

УДК 621.771

ПОЛУЧЕНИЕ КРУГЛЫХ ПРУТКОВ ИЗ НИКЕЛЕВОГО СПЛАВА ЭИ698

Жанзаков Павел Кабдукалиевич⁽¹⁾ Артёмов Фёдор Евгеньевич⁽²⁾, Бондаренко Александр Константинович⁽³⁾,

*Инженер-технолог Зк⁽¹⁾ Инженер-технолог⁽²⁾, Инженер-технолог⁽³⁾,
Отдел обработки металлов давлением
Научно-исследовательский институт технологии и организации
производства двигателей*

*Научный руководитель: И.А.Бурлаков,
доктор технических наук, начальник отдела обработки металлов давлением*

Введение

Предприятия авиакосмического комплекса используют в производстве прутки широкого спектра как по маркам высоколегированных сталей и титановых, никелевых сплавов, так и по диаметральным размерам. Количество марок сталей и сплавов, используемых отраслью, превышает 20 наименований, а диапазон наиболее широко используемых диаметров ~ от 5 до 40 мм. До настоящего времени предприятия авиакосмического комплекса, приобретая у металлургических заводов прокат несоответствующего диаметра, вынуждены производить детали или заготовки для последующего производства по затратной технологии – путем съема до 60...100% дорогого материала механической обработкой.

НИИД были проведены опытно-технологические работы по получению прутков необходимого размера на прокатном комплексе «280-380» и разработаны технологические процессы прокатки прутков, внедренные в производство.

Получение прутков круглого сечения из никелевого сплава ЭИ698-ВД (ХН73МБТЮ)

Перекатка прутков

Перекачиваемые за один раз прутки должны быть одной марки сплава, одной партии, одной плавки. На поверхности прутков не должно быть плёнок, трещин, рванин, закатов, шлаковых включений, чернот прокатанного металла.

Химический состав никелевого сплава ЭИ698-ВД (ХН73МБТЮ) приведен в таблице 1.

Исходные прутки по механическим свойствам и длительной прочности отвечают требованиям ТУ14-1-1977.

Таблица 1. Химический состав никелевого сплава ЭИ698-ВД

Документ	Химический состав в %									
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	V	Mo	
сертификат	не более									
	0,05	0,15	0,25	0,005	0,006	14,28	Осн.	0,12	2,91	
Продолжение										
	Fe	Ti	Al	Cu	Nb	B	Sb	Sn	Bi	As
сертификат	0,6	2,65	1,65	0,02	2,08	0,008	не более 1 балла по шкале спектрального анализа			

Линия калибровки допускает степени деформации не более 20%. Исходный пруткок прокатывался последовательно во всех калибрах до минимального диаметра. Диаметр исходного прутка – 32 мм.

Диапазон прокатки сплава ЭИ698-ВД лежит в пределах от 1180 °С до 1030 °С, т.е. интервал прокатки составляет 130 °С. В данном температурном диапазоне предел прочности материала σ_b меняется от 5,1 на верхней границе диапазона до 11,2 МПа на нижней. За один нагрев допускается 15...20% деформации.

Т.к. по паспортным данным печи равномерность температурного поля в зоне нагрева ± 10 °С, нагрев прутков в печи производился при температуре 1170 ± 10 °С, скорость прокатки составляла $\sim 0,5$ м/сек.

В дальнейшем режимы нагрева заготовок были скорректированы и представлены во временных технологических рекомендациях. Согласно рекомендациям, нагрев исходных заготовок необходимо проводить по режиму: садка прутков в печь, предварительно нагретую до температуры 1160 ± 10 °С; подогрев - 10 мин после выхода печи на температурный режим; продолжительность выдержки при температуре деформации – 1 мин на 1 мм диаметра, но не менее 15 мин. Максимальное время пребывания в печи сверх минимального при температуре деформации – 0,7 мин на 1 мм диаметра, но не менее 20 мин. Межоперационный нагрев прутков проводился по режиму: садка прутков в печь, предварительно нагретую до температуры 1160 ± 10 °С; время пребывания заготовок в печи при температуре деформации – 1 мин. на 1 мм диаметра.

Оптимальные технологические параметры приведены в сводной таблице 2. обозначение размеров см. на рис. 1, месторасположение прокладок, проставок и прижимов показано на рис. 2.

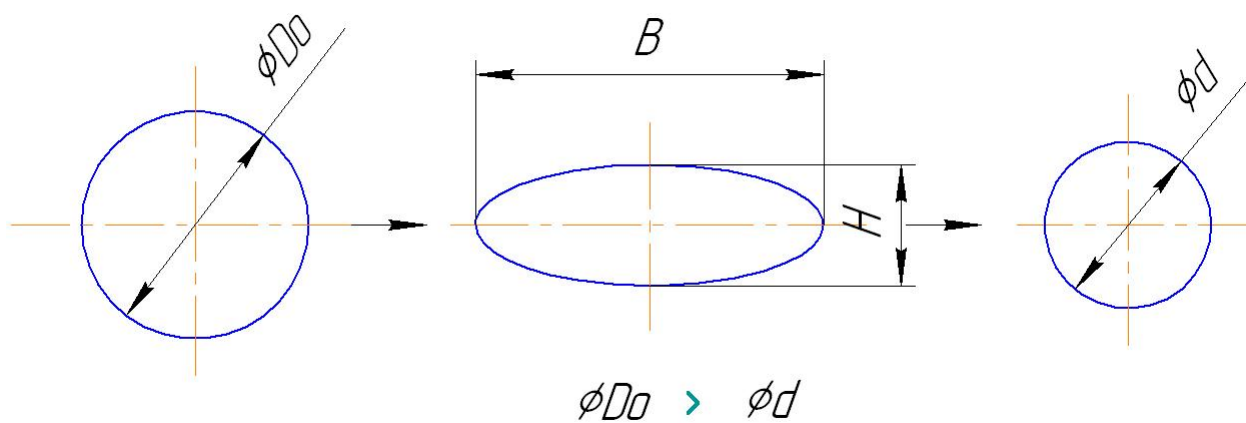


Рис. 1 Система круг-овал-круг

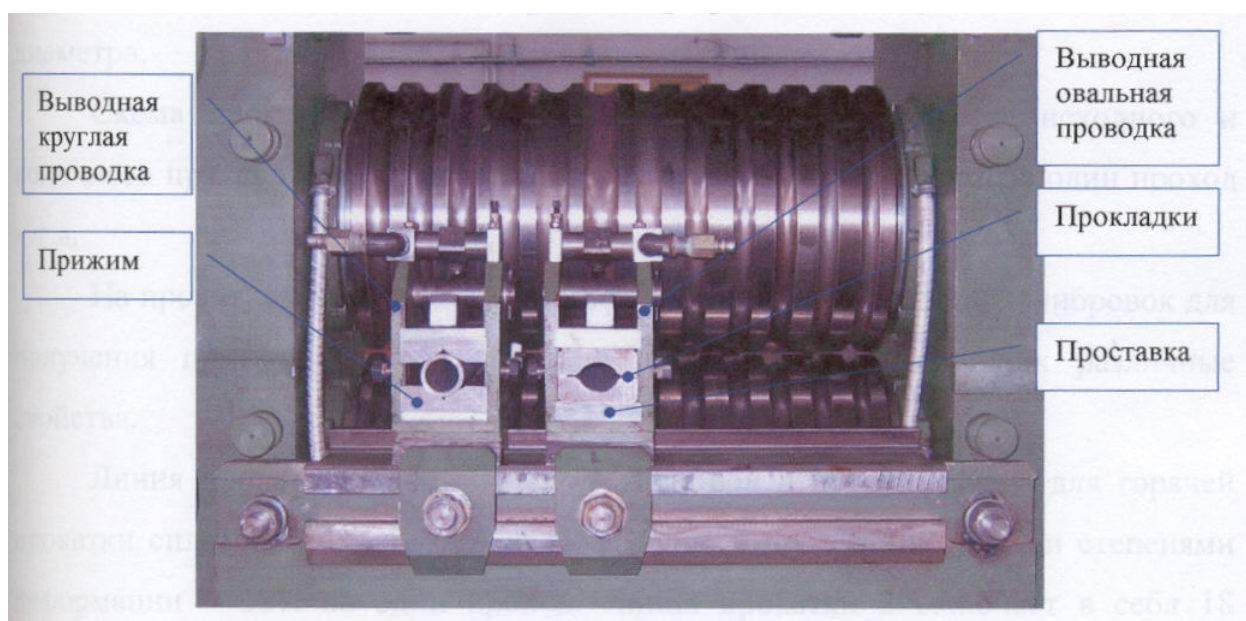


Рис. 2 Валковая арматура

Технические характеристики двух линий рабочих клеток 280 и 380 прокатного стана представлены в таблице 2.

**Таблица 3. Сводная таблица технологических данных по
перекатке прутков из никелевого сплава ЭИ698-ВД с Ø32 на Ø12 мм**

Исх. Ø,мм м	D ₀ (H ₀) мм *	B ₀ , Мм *	h _i (d _i), мм	B _i , мм	№ калиб ра	Проводк и: <u>вводная</u> <u>выводна</u> я	Прокладк а/ Проставк а	Зазор валко в, мм	Примечан ие
Клеть 380-2									
36	36	36	34,1	37,1	3,1	1А1	4/10	3,9	
						3В1	6/23		
	37,1	34,1	34,9	34,6	3,2	3А2	4,5/-	1,4	
						3В2	Прижим Н30 /10		
32	31,7	32	26,2	33,8	3,5	1А3	-/-	1,3	
						3В5	-/25		
	33,8	26,2	28,9	28,8	3,6	3А6	-/-	1,2	
						3В6	Прижим Н30 /15		
28,5	28,4	27,5	23,9	30,8	3,7	1А5	6,5/10	1,2	
						3В7	-/23		
	30,8	23,9	26,3	26,1	3,8	3А8	4,5/-	1,2	
						1В4	Прижим Н30 /15		
26	25,9	25,1	21,4	28,6	3,9	1А5	4/10	1,2	
						3В7	-/25		
	28,6	21,4	23,6	23,8	3,10	3А8	-/-	1,2	3А8 – потеснее
						1В4	Прижим Н30 /15		
23,5	23,8	23,5	19,6	25,3	3,11	1А5	-/10		
						3В11	-/25		
	25,3	19,6	21,5	22,3	3,12	3А12	-/-		3А12-чуть больше, чем нужно
						1В6	Прижим Н30 /15		
Клеть 280-3									
21,5	21,3	21,2	18,9	23,8	3,13	1А7	5,5/-	0,8	Заготовки заходят
						1В9	10/6		

									туго
	23, 8	18, 9	20	19, 6	3,14	1A10,1	10,5/-	0,8	Заготовки заходят туго
						1B8	Прижим H30 /-		
19	20	19, 9	15,9	21, 2	3,15	1A7	4/-	0,8	
						1B9	8/7		
	21, 2	15, 9	17,8	17, 8	3,15	1A10,1	8/-	0,8	
						1B8	Прижим H20 /-		
17,5	17, 8	17, 8	14,9	19, 3	3,17	1A7	-/-	0,8	
						3B17	5/8,5		
	19, 3	14, 9	16,2	16, 2	3,18	3A18	5,5/-	0,8	Проводку 1B8 зажимает
						1B8	Прижим H20 /-		
16	16, 2	16, 2	13,3	17, 7	3,19	3A11	4/-		
						3B17	3,5/9,25		
	17, 7	13, 3	14,7	14, 8	3,20	3A18	3,5/-		Задний конец круга свалился
						1B10,1	Прижим H20 /-		
14,5	14, 9	14, 7	11,9	16, 3	3,21	1A11	3/-	0,8	
						3B7	-/10		
	16, 3	11, 9	13,5	13, 5	3,22	1A10,2	3,5/-	1	Круг свалило (лампас на конце)
						1B10,1	Прижим H20 /-		
13	13, 3	13	11,4	14, 4	3,23	1A23	-/-		
						3B17	-/10		
	14, 4	11, 4	12,6	12, 4	3,24	вводная роликов ая коробка 4A3.2.1	-/-	1	Свалило конец
						1B10,1	Прижим H20 /-		

* Размеры поперечных сечений, за исключением исходных диаметров, приведены для горячих прутков.

В процессе опытных прокаток проявился один из недостатков калибровки овал-круг: сложность удержания овальной полосы при прокатке ее в круг. При малых деформациях (до 10%) задний конец овала сливается и

образуется дефект типа «лампас» рис. 3а. Чтобы этого избежать, вводную арматуру необходимо делать более жесткой, по максимуму уменьшая зазор между полосой и проводками скольжения, либо использовать вводные проводки другой конструкции (например, роликовые). Носик проводок нужно помещать максимально близко к калибру, чтобы происходило минимальное сваливание свободного конца после его выхода из проводок в очаг деформации. Кроме того, во избежание дефекта типа «змейка» рис. 3в вследствие колебательных движений прутка из-за передачи крутящего момента при прокатке столь круглой овальной полосы, необходима тщательная регулировка рабочих валков в осевом направлении.



а)



в)

Рис. 3 Дефекты: «лампас» - а; «змейка» - в.

В прокатке столь круглой овальной полосы, необходима тщательная регулировка рабочих валков в осевом направлении.

Исследование прокатанных прутков

После проведения стандартной термообработки в печи с воздушной атмосферой по принятому на заводе режиму (закалка 1100°C - выдержка 8 часов, охлаждение на воздухе; закалка 1000°C – выдержка 4 часа, охлаждение на воздухе; старение 775°C – выдержка 16 часов, охлаждение на воздухе), свойства сплава по механическим свойствам, длительной прочности и макроструктуре соответствует ТУ 14-1-1973.

Геометрические размеры круглых прутков проверялись штангенциркулем. Проводились замеры прутка в одном поперечном сечении с поворотом на 90° в трех местах по длине прокатанного прутка. Средние значения представлены в таблице 3. По результатам замеров выявлено, что по длине прутка размеры в поперечном сечении варьируются в пределах 0,1-0,4 мм. Это происходит из-за того, что сплав имеет узкий интервал прокатки и задняя часть прутка охлаждается больше, чем передняя. Кроме увеличения временного сопротивления материала разрушению, при меньшей температуре происходит меньшее уширение поперечного сечения прутка при большей вытяжке, поэтому размеры поперечного сечения несколько изменяются.

Анализ экспериментальных данных

Фактически, при оценке полученных данных нас интересует только те параметры, которые непосредственно влияют на получение точного профиля прутка, т.е. величины обжатий и уширений.

Формула для расчета относительных обжатий: $\Delta h = \frac{(H_o - h_i)}{H_o}$,

где H_o – исходный размер (диаметр или высота) прутка, мм;
 h_i – готовый размер, мм.

Формула расчета относительных уширений: $\Delta b_i = \frac{(b_i - B_o)}{b_i}$,

где B_o – исходный размер (диаметр или ширина) прутка, мм;
 b_i – готовый размер, мм.

В таблице 4 отображены данные, полученные в результате обработки экспериментальных материалов.

Таблица 4. Относительные уширения и обжатия в зависимости от размеров поперечного сечения

Диаметр, мм	Уширение, %	Обжатие, %	Зазор валков, мм	Овал
	5,28	2,96	4	овал 34
34	5,93	1,45	1,5	
	17,35	5,33	1,3	овал 28
28,5	14,50	9,03	1,2	
	15,85	10,71	1,2	овал 26
26	14,61	8,43	1,2	
	17,37	12,24	1,2	овал 23
23,5	17,48	10,08	1,2	
	17,65	7,11	1,2	овал 21
21,5	15,02	12,11	1,2	
	11,27	10,92	0,8	овал 19
19	15,97	3,57	0,8	
	20,50	6,13	0,8	овал 17
17,5	16,04	10,67	0,8	
	16,29	7,77	0,8	овал 16
16	16,06	8,02	0,8	
	17,90	8,47	0,8	овал 14
14,5	16,95	10,14	0,8	
	20,13	9,82	0,8	овал 13
13	17,18	11,85	1	
	14,29	9,72	0,7	овал 12
12	12,50	8,06	1	

В связи с тем, что отображение на одном графике зависимости обжатий и уширений от степени деформаций и поперечного сечения прутка для овальной полосы и круглого прутка ведет к уменьшению наглядности и усложнению анализа, решено составить два графика – отдельно для овалов и отдельно для кругов. На рис. 4 показаны графики обжатий и уширений прутков из никелевого сплава ЭИ698-ВД, полученные при деформировании круга в овал и овала в круг.

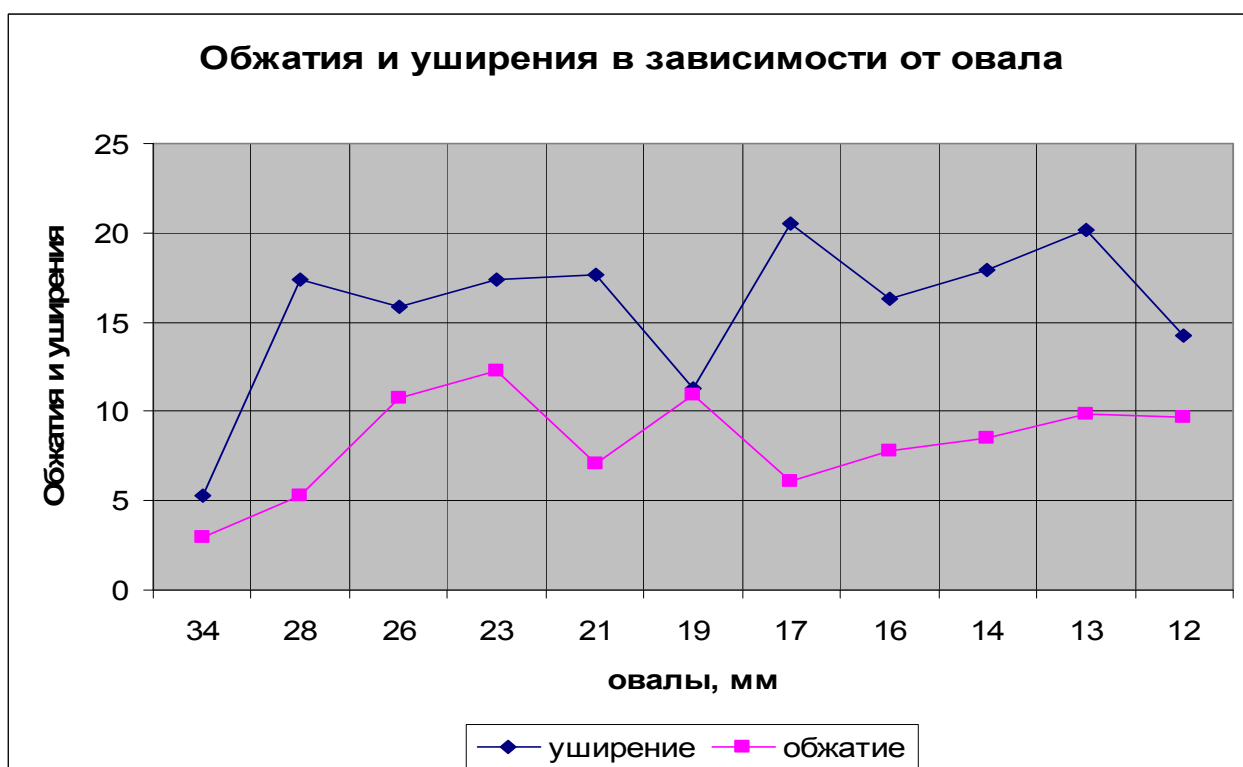
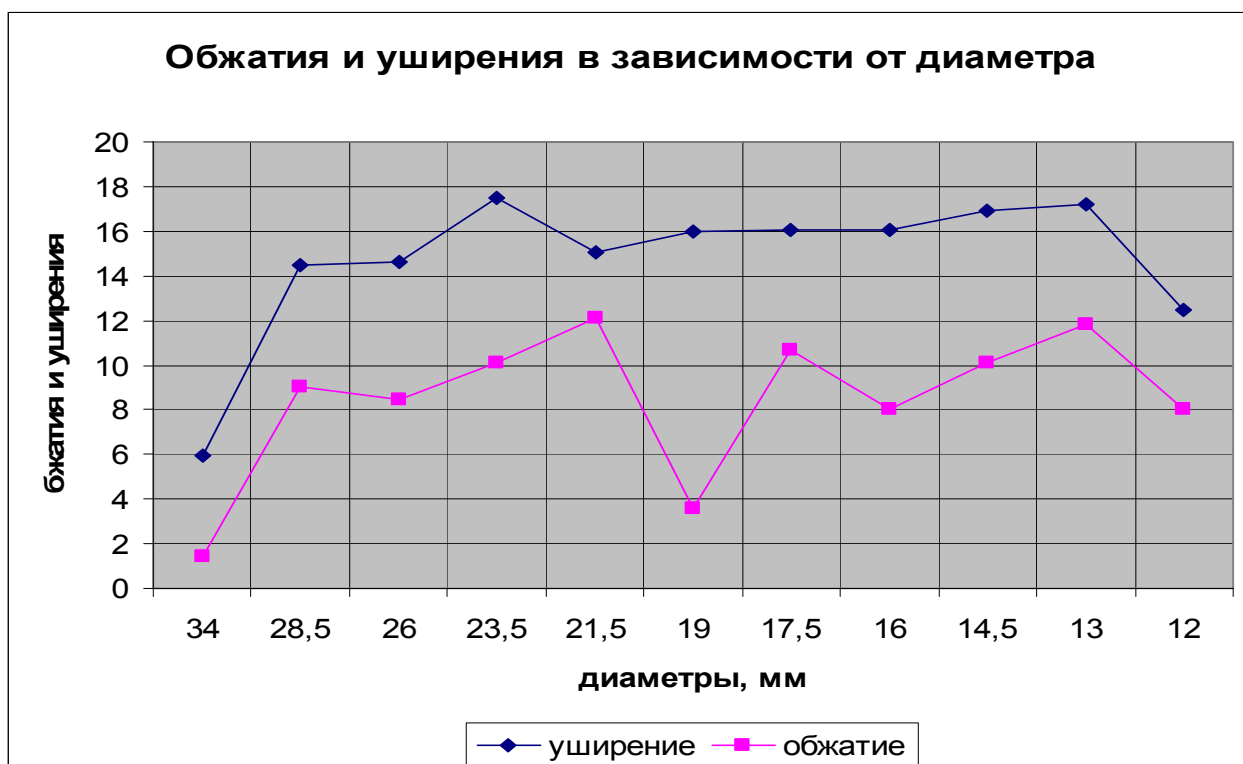


Рис. 4 Зависимость обжатий и уширений от деформации и размеров поперечного сечения.

Характер кривой обжатия меньше зависит от кривой уширения, хотя в целом и повторяет график деформации. Уширения этого сплава не превышают 20% и величины обжатия соответственно меньше. При прокатке на диаметр уширение меньше, чем для овала.

Из общей картины выпадает точка обжатия при прокатке на размер 19 мм (для диаметра). Это связано с меньшей деформацией при прокатке.

Выводы

1. Отработанные режимы перекатки прутков Ø32 мм из никелевого сплава ЭИ698 (ХН73МБТЮ) на прутки Ø12 мм позволяют получать прутки диаметрами 12, 13, 14.5, 16, 17.5, 20, 21.5, 23.5, 26 и 28.5 мм;
2. Прутки по механическим свойствам, длительной прочности и макроструктуре после принятой на заводе термообработки соответствуют ТУ14-1-1973;
3. Выявлены причины сваливания овальной полосы при прокатке прутка с малыми деформациями (до 10%) и способы борьбы с ними;
4. Выявлены зависимости уширений от обжатий при различных размерах поперечного сечения прутка, отдельно для овалов и диаметров.
5. Разработаны технологические рекомендации по прокатке прутков Ø12, 13, 14.5, 16, 17.5, 20, 21.5, 23.5, 26, 28.5 мм из никелевого сплава ЭИ698 (ХН73МБТЮ).

Литература

1. *А.И. Целиков* «Теория расчета усилий в прокатных станах», М.: Металлургиздат, 1962, 494с.;
2. *Авиационные материалы: справочник. Т. 3 «Жаропрочные стали и сплавы. Сплавы на основе тугоплавких металлов»* М.: ОНТИ, 1989, 567 с.;
3. *В.П. Бахтионов, М.М. Штернов* «Калибровка прокатных валков», М.: Металлургиздат, 1957, 783 с.;