

## Библиографический список

1. Третьяков А. В. Расчет и исследование прокатных валков / А. В. Третьяков, Э. А. Гарбер, Г. Г. Давлетбаев. – М.: Металлургия, 1975. – 256 с.
2. Николаев В. А. Прогиб опорного валка четырехвалковой клетки с учетом опорного момента / В. А. Николаев // Известия вузов. Черная металлургия. – 2001. – № 9. – С. 18, 19.
3. Николаев В. А. Повышение стойкости шеек опорных валков стана 1680 / В. А. Николаев, А. Ю. Путники, В. Т. Тилик [и др.] // Сталь. – 2002. – № 5. – С. 37–39.
4. Николаев В. А. Прогиб валкового комплекта при различных зазорах в подшипниках / В. А. Николаев, А. Г. Васильев // Известия вузов. Черная металлургия. – 2002. – № 7. – С. 23–25.
5. Николаев В. А. Совершенствование регулирования поперечного профиля полосы при горячей прокатке / В. А. Николаев, С. В. Жученко // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2013. – № 2. – С. 39–42.
6. Николаев В. А. Устройства для уравнивания (противоизгиба) валков с новой конструкцией плунжеров / В. А. Николаев, А. Г. Николенко, С. В. Мацко, А. А. Васильев, А. Г. Васильев // Сб. науч. тр. ДГМА. – Краматорск: ДГМА, 2013. – № 1. – С. 264–269.
7. Железнов Ю. Д. Прокатка ровных листов и полос / Ю. Д. Железнов. – М.: Металлургия, 1971. – С. 81,89.
8. Николаев В. А. Профилирование и износостойкость листовых валков / В. А. Николаев. – К.: Техника, 1992. – 160 с.
9. Николаев В. А. Регулирование плоскостности полос при холодной прокатке роликовыми устройствами / В. А. Николаев, С. В. Жученко // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2011. – № 7. – С. 235–237.

**Поступила 09.03.2016**



УДК 621.771.26.001

Наука

**А. А. Чичкан /к. т. н./, Э. Н. Клепач**  
 ПАО «Алчевский металлургический комбинат»

**В. С. Медведев /д. т. н./, Е. В. Базарова**  
 Донбасский государственный технический университет

## Универсальная калибровка валков для прокатки двутавров смежных размеров

*Приведены результаты освоения технологии производства двутавров № 16 и № 18 по ГОСТ 8239, ранее не входивших в сортамент стана 600. Разработана новая универсальная калибровка валков с общим разрезным калибром, которая может успешно использоваться для прокатки двух смежных размеров двутавровых профилей. Возможность формирования из одного общего разрезного калибра двух разных по ширине стенки и высоте полок двутавров достигнута за счет изменения соотношений деформации металла по отдельным элементам профилей. Осуществлен переход стана 600 на использование исходных заготовок меньшего сечения 265×265 мм вместо 320×320 мм, что позволило уменьшить нагрузки на оборудование главных линий непрерывно-заготовочной группы клеток. Применение универсальных калибровок позволяет уменьшить расход валков, повысить точность двутавров, сократить выход продукции второго сорта и брак по недокатам при настройке стана на профиль. За счет унификации калибров сокращены затраты на освоение новых профилей. (Ил. 4. Табл. 1. Библиогр.: 8 назв.)*

**Ключевые слова:** двутавр, калибровка валков, унификация калибров, параметры прокатки.

*The results of application the I-beam production technology №16 and №18 according to GOST 8239 are given, which have not been included into the grades of rolling mill 600. A new universal calibration method has been developed for the rolls with common slitting pass, which can be successfully used for rolling process of two adjacent dimensions of I-beams. Capacity of forming two I-beam flanges of different wall width and flange height from one common slitting pass has been achieved by varying the deformation ration of metal on separate section elements. Rolling mill 600 has changed an original size of ingot for the less dimensions i.e. 265×265 mm instead of 320×320 mm, providing load reduce at main lines of continuous preparation stands. Using the universal calibration provides the*

*increasing the accuracy of I-beams, reduce second-class quality production and rejects on under-rolling while setting the mill for the certain section. By unification of passes they reduced the expenses for application of new sections.*

**Key words:** I-beam, rolls calibration, unification of passes, rolling parameters.

В ПАО «АМК» ведется планомерная работа по совершенствованию и расширению сортамента крупносортного стана 600 путем освоения производства высокотехнологичной продукции с высокой добавленной стоимостью, в частности импортозамещающих двутавровых профилей с параллельными гранями полок или небольшим уклоном полок, соответствующих DIN, ASTM, ГОСТ 8239. Следует отметить, что освоение новых фасонных профилей, особенно двутавровых, на стане 600 весьма затруднительно и требует значительных материальных затрат.

Стан 600 является станом полунепрерывного типа, состоящим из 15 рабочих клетей дуо [1]. В составе стана отсутствуют универсальные клетки. При прокатке двутавров в нескольких последних клетях используются кассеты с неприводными вертикальными валками [2; 3]. Прокатка на стане осуществляется по принципу – в каждой клетке отдельный проход, что приводит к большому расходу валков и увеличивает затраты на освоение новых профилей. С целью уменьшения затрат на освоение новой продукции подготовка производства ведется в направлении максимального использования на стане энерго- и ресурсосберегающих технологий. Одним из таких направлений является создание универсальных калибровок валков с максимальной унификацией калибров. Внедрение таких калибровок позволяет уменьшить расход валков, сократить простой стана при смене калибров, перевалках и настройке. Применение валков с однотипными калибрами создает условия для более полного и равномерного их износа, так как значительно уменьшается количество переточек валков с неполностью выработанными калибрами. Кроме того, применение универсальных калибровок позволяет повысить точность профилей, сократить выход продукции второго сорта и брак по недокатам при настройке стана на профиль.

Такая технология применяется на стане 600 для прокатки специальных взаимозаменяемых профилей по ГОСТ 18662. Так, при прокатке профилей СВП22 и СВП27 применяются одинаковые калибры в клетях от № 1 до № 11. В этих клетях различны лишь режимы обжатий. Фасонные калибры расположены в клетях, начиная с № 6.

**Целью** настоящей работы является разработка и внедрение на стане 600 универсальной калибровки валков с единым разрезным калибром для производства двутавров смежных профиле-размеров, а также уменьшение нагрузок на ра-

бочие клетки и двигатели главных приводов в непрерывно-заготовочной группе клетей.

В статье изложена универсальная калибровка валков и технология производства двух смежных по размеру двутавров № 16 и № 18 по ГОСТ 8239 (в действующий сортамент стана из этого стандарта входят двутавры № 14 и № 20).

При разработке технологии ставилась задача максимально унифицировать калибры в отдельной стоящей клетке 1Г и первой непрерывно-заготовочной группе клетей: 2Г – 3В – 4Г – 5В – 6Г (Г – горизонтальные клетки, В – вертикальные) и тем самым существенно уменьшить затраты на освоение новой продукции.

До недавнего времени на стане 600 в качестве исходных заготовок использовали блюмы сечением 320×320 мм, длиной 4900–6000 мм. Из этих блюмов в клетях 1Г–6Г прокатывали заготовки прямоугольного или фасонного сечения площадью от 145 до 280 см<sup>2</sup>. В последующих клетях стана из таких заготовок формируются готовые профили.

Проведенные ранее комплексные исследования температурно-скоростных и энергосиловых параметров прокатки в непрерывно-заготовочной группе клетей стана 600 позволили определить степень загрузки рабочих клетей и двигателей главных приводов [4]. Установлено, что при использовании исходных заготовок сечением 320×320 мм двигатели главных приводов рабочих клетей 1Г–6Г загружены неравномерно (табл. 1). Менее всего (до 60 %) загружены клетки 1Г и 2Г. Вертикальные клетки загружены на 92%. В наибольшей степени (до 97 и 110 %) загружены горизонтальные клетки 4Г и 6Г при прокатке двутавров № 20 и швеллеров всех профиле-размеров. Несмотря на малую загрузку двигателей главных приводов клетей 1Г и 2Г, увеличить обжатия в этих клетях невозможно из-за ограничений по углу захвата.

Следует отметить, что длительная эксплуатация стана с использованием исходных заготовок большого сечения привела к повышенному износу оборудования главных линий рабочих клетей 1Г–6Г. Для предупреждения дальнейшего ухудшения технического состояния стана на повестку дня был поставлен вопрос снижения нагрузок в непрерывно-заготовочной группе клетей. Наиболее остро вопрос решения этой проблемы возник при проработке возможности расширения сортамента стана путем освоения производства швеллеров крупных размеров № 22П и № 24П, которые не предусмотрены проек-

том стана 600. Для снижения нагрузок в клетях 1Г-6Г было предложено уменьшить размеры исходной заготовки с 320×320 до 265×265 мм при одновременном использовании разрезных калибров уменьшенной ширины. Последнее можно реализовать путем подгибки фланцев. Проведенный анализ показал реальность использования заготовки меньшего сечения для прокатки всего действующего сортамента стана 600.

Для освоения двутавров № 16 и № 18 по ГОСТ 8239 была разработана универсальная калибровка валков с единым для обоих профилей открытым разрезным калибром, расположенным в клетях 4Г. Ящичные калибры клетей 1Г, 2Г и 3В являются общими для прокатки профилей всего сортамента стана. Вертикальная клеть 5В не используется. Прокатка двутавров № 16 и № 18 производится из заготовок уменьшенного сечения 265×265 мм. Принципиальная схема прокатки и калибровки профилей приведена на рис. 1-3.

Возможность сформирования из одного общего открытого разрезного калибра в клетях 4Г

двух разных по ширине стенки и высоте полок двутавров достигнута за счет изменения соотношений деформации металла по отдельным элементам профиля, в частности различной степени ограничения уширения стенки в закрытых разрезных калибрах клетки 6Г, величины бокового обжатия фланцев в черновых закрытых балочных калибрах клетей 7Г и 9Г, а также высотного обжатия полок в контрольных полузакрытых калибрах клетей 10Г.

Разность в ширине стенки двутавров № 16 и № 18 составляет 20 мм. Двутавры № 16 прокатывают в закрытом разрезном калибре клетки 6Г с полным ограничением уширения стенки - ширина стенки в калибрах клетей 4Г и 6Г одинаковая. Для прокатки двутавров № 18 в клетях 6Г используется закрытый разрезной калибр с шириной стенки на 20 мм больше (здесь имеет место свободное уширение стенки). В балочных калибрах клетей 7Г, 9Г и 10Г прокатка производится со свободным уширением стенки в пределах от 5 до 2 мм. Суммарное уширение стенки в этих калибрах одинаковое для обоих двутавров и со-

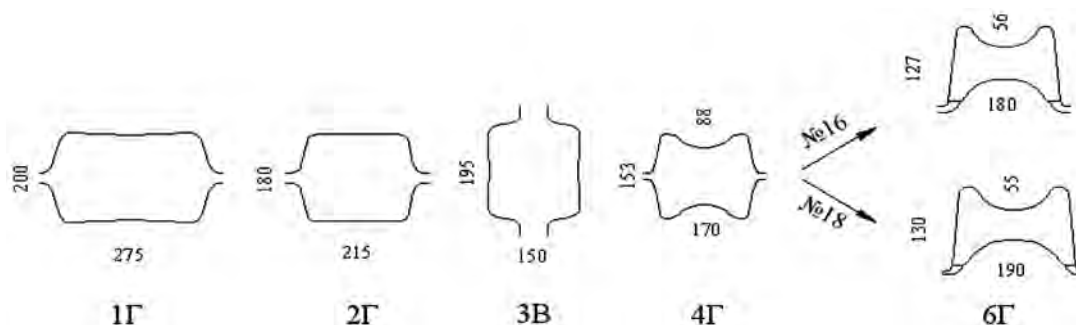


Рис. 1. Схема прокатки и калибровки двутавров № 16 и № 18 в клетях 1Г-6Г

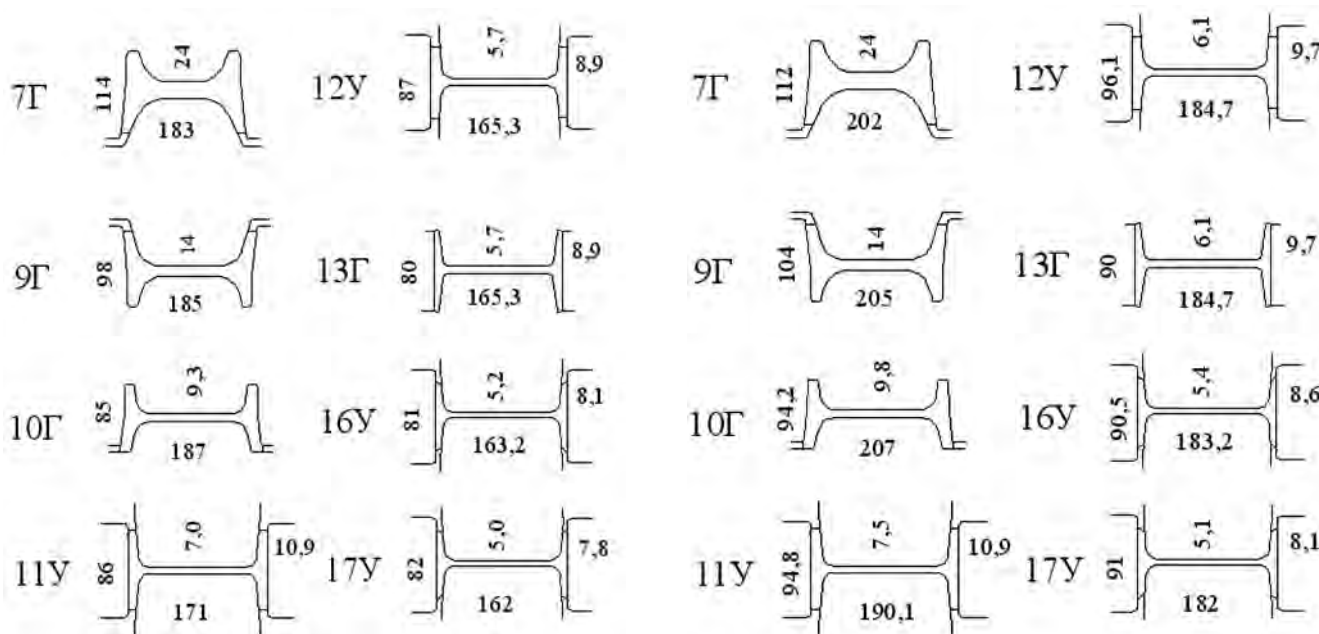


Рис. 2. Схема прокатки и калибровки двутавров № 16 в клетях 7Г-17У

Рис. 3. Схема прокатки и калибровки двутавров № 18 в клетях 7Г-17У

## ПРОКАТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

ставляет 10,5 мм. Универсальные калибры клетей 11У, 12У, 16У и 17У имеют одинаковую ширину бочки горизонтальных валков (144 мм для двутавров № 16 и 162,5 мм для двутавров № 18). В этих калибрах обжатие стенки по ширине осуществляется только вертикальными валками.

Разность в высоте полок двутавров № 16 и № 18 составляет 9 мм. Для получения более высоких полок в двутаврах № 18 использовали известный из практики прием увеличения приращения высоты фланцев в закрытых балочных калибрах путем увеличения бокового обжатия открытых фланцев и некоторого уменьшения высотной деформации закрытых фланцев. Кроме того, на 2,5 мм была уменьшена высотная деформация полок в контрольном полузакрытом калибре клетки 10Г.

Прокатка двутавров представляет собой случай сложной деформации, протекающей с неравномерными обжатиями, в сложных скоростных и силовых условиях. Получение в этих условиях готового продукта точной формы зависит от правильного расчета режима обжатий и умелого конструирования калибров.

Проведенные на стане 600 исследования точности прокатки двутавров [5; 6] показали, что колебания толщины стенки и фланцев определяются жесткостью кассет с вертикальными валками и радиальной и осевой жесткостью рабочих клетей, а колебания ширины полок зависят в основном от точного расчета течения металла на свободных поверхностях фасонных калибров. Последнее особенно относится к черновым закрытым балочным калибрам, где отклонения в заполнении металлом открытых и закрытых фланцев от расчетных значений существенно сказываются на конечных размерах готовых профилей. Для расчета формоизменения металла использовали современные методы математического моделирования процессов про-

катки в фасонных калибрах, в частности метод конечных элементов на базе программного комплекса ABAQUS [7; 8]. Это позволило на стадии проектирования калибровки валков с высокой степенью достоверности установить интегральные характеристики формоизменения – высотную деформацию открытых и закрытых фланцев, общую утяжку высоты полок двутавровых профилей.

В качестве примера на рис. 4 приведено расчетное поперечное сечение двутавра № 16 и эпюры распределения вертикальных перемещений металла U2 в черновом закрытом балочном калибре клетки 7Г (размеры исходной фасонной заготовки в калибре 6Г: толщина стенки – 56 мм и высота полок – 127 мм). Приращения высоты открытых и закрытых фланцев рассчитываются как разность максимальных перемещений U2 в стенке профиля (на поверхностях контакта металла с верхним и нижним разрезающими гребнями валков) и перемещений U2 на свободных поверхностях металла у концов соответствующих фланцев. Числовые значения показателя вертикального перемещения металла U2 на рис. 4 указаны в миллиметрах.

Расчеты формоизменения металла путем компьютерного моделирования процессов прокатки позволили осуществить многовариантную проработку калибровок валков и исключить ошибки при проектировании технологии. В конечном итоге на стане 600 были получены двутавры с точными размерами по ширине полок, что согласно ГОСТ 8239 соответствует профилям повышенной точности категории Б.

Новые профили получены без проведения дополнительных опытных прокаток, в результате на стане 600 были существенно уменьшены затраты на освоение новой продукции.

Применение заготовок меньшего сечения 265×265 мм позволило существенно уменьшить

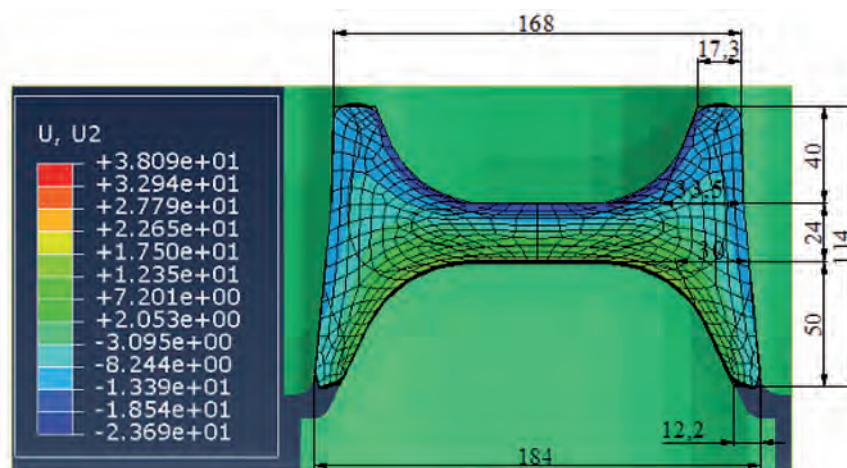


Рис. 4. Поперечное сечение раската и эпюры распределения вертикальных перемещений металла U2 в черновом закрытом балочном калибре клетки 7Г при прокатке двутавра № 16

нагрузки в непрерывно-заготовочной группе клетей стана 600 (табл. 1). Максимальная нагрузка по усилиям и моментам прокатки не превышает 67 и 63 % соответственно. Загрузка по току

якоря двигателя главного привода не превышает 54 %. Нагрузки на рабочие клетки и двигатели главных приводов в чистовой линии стана находятся в допустимых пределах.

Таблица 1

Энергосиловые параметры прокатки двутавров № 16 и № 18 из заготовок сечением 265×265 мм, материал Ст.3сп

№ клетки	Параметры прокатки	Допустимые значения	Расчетные параметры прокатки / коэффициент загрузки оборудования	
			Двутавр № 16	Двутавр № 18
1Г	Усилие прокатки, кН	5000	2200 / 0,44	
	Момент прокатки, кНм	700	309 / 0,44	
	Мощность прокатки, кВт	1250	272 / 0,22	
	Ток двигателя, А	2370	520 / 0,22	
2Г	Усилие прокатки, кН	5000	2670 / 0,53	
	Момент прокатки, кНм	700	432 / 0,62	
	Мощность прокатки, кВт	1250	506 / 0,41	
	Ток двигателя, А	2370	950 / 0,40	
3В	Усилие прокатки, кН	3090	2070 / 0,67	
	Момент прокатки, кНм	400	258 / 0,65	
	Мощность прокатки, кВт	1200	460 / 0,38	
	Ток двигателя, А	985	510 / 0,52	
4Г	Усилие прокатки, кН	4000	1940 / 0,49	
	Момент прокатки, кНм	370	234 / 0,63	
	Мощность прокатки, кВт	1250	740 / 0,59	
	Ток двигателя, А	2370	1270 / 0,54	
6Г	Усилие прокатки, кН	4000	1775 / 0,44	1683 / 0,42
	Момент прокатки, кНм	370	155 / 0,42	142 / 0,38
	Мощность прокатки, кВт	1250	493 / 0,39	494 / 0,39
	Ток двигателя, А	2370	1170 / 0,49	1100 / 0,46
7Г	Усилие прокатки, кН	4000	2550 / 0,64	2654 / 0,66
	Момент прокатки, кНм	370	353 / 0,95	336 / 0,91
	Мощность прокатки, кВт	1800	1825 / 1,01	1819 / 1,01
	Ток двигателя, А	2800	2700 / 0,96	2690 / 0,96
9Г	Усилие прокатки, кН	4000	2390 / 0,60	2540 / 0,64
	Момент прокатки, кНм	370	358 / 0,96	347 / 0,94
	Мощность прокатки, кВт	3200	2846 / 0,89	2897 / 0,91
	Ток двигателя, А	5400	4560 / 0,84	5000 / 0,93
10Г	Усилие прокатки, кН	4000	1830 / 0,46	2054 / 0,51
	Момент прокатки, кНм	370	219 / 0,59	250 / 0,68
	Мощность прокатки, кВт	3200	2384 / 0,75	2783 / 0,87
	Ток двигателя, А	5400	3820 / 0,71	4460 / 0,83
11У	Усилие прокатки, кН	4000	2430 / 0,61	2570 / 0,64
	Момент прокатки, кНм	370	262 / 0,71	277 / 0,75
	Мощность прокатки, кВт	3200	2860 / 0,89	2895 / 0,90
	Ток двигателя, А	5400	4600 / 0,85	4720 / 0,87
12У	Усилие прокатки, кН	4000	2082 / 0,57	2320 / 0,58
	Момент прокатки, кНм	370	172 / 0,46	198 / 0,54
	Мощность прокатки, кВт	3200	2311 / 0,72	2548 / 0,80
	Ток двигателя, А	5400	4730 / 0,88	5430 / 1,01
13Г	Усилие прокатки, кН	3000	115 / 0,04	100 / 0,03
	Момент прокатки, кНм	172	9 / 0,05	9 / 0,05
	Мощность прокатки, кВт	3200	237 / 0,07	218 / 0,07
	Ток двигателя, А	5400	380 / 0,07	340 / 0,06
16У	Усилие прокатки, кН	3000	921 / 0,31	1440 / 0,48
	Момент прокатки, кНм	172	44 / 0,26	78 / 0,45
	Мощность прокатки, кВт	2500	900 / 0,36	1550 / 0,62
	Ток двигателя, А	2670	920 / 0,34	1620 / 0,61
17У	Усилие прокатки, кН	2000	428 / 0,21	700 / 0,35
	Момент прокатки, кНм	35	16 / 0,46	28 / 0,80
	Мощность прокатки, кВт	2500	342 / 0,14	593 / 0,24
	Ток двигателя, А	2670	350 / 0,12	600 / 0,22

При прокатке двутавров № 18 нагрузки примерно на 10–15 % больше, чем при прокатке профиля № 16.

Расчетные значения энергосиловых параметров прокатки двутавров № 16 и № 18 по новой универсальной калибровке валков из заготовок уменьшенного сечения 265×265 мм получены с учетом скорости прокатки в непрерывно-заготовочной группе клетей 1,0 м/с, в чистовой клети 7,3 м/с. При этом температура металла в клети 1Г составляла 1175 °С, в клети 6Г – 1100 °С, в чистовой клети 17Г – по стенке профиля 710 °С, по фланцам 820 °С (здесь указана наименьшая температура металла по длине раската).

Проведенные на стане замеры фактических токовых нагрузок соответствуют расчетным значениям.

### Выводы

Разработанная и внедренная на стане 600 новая универсальная калибровка валков с общим разрезным калибром для прокатки двутавров смежных размеров позволяет уменьшить расход валков, сократить простой стана при смене калибров, перевалках и настройке, повысить точность профилей, сократить выход продукции второго сорта и брак по недокатам при настройке стана на профиль. За счет унификации калибров уменьшаются затраты на освоение новых профилей. Полученный опыт будет полезен при разработке универсальных калибровок валков и технологии производства двутавров других профилированных размеров.

Освоение производства новых двутавровых профилей № 16 и № 18 позволило расширить сортамент стана 600. Вследствие этого появилась возможность поставки потребителям всего сортамента двутавров по ГОСТ 8239 от № 14 до № 20 включительно.

Переход стана 600 на использования исходных заготовок меньшего сечения 265×265 мм вместо 320×320 мм позволил уменьшить нагрузки на оборудование главных линий непрерывно-заготовочной группы клетей.

### Библиографический список

1. Прокатные станы СССР. Обжимные и сортовые станы. Т. 1. / [В. В. Лемпицкий, С. П. Антонов, И. С. Тришевский и др.]. – М.: Металлургия, 1970. – 600 с.
2. Лиханский В. С. Технология производства фасонных профилей с применением кассет / В. С. Лиханский, В. Н. Гринавцев. – М.: Металлургия, 1986. – 232 с.
3. Разработка и освоение технологии производства двутавров с параллельными гранями полок / М. Б. Луцкий, И. К. Дорожко, В. А. Луценко, А. А. Чичкан // Сталь. – 2001. – № 2. – С. 31–33.
4. Совершенствование калибровок валков стана 600 / В. С. Медведев, В. Ф. Коваленко, Б. М. Барбашин [и др.] // Сталь. – 1982. – № 6. – С. 48–50.
5. Исследование разнотолщинности фланцевых профилей на крупносортном стане 600 / В. А. Шпаков, Е. В. Базарова, А. А. Чичкан // Черная металлургия. – М.: ОАО «Черметинформация», 2012. – Вып. 1 (1345). – С. 53–60.
6. Точность прокатки двутавровых балок в клетях дуо с использованием кассет с неприводными вертикальными валками / В. С. Медведев, В. А. Шпаков, Е. В. Базарова, А. А. Чичкан // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2014. – № 3. – С. 45–49.
7. Боровік П. В. Теоретичні дослідження процесів обробки металів тиском на основі методу скінчених елементів: навч. посіб. / П. В. Боровік. – Алчевськ: ДонДТУ, 2012. – 170 с.
8. Теоретическое исследование течения металла в закрытых балочных калибрах методом конечных элементов / В. С. Медведев, П. В. Боровик, В. А. Шпаков, Е. В. Базарова // Обработка материалов давлением: сб. науч. тр. Донбасской государственной машиностроительной академии. – Краматорск: ДГМА, 2014. – № 1 (38). – С. 166–172.

**Поступила 14.04.2016**

**Metallurgical and Mining  
Industry**

[www.metaljournal.com.ua](http://www.metaljournal.com.ua)