

*В.П. Романенко, А.В. Фомин, Н.А. Комков,  
Г.П. Илларионов, А.А. Севастьянов*

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

## ВЛИЯНИЕ СХЕМЫ ДЕФОРМАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЛИТОЙ МЕТАЛЛ КОЛЕСНОЙ СТАЛИ

Физико-механические и эксплуатационные свойства металлопродукции, получаемой обработкой металлов давлением, зависят от созданной структуры металла изделий, формирование которой определяется состоянием исходной структуры заготовки, схемой деформирования (способа обработки металлов давлением), термомеханическими режимами процесса (величиной деформации, температурой начала и конца процесса), а так же выбором режимов термообработки. Методами обработки металлов давлением возможно создание не только необходимой формы и геометрических размеров изделия, но и формирование благоприятной макро- и микроструктуры металла, обеспечивающей повышение его служебных свойств и эксплуатационной надежности. При этом формирование структуры может быть осуществлено с учетом развития напряжений, возникающих при эксплуатации в готовом изделии, что позволяет существенно повысить ресурс его работоспособности [1, 2]. В большинстве случаев процесс изготовления продукции обработкой давлением состоит из достаточно простых технологических способов и приемов (осадка, протяжка, прокатка и др.) и в зависимости от последовательности их использования при производстве возможно получение изделий с определенным регламентированным комплексом механических свойств.

В данной работе представлены результаты экспериментального исследования влияния различных схем деформационного воздействия на заготовку, моделирующие технологические условия производства железнодорожных колес, на механические свойства колесной стали.

Для эксперимента использовали специально подготовленные исследовательские образцы диам. 100 мм и длиной 300 мм из стали для железнодорожных колес марки Т, ГОСТ 10791, вырезанные из периферийной и срединной частей колесной заготовки (рис. 1). На предприятии колесные заготовки изготавливают разрезкой семикорпусного слитка на части (на семь частей).

При исследовании влияния деформационного воздействия на механические свойства колесной стали для сопоставления были взяты механические свойства металла исходных литых заготовках (вариант I). Исследо-

вание деформационного воздействия на механические свойства металла литой заготовки было осуществлено для следующих схем деформации: прошивка исследователя образца на стане винтовой прокатки (вариант II); осадка сплошного исследователя образца на прессе (вариант III); комбинированная схема – прошивка исследователя образца на стане винтовой прокатки и последующая осадка полого образца на прессе (вариант IV).

Исследовательские образцы с литой макроструктурой в соответствии с выбранными схемами деформационного воздействия на металл заготовки были деформированы на следующем оборудовании: прошивка была осуществлена на лабораторном двухвалковом стане 100; осадка – на гидравлическом прессе усилием 0,25 МПа. Прошивка образцов на стане в полу гильзу была выполнена на оправке диам. 29 мм с обжатием в пережиме валков 15 % и углом подачи 120. Прошивка образцов была осуществлена с величиной вытяжки  $\mu \approx 1,5$ . Образцы на прессе были осажены при скорости деформирования  $v = 60$  мм/мин. Перед каждой операцией прошивки и осадки исследовательские образцы нагревали в печи до 1200 – 1220 °С.

Для осадки использовали специально подготовленные сплошные и полые цилиндры равных объемов ( $V = \text{const}$ ). Сплошные цилиндры были получены разрезкой исследовательских образцов на части, а полые цилиндры изготовили из прошитых толстостенных гильз. Размеры сплошных и полых цилиндров, исполь-

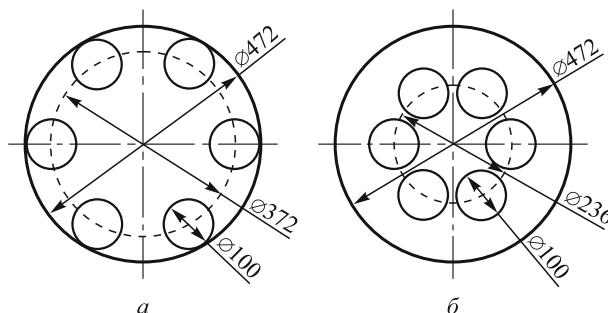


Рис. 1. Схема вырезки исследовательских образцов из колесной заготовки:  
а – из периферийной части, б – из срединной части заготовки

зованных для осадки, приведены в таблице. Осадку сплошных и полых цилиндров выполняли на плоскопараллельных плитах до конечной высоты 23,5 мм.

**Размеры сплошного и полого цилиндров, подготовленных для осадки на прессе**

Вид цилиндра	Наружный диаметр $D$ , мм	Внутренний диаметр $d$ , мм	Высота $H$ , мм	Средняя величина деформации при осадке $\varepsilon_{cp}$ , %
Сплошной	100	–	65	64,0
Полый	88	32	96	75,5

Из деформированных заготовок были подготовлены образцы для определения влияния способа деформации на механические свойства металла.

Исследование механических свойств деформированного металла было выполнено в соответствии с ГОСТ 1497 на образцах с диаметром рабочей части  $d_{раб} = 3$  мм. Определение ударной вязкости осуществляли в соответствии с ГОСТ 9495 на призматических образцах размером  $5 \times 10 \times 55$  мм с  $U$ -образным надрезом глубиной 2 мм, выполненным с расчетом распространения трещины разрушения при ударе к оси изделия. Механические свойства и ударная вязкость металла образцов были определены при температуре 20 °С. Определение механических свойств металла при растяжении осуществляли на испытательной машине модели Instron со скоростью деформации  $\sim 10^3 \text{ с}^{-1}$ . Испытания на ударный изгиб образцов выполняли на маятниковом копре модели РСВ-30.

Исследовательские образцы для механических испытаний из исходной литой заготовки вырезали в радиальном, тангенциальном и осевом направлениях, толстостенных гильз (прошитых заготовок) – только в тангенциальном и осевом направлении. Радиальные образцы не были изготовлены из-за ограниченного размера гильз в этом направлении. Вырезку образцов для исследования механических свойств металла в осевом направлении осуществляли на половину толщины стенки гильзы, литой – половину радиуса заготовки, в тангенциальном направлении – из участков, прилегающих к наружной поверхности гильз и литых заготовок. Вырезку образцов из осажённых заготовок для исследования механических свойств металла осуществляли в радиальном направлении, а также в тангенциальном направлении из участков, прилегающих к боковой поверхности деформированной заготовки.

Установленные при исследовании значения характеристик механических свойств и ударной вязкости колесной стали в исходном литом состоянии (вариант I), после деформации на стане винтовой прокатки (вариант II), после осадки на прессе сплошных заготовок (вариант III) и полых заготовок (вариант IV) представ-

лены на рис. 2. Показанные значения являются средними для трех образцов.

По результатам исследования механических свойств образцов из колесной стали, вырезанных из периферии и срединной части слитка (см. рис. 2) видно, что для заготовки в исходном литом состоянии (I вариант) характерна анизотропия механических свойств: прочностные и пластические свойства металла периферийной зоны колесного слитка выше по сравнению с срединной частью. Проработка литой структуры металла в результате прошивки на стане винтовой прокатки оказала качественное влияние на механические свойства колесной стали (II вариант). По сравнению с литым образцом в результате прошивки несколько снизился условный предел текучести металла (рис. 2, в). Возросли прочностные характеристики металла срединной части слитка, однако они уступали по прочностным показателям металлу из периферийной зоны (рис. 2, г).

В результате механических испытаний было выявлено, что деформационное воздействие на заготовку значительно повышает пластические свойства колесной стали и сопротивление ударным нагрузкам. Заготовки, деформированные на стане винтовой прокатки, по показателям пластических свойств значительно превосходят исходную литую заготовку (рис. 2, а, б). Значения относительного удлинения металла, вырезанного из периферийной части слитка деформированной заготовки выше исходного литого металла из соответствующей части слитка в 1,2 раза в осевом направлении и в 1,4 раза в тангенциальном направлении, а металла из срединной части слитка – в 1,5 раза в осевом направлении и в 2,2 раза в тангенциальном. В результате деформации еще более значительно возросли показатели относительного сужения деформированного металла: из периферийной части слитка в 8,5 раза в осевом направлении и в 2,9 раза в тангенциальном направлении; из срединной части слитка – в 2,7 и 3,1 раза соответственно.

Как можно видеть по графикам изменения механических свойств металла (см. рис. 2), в результате свободной осадки сплошных заготовок при относительной величине деформации 64 % (вариант III) повышаются значения относительного удлинения ( $\delta$ ), относительного сужения ( $\psi$ ) и временного сопротивления ( $\sigma_B$ ) во всех исследуемых направлениях и частях слитка.

Однако в результате осадки уменьшаются показатели сопротивления металла ударным нагрузкам по всем исследуемым направлениям. Ухудшение показателей по ударной вязкости наблюдается как для металла, вырезанного из периферии слитка, так и срединной части по сравнению с соответствующими показателями свойств колесной стали не только после прошивки на стане винтовой прокатки, но также и для литого состояния, за исключением тангенциального направления периферийной части слитка. Только в этом направлении наблюдается некоторое увеличение ударной вязкости

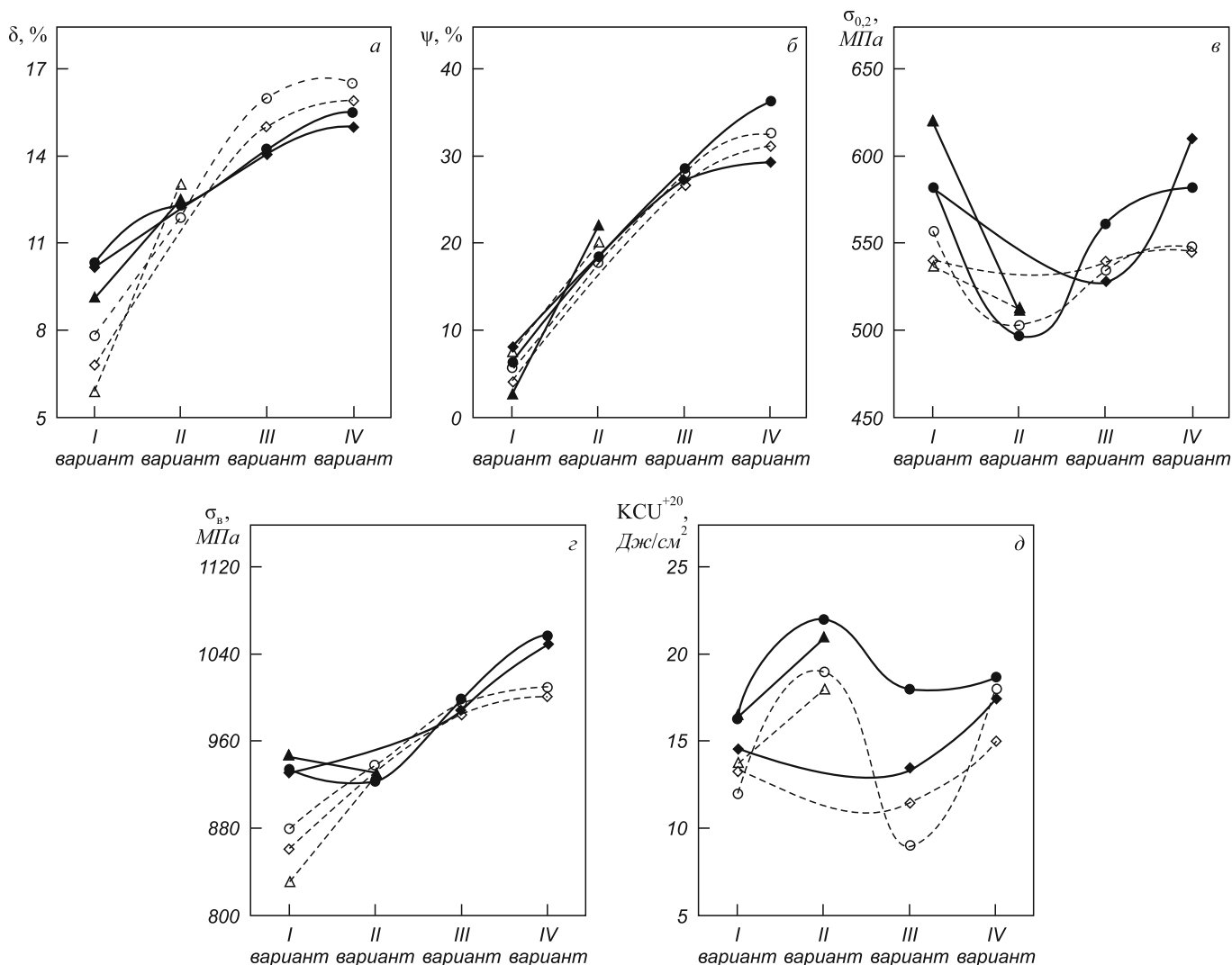


Рис. 2. Влияние схем течения металла на механические свойства колесной стали: относительное удлинение  $\delta$  (а); относительное сужение  $\psi$  (б); условный предел текучести  $\sigma_{0.2}$  (в); временное сопротивление  $\sigma_b$  (г); ударная вязкость  $\text{КСУ}^{+20}$  (д); — — периферийная часть; - - - - срединная часть;  $\Delta, \blacktriangle$  — осевое направление;  $\circ, \bullet$  — тангенциальное направление;  $\square, \blacksquare$  — радиальное направление

металла по сравнению с литой сталью. Причем наряду с ударной вязкостью происходит снижение также показателей по пределу текучести.

Наиболее высокие служебные свойства деформированный металл колесной заготовки приобрел в результате применения комбинированной схемы деформационного воздействия – при прошивке исследовательского образца в толстостенную гильзу на стане винтовой прокатки и последующей свободной осадке на прессе (IV вариант). При этом способе обработки произошло повышение пластических свойств (средние значения показателей для деформированного металла из периферии и срединной части слитка, тангенциальное направление/радиальное): относительное удлинение в 1,7/1,75 раза; относительное сужение в 6,3/5 раз; ударная вязкость в 1,25/1,16 раза.

В результате комбинированной схемы деформации возросли также прочностные свойства металла

колесной заготовки. Например, если показатели временного сопротивления для литого металла в тангенциальном направлении соответствовали значениям  $\sigma_b = 907,5 \text{ МПа}$ , а в радиальном –  $\sigma_b = 897 \text{ МПа}$  (средние значения показателей прочностных свойств исходного литого металла из периферии и срединной части слитка), то после комбинированного способа обработки заготовки прочностные свойства металла, в зависимости от направления вырезки исследовательских образцов, были равны соответственно 1034 и 1027,5 МПа.

Повышение потребительских свойств металла колесной заготовки обусловлено благоприятным воздействием комбинированного способа обработки давлением на макроструктуру слитка. Развитие сдвиговых процессов в литом металле при деформации на стане винтовой прокатки и последующей осадке на прессе способствует глубокой деформационной проработке литой макроструктуры. В результате деформации

происходит измельчение исходной макроструктуры и формирование более благоприятно ориентированной к эксплуатационным нагрузкам полосчатой структуры металла заготовки, устранение или уплотнение пор, раковин и других дефектов металлургического происхождения.

Использование толстостенной гильзы, полученной на прошивном стане винтовой прокатки, в качестве исходной заготовки для изготовления колес по сравнению со сплошной заготовкой более предпочтительно для производства осесимметричных поковок типа дисков из-за снижения необходимых усилий при свободной осадке на прессе, вследствие двустороннего истечения металла полой заготовки в отличие от одностороннего при осадке сплошных заготовок [3]. В работах [4, 5] на основе результатов компьютерного моделирования показана принципиальная возможность получения поковок типа дисков, в частности железнодорожных колес. За счет специфического сдвигового смещения металла при прошивке заготовки в гильзу на стане винтовой прокатки и последующей осадке появляется возможность перераспределения лучше проработанных деформацией объемов металла в наиболее ответственные и нагруженные при эксплуатации части колеса – в обод и диск.

**Выводы.** Исследовано влияние различных схем деформационного воздействия на заготовку на механические свойства колесной стали. Установлено, что наиболее высокие механические свойства металла при деформационном воздействии по сравнению с исходным литым состоянием колесной стали достигаются при изготовлении на прошивном стане винтовой прокатки полой заготовки и последующей ее осадки на

прессе. При этом комбинированном способе обработки давлением достигнуто следующее повышение служебных свойств металла колесной заготовки (средние значения показателей свойств металла из периферии и серединной части слитка): относительное удлинение в тангенциальном направлении в 1,7 раза, радиальном – в 1,75 раза; относительное сужение в тангенциальном направлении в 6,3 раза, радиальном – в 5 раз; ударная вязкость в тангенциальном направлении в 1,25 раза, радиальном – в 1,16 раза; временное сопротивление в тангенциальном направлении в 1,14 раза, радиальном – в 1,16 раза.

Таким образом, результаты исследований позволяют предположить, что использование деформированной полой заготовки для производства поковок типа дисков при изготовлении железнодорожных колес обеспечит повышение механических свойств и эксплуатационных характеристик готового изделия.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тюрин В.А. Теория и процессыковки слитков на прессах. – М.: Машиностроение, 1979. – 240 с.
2. Микляев П.Г., Фридман Я.Б. Анизотропия механических свойств металлов. – М.: Металлургия, 1986. – 224 с.
3. Тарновский И.Я., Трубин В.Н., Златкин М.Г. Свободная ковка на прессах. – М.: Машиностроение, 1967. – 328 с.
4. Романенко В.П., Фомин А.В., Яндимиров А.А. // Металлург. 2011. № 7. С. 62 – 65.
5. Романенко В.П., Фомин А.В., Илларионов Г.П. // Изв. вуз. Черная металлургия. 2012. № 3. С. 59 – 62.

© 2012 г. В.П. Романенко, А.В. Фомин, Н.А. Комков, Г.П. Илларионов, А.А. Севастьянов  
Поступила 12 октября 2012 г.

УДК 621.98:539.37

**В.П. Романенко, Д.В. Сизов, Г.П. Илларионов**

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ПРОШИВКИ ОСОБОТОЛСТОСТЕННЫХ ГИЛЬЗ

При производстве осесимметричных поковок типа дисков и железнодорожных колес изыскиваются новые методы улучшения качества готовых изделий, одним из которых является использование в качестве заготовок особотолстостенных гильз, полученных винтовой прошивкой.

Одним из факторов, влияющих на технико-экономические показатели производства заготовок под поковки типа дисков из особотолстостенных гильз, является точность этих гильз. В настоящее время не существует ГОСТ и ТУ на горячедеформированные особотолстостенные трубы с отношением наружного диаметра к толщине стенки  $D/S = 3,2 - 3,88$ . В связи

с этим вопрос точности особотолстостенных гильз является актуальным.

Процесс винтовой прошивки заготовок в двухвалковом стане винтовой прокатки характеризуется винтовым движением каждой точки металла в очаге деформации, а так же самоцентрированием прошивной оправки в осевой зоне заготовки за счет схемы напряженно-деформированного состояния, обуславливающей растягивающие напряжения в этой зоне [1, 2].

Основными факторами, влияющими на точность получаемых гильз в двухвалковом стане винтовой прокатки, являются: неравномерность нагрева заготовки, жесткость клетки, точность зацентровки заготовок,