие особенности и требования:

- цилиндрические заготовки имеют заметную кривизну, что приводит к эксцентрическому смещению обрабатываемой поверхности в процессе движения заготовки относительно сопел для гидросбива;
- используются заготовки из различных сталей, на поверхности которых при нагреве в печах образуется различного типа окалина, поэтому для гидросбива окалины с заготовок требуются, в зависимости от ее типа, заметно отличающиеся по энергетике параметры струй.

Ввиду пожеланий заказчика исключить использование оборудования, подлежащего контролю со стороны Ростехнадзора, а также уменьшить стоимость проекта в качестве источника воды высокого давления предложено использовать безаккумуляторную насосную станцию.

В ходе предварительных оценочных технико-экономических расчетов было принято решение в качестве базового источника воды высокого давления использовать трехплунжерные насосы фирмы WOMA с номинальной подачей 267 л/мин (при  $n=1460$  об/мин) и максимальным рабочим давлением в контуре нагнетания 32 МПа. Для гидросбива окалины с заготовок из рядовых сталей достаточно исполь-

зовать четыре насоса, еще один насос (пятый) предназначен для резерва. В случае необходимости возможно использование всех пяти насосов, причем электродвигатели трех из них оснащаются устройствами для их частотного регулирования, позволяющими изменять частоту вращения двигателей от 0,5 до 1,1 от пном. Сочетание насосов, оснащенных частотным регулированием с насосами без такового, позволяет плавно регулировать параметры режима гидросбива в процессе износа напорных сопел и корректировать энергетические параметры струй. Для данной системы фирмой УРИЦ разработан оригинальный клапан гидросбива, позволяющий настраивать диапазоны времени его открытия и закрытия для предотвращения появления гидроударов в гидросистеме. Гидросхема установки гидросбива представлена на рис. 1.

Предварительный расчет по методике фирмы LECHLER позволил ориентировочно определить номинальный расход для гидросбива окалины с заготовок около 1000 л/мин и номинальное давление 30 МПа.

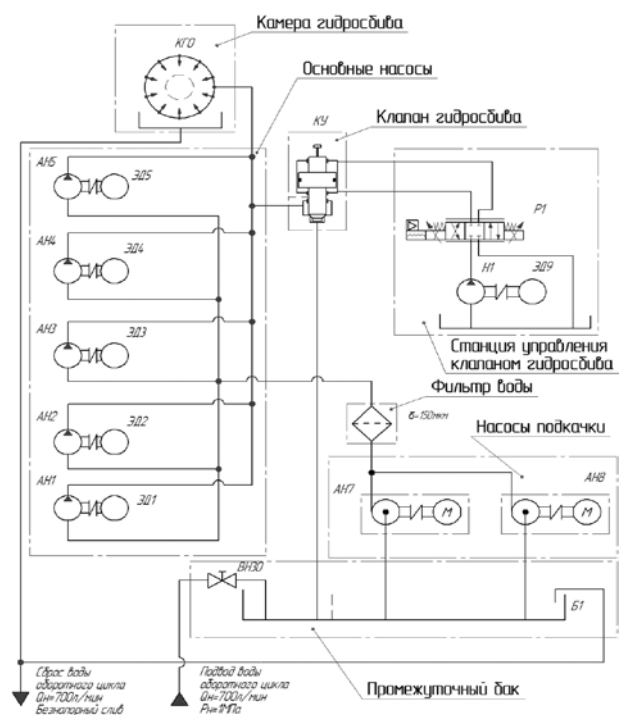


РИС. 1. Условная гидросхема установки гидросбива

Для проекта были выбраны сопла фирмы LECHLER, с которой УРИЦ поддерживает тесные партнерские отношения. При выборе количества, расположения и типа сопел было необходимо обеспечить минимальное требуемое перекрытие соседних струй в местах, где заготовка (из-за своей кривизны) максимально приближается к соответствующему соплу, исключить эффект подрезания струй друг другом в местах, где заготовка максимально удалена от сопла. На поверхности заготовки, где она максимально удалена от напорных сопел, необходимо обеспечить достаточные для гарантированного гидросбива окалины энергетические параметры струи — максимальный импульс, плотность орошения и удельную энергию.

Расчет и проектирование оборудования для гидросбива окалины проводился для заготовок диаметром 120, 145, 150 и 156 мм. Максимальное искривление заготовки по длине было задано величиной 50 мм по всей длине, поэтому при расчетах закладывался максимальный эксцентриситет центра заготовки относительно центра коллектора, на котором установлены сопла, величиной 30 мм. Скорость движения заготовки по техническим требованиям заказчика 1–2 м/с, для расчета закладывалась максимальная величина, то есть 2 м/с.

На рис. 2 для справки приведены обозначения размеров струи и углов установки сопла, принятые в фирме LECHLER.

При проектировании круглого коллектора с размещаемыми на нем соплами для гидросбива окалины с круглой заготовкой с эксцентричным ее расположением было необходимо обеспечить одновременное выполнение ряда обязательных условий: а) струи должны охватывать всю поверхность заготовки с достаточным перекрытием; б) в случае выхода краев струй за пределы поверхности (из-за эксцентричного расположения заготовки) они не должны разрушать друг друга или не должны «подрезать» соседние струи; в) струи должны обладать достаточными для гидросбива окалины энергетическими параметрами (импульсом, плотностью орошения и удельной энергией); г) ограничиться минимально возможным количеством типоразмера коллекторов. Для успешного решения требований п.п. а) и б) напрашивается вариант с увеличением количества сопел, что в свою очередь приводит к снижению энергетических параметров струй, а также к проблеме размещения большого количества сопел. Такая задача оптимизации была решена. Были спроектированы два коллектора, на которых размещены по 10 сопел. Для заготовок диаметром 120 мм был спроектирован и изготовлен коллектор, у которого концы сопел были расположены на диаметре 400 мм, для заготовок диаметром 145, 150 и 156 мм — другой коллектор, у которого концы сопел были расположены на диаметре 470 мм.

Сопла выпускаются с определенным шагом по размеру отверстий, поэтому при выборе определенного количества сопел при фиксированном расходе тип сопла однозначно определяет рабочее давление. Для получения максимальной отдачи от насосной станции необходимо, чтобы давление было как можно ближе по величине к номинальному значению.

На рис. 3 в качестве примера изображены проекции струй на плоскость в поперечном сечении заготовки диаметром 120 мм.

Следует отметить, что при разработке проекта проводилось построение пространственных моделей взаимодействия струй с заготовкой и между собой для анализа влияния углов установки сопел, их типоразмера, диаметра коллектора.

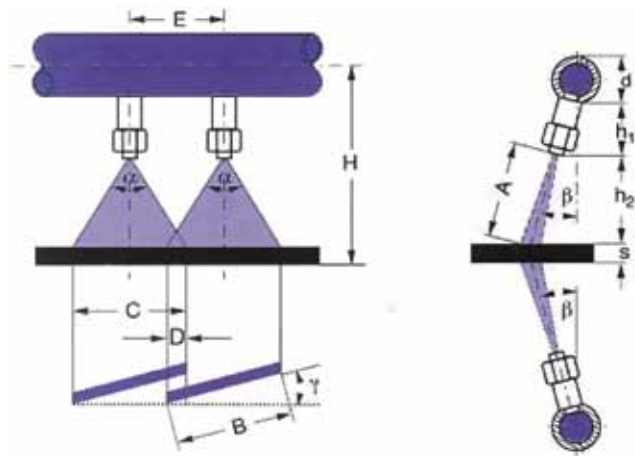


РИС. 2. Обозначения размеров струи и углов установки сопла, принятые в фирме LECHLER  
**A** — длина струи; **B** — ширина струи; **C** — проекция ширины струи в направлении струи; **D** — перекрытие; **E** — расстояние между соплами; **H** — расстояние от середины коллектора до нижней границы полосы; **s** — толщина полосы; **d** — наружный диаметр трубы; **h1** — вертикальная высота сопла; **h2** — вертикальная высота струи; **α** — угол истечения сопла; **β** — угол наклона (атаки) струи; **γ** — угол наклона плоскости сопла относительно оси трубы

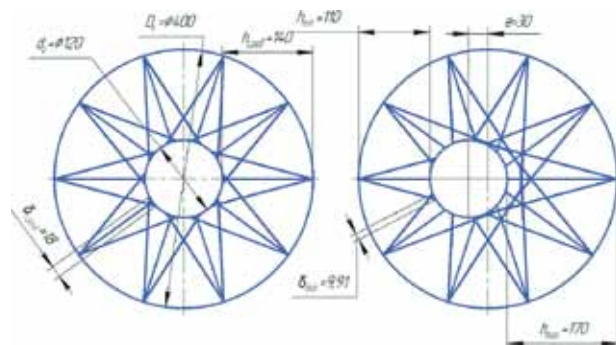


РИС. 3. Проекция струй на плоскость поперечного сечения заготовки диаметром 120 мм:  
**A** — при концентричном (без эксцентриситета) расположении заготовки относительно центральной оси коллектора;  
**B** — при расположении заготовки с максимальным ожидаемым эксцентриситетом равным 30 мм

Для подходящих с точки зрения чисто геометрических вариантов выбора сопел проводился расчет энергетических параметров струй, после чего принималось оптимальное решение. Часть расчетов выполняла фирма LECHLER по своей методике, которая базируется на большой базе экспериментальных данных. В процессе проектирования системы гидросбива фирмой УРИЦ была разработана своя методика расчета, основанная на материалах [1-3], с введением поправочных коэффициентов, обеспечивающих максимальное совпадение результатов расчета с расчетами представленными фирмой LECHLER. Методика расчета фирмы УРИЦ включала учет пространственного взаимодействия струй между собой и с круглой заготовкой при ее эксцентричном расположении относительно центра коллектора.

Проведенные расчеты позволили выбрать оптимальные диаметры коллекторов, количество и типы сопел, уточнить требуемый расход для получения максимальных энергетических параметров струй.

На рис. 4 представлена фотография одного из коллекторов, установленных в камере гидросбива.

ТАБЛИЦА 1 Таблица расчета параметров гидросбива с круглой заготовки соплами Lechler

N	D <sub>ноз.</sub> , мм	d <sub>зат.</sub> , мм	n	КОД СОПЛА	β, °	γ, °	p, бар	Q <sub>н.</sub> , л/мин	h <sub>н.</sub> , мм			I <sub>макс.</sub> , Н/мм <sup>2</sup>			V <sub>н.</sub> , л/мин	E, кДж/м <sup>2</sup>		
									MIN	СРЕД	MAX	MAX	СРЕД	MIN		max	сред	min
Lechler	400	120	10	642.766	15	15	300	1004,6	110	140		2,02	1,52		22,2	44,84	33,74	
								A=	114	145								
1	400	120	10	642.766	5	15	300	1004,6	110	140	170	2,34	1,63	1,21	22,2	52,1	36,3	26,8
2	400	120	10	642.846	5	15	265	1450	110	140	170	2,57	1,83	1,37	32,1	82,3	58,5	44
								A=	110,4	140,5	170,7							
3	360	120	16	642.686	5	30	300	997,7	90	120	150	1,97	1,28	0,91	22,1	43,4	28,3	20
4	360	120	16	642.766	5	30	244	1450	90	120	150	2,69	1,77	1,26	32,1	86,2	56,7	40,4
5	470	145	10	642.766	5	15	300	1004,6	132,5	162,5	192,5	1,78	1,3	0,99	18,4	32,6	23,8	18,2
6	470	145	10	642.846	5	15	265	1450	132,5	162,5	192,5	1,98	1,47	1,14	26,5	52,4	38,9	30,2
7	420	145	16	642.686	5	30	300	997,7	107,5	137,5	167,5	1,51	1,04	0,76	18,3	27,6	19	13,9
8	420	145	16	642.766	5	30	244	1450	107,5	137,5	167,5	2,08	1,44	1,06	26,5	55,2	38,2	28,1
9	470	150	10	642.766	5	15	300	1004,6	130	160	190	1,83	1,33	1,01	17,8	32,5	23,6	18
10	470	150	10	642.846	5	15	265	1450	130	160	190	2,03	1,5	1,16	25,6	52,1	38,5	29,7
11	420	150	16	642.686	5	30	300	997,7	105	135	165	1,57	1,07	0,78	17,6	27,7	18,9	13,8
12	420	150	16	642.766	5	30	244	1450	105	135	165	2,15	1,48	1,09	25,6	55,2	38	27,9
13	470	156	10	642.766	5	15	300	1004,6	127	157	187	1,89	1,37	1,04	17,1	32,3	23,4	17,7
14	470	156	10	642.846	5	15	265	1450	127	157	187	2,1	1,54	1,19	24,7	51,8	38,1	29,3
15	420	156	16	642.686	5	30	300	997,7	102	132	162	1,64	1,11	0,8	17	27,8	18,8	13,6
16	420	156	16	642.766	5	30	244	1450	102	132	162	2,25	1,53	1,12	24,7	55,4	37,8	27,6

С 10 по 18 декабря в трубопрокатном цехе №3 на ОАО «Синарский Трубный Завод» при участии представителей ООО «Уральский Инжиниринговый Центр» были проведены гарантийные испытания оборудования гидросбива окалины согласно Программе пусконаладочных работ для ряда сталей, выбранным заказчиком. Целью испытаний было удаление с поверхности заготовки не менее 95% окалины с контролем температурных показателей.

Испытания проводились в два этапа. На первом этапе пять штанг трубной заготовки одной из марок стали с раскроем на три или четыре части проходили через камеру гидросбива при выключенном кольцевом коллекторе, на прошивном стане фиксировалась температура прошивки каждой части трубной заготовки. Последующие пять штанг трубной заготовки проходили через камеру гидросбива с включенным кольцевым коллектором. При этом на прошивном стане также фиксировалась температура прошивки каждой части трубной заготовки. Процесс гидросбива окалины проводился при разных давлениях. Результаты замеров приведены в сводной таблице 2. На втором этапе фиксировалась температура трубной заготовки перед и после камеры гидросбива. Замеры производились термоскопом ТС-300. Эти результаты не приведены в таблице, так как температура заготовки после камеры гидросбива является промежуточной и не является характерным показателем для технологического процесса производства горячекатаных труб. Визуально определялось качество сбива окалины при различных значениях давления. Результаты замеров приведены в сводной таблице 2.

Результаты испытания показали, что требуемые показатели по качеству гидросбива не менее 95% были обеспечены в зависимости от марок стали в расчетных диапазонах дав-



РИС. 4. Камера гидросбива со снятой верхней крышкой



РИС. 5. Фото трубной заготовки с окалиной и после процедуры гидросбива. А — заготовка с окалиной; Б — заготовка после гидросбива

ления. Так для стали 30ХМА необходимое качество сбива окалины было обеспечено при давлении 23 МПа, для сталей 26ХГМА, 12Х1МФ, 38Г2СФ — при давлении 28–30 МПа, для стали Д8 — при давлении 10 МПа, для стали 20С — при давлении 15 МПа. Во всех случаях температура гильзы с использованием гидросбива окалины зафиксирована в пределах требований ТИ-1721 (1170–1260°C). Фактическая нагрузка на главный привод прошивного стана не превышала нормативного значения (3,6 кА) и достигала при прошивке указанных сталей величин 2,5–3,0 кА.

ТАБЛИЦА 3.

**Параметры гидросбива печной окалины с круглых заготовок в цехе ТЗ ОАО «СинТЗ» в период эксплуатации (13–17 мая 2014 г.)**

СТАЛЬ	ДИАМЕТР ЗАГОТОВКИ	ЧИСЛО ДОЛЕЙ, НА КОТОРОЕ ДЕЛИТСЯ ЗАГОТОВКА	НОМЕР ДОЛИ ЗАГОТОВКИ	ТЕМПЕРАТУРА ЗАГОТОВКИ ПОСЛЕ ПРОШИВНОГО СТАНА С ВЫКЛЮЧЕННЫМ ГИДРОСБИВОМ	ТЕМПЕРАТУРА ЗАГОТОВКИ ПОСЛЕ ПРОШИВНОГО СТАНА С ВКЛЮЧЕННЫМ ГИДРОСБИВОМ	РАЗНИЦА ТЕМПЕРАТУР	ЗНАЧЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ, МПа	КАЧЕСТВО СБИВА ОКАЛИНЫ, %
Д8	145	4	—	1180–1225	1170–1228	—	15,8	100/98/95/85
13ХМА	156	3	—	1170–2227	1165–1227	—	15,8	100/95/85
13ХМА <sup>*)</sup>	156	3	—	—	—	—	15,8	100/99/98
32Г1 <sup>*)</sup>	156	4	—	—	—	—	15,8	100/100/97/93
20А <sup>*)</sup>	150	3	—	—	—	—	15,8	100/100/98

\* скорость движения заготовки была — на 30% ниже штатной

ТАБЛИЦА 2.

**Сводная таблица параметров гидросбива печной окалины с круглых заготовок в цехе ТЗ ОАО «СинТЗ» в процессе гарантийных испытаний оборудования (10–18 декабря 2013 г.)**

СТАЛЬ	ДИАМЕТР ЗАГОТОВКИ	ЧИСЛО ДОЛЕЙ, НА КОТОРОЕ ДЕЛИТСЯ ЗАГОТОВКА	НОМЕР ДОЛИ ЗАГОТОВКИ	ТЕМПЕРАТУРА ЗАГОТОВКИ ПОСЛЕ ПРОШИВНОГО СТАНА С ВЫКЛЮЧЕННЫМ ГИДРОСБИВОМ	ТЕМПЕРАТУРА ЗАГОТОВКИ ПОСЛЕ ПРОШИВНОГО СТАНА С ВКЛЮЧЕННЫМ ГИДРОСБИВОМ	РАЗНИЦА ТЕМПЕРАТУР	ЗНАЧЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ, МПа	КАЧЕСТВО СБИВА ОКАЛИНЫ, %						
1	2	3	4	5	6	7	8	9						
20С	150	4	1	1211	1201	10,4	30	100						
			2	1199,4	1195	4,5	30	99						
			3	1193,6	1187	6,6	30	99						
			4	1186,2	1181,8	4,4	30	98						
								15	97/97/ 96/95					
								10	85/87/ 80/80					
			Д8	120	4	1	1224,4	1219	5,4	30	100			
						2	1217,4	1216	1,4	30	97,6			
						3	1219,9	1210,6	9,3	30	98,6			
						4	1214	1206,8	7,2	30	99			
											15	100/98/ 98,7/98,3		
											10	100/97,8/ 97/99		
								7,5	100/90,5/ 92/90					
38Г2СФ	156	4				1	1225,8	1218	7,8	28–30	100			
						2	1223	1216	7	28–30	98,5			
						3	1217,3	1211,6	5,7	28–30	95			
						4	1209,6	1202,8	6,8	28–30	94,6			
											22,4– 23,7	100/98/ 93,8/94		
								16–18	100/97,4/ 90,6/86,5					
			12Х1МФ	145	3	1	1217,3	1206,7	10,6	28–30	100			
						2	1205,7	1198,7	7	28–30	97			
						3	1192	1190,3	1,7	28–30	93,4			
											25	98/96/93		
											20	96/93/90		
						26ХГМА	156	3	1	1226	1222,5	3,5	28–30	98
2	1221,3	1218,5							2,8	28–30	96			
3	1218,8	1214,8							4	28–30	95			
											25	98/96/95		
30ХМА	156	4							1	1231,6	1211,2	20,4	23	100
									2	1220,8	1203,4	17,4	23	99
									3	1210,4	1191,2	19,2	23	98,6
			4	1199,8	1178,2				21,6	23	96,6			
											20	96,4/95,2/ 97,4/93,8		
											16–18	95/96,2/ 94,5/93		

РИС. 5. представлены фото трубной заготовки с окалиной и после процедуры гидросбива.

В таблице 3 приведены некоторые параметры гидросбива печной окалины с большого количества круглых заготовок для некоторых сталей в период эксплуатации при постоянном давлении 15,8 МПа.

Снижение качества гидросбива в первых двух столбцах таблицы 3 связано с эксплуатацией гидросбива на нерасчетном режиме (давление ниже рекомендуемой величины).

Проведение приемо-сдаточных испытаний оборудования для гидросбива окалины с трубных заготовок и дальнейшая эксплуатация показали, что спроектированное, изготовленное ООО «УРИЦ» оборудование, установленное в цехе № 3 ОАО «Синарский трубопрокатный завод» обеспечило:

- А** || требуемое качество гидросбива окалины на трубных заготовках различных марок на расчетных режимах эксплуатации оборудования;
- Б** || требуемый согласно ТИ-1721 температурный режим заготовок после их прошивки;
- В** || фактическая нагрузка на главный привод прошивного стана не превышала нормативного значения (3,6 кА) и составляла 2,5–3 кА в зависимости от марки стали заготовки;
- Г** || увеличилась стойкость механических узлов стана и снизились затраты на их ремонт.

Бодров В. В., Багаутдинов Р. М., Батурич А. А., Прохасько Ю. Г., Талалушкин Е. В.,  
«УРАЛЬСКИЙ ИНЖИНИРИНГОВЫЙ ЦЕНТР»

Горожанин П. Ю., ОАО «СИНАРСКИЙ ТРУБОПРОКАТНЫЙ ЗАВОД»

**Литература**

1. **Nozzles for Hydromechanical Descaling** // Каталог сопел фирмы LECHLER 2012 г.
2. **Информация, данные и показатели для выбора параметров системы гидромеханическо-го удаления окалины** // Опросный лист фирмы LECHLER для выбора сопел гидромеханического сбива окалины
3. **Удаление окалины соплом высокого давления.** /Лотар Бендинг, Мирослав Рауденски, Ярослав Хорски //Перевод с английского Медведь М.В. Источник ILASS-EUROPE, 2001, Zurich, 2001.
4. **Descaling behaviour of stainless steel following simulated reheating.** /P.S. Pistorius, N.A. Quagraine, C. Coetzee// The Journal of The South African Institute of Mining and Metal-lurgy. DECEMBER 2003. pp. 607–616.
5. **Ник Силк. Ударная энергия струи гидромеханического удаления окалины.**/Перевод статьи The impact energy primary de-scaling. Предоставлен фирмой LECHLER
6. **Требования к давлению** /норме соударения при гидравлической очистке окалины — требования для HP/LF систем. //2-я международная конференция по гидравлической очистке окалины в прокатных станах. Лондон, Институт материалов. 13-14 октября 1997 г.