

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И АВТОМАТИЗАЦИЯ В ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

УДК 621.77

В.П. Романенко, А.В. Фомин, Г.П. Илларионов

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ МЕТАЛЛА ПРИ ДЕФОРМАЦИИ НА ПРЕССАХ СПЛОШНОЙ И ПОЛОЙ ЗАГОТОВОК МЕТОДОМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ DEFORM 3D

Существующие традиционные технологические линии производства цельнокатаных железнодорожных колес в России и за рубежом основаны на использовании литой заготовки, получаемой разрезкой слитка или непрерывнолитой заготовки на части. Недостатки, присущие заготовкам с литой структурой, обуславливают в дальнейшем уровень эксплуатационных характеристик и надежности готового изделия.

Повышение качества исходной заготовки возможно осуществить за счет проработки литой структуры металла и устранения дефектов металлургического происхождения (осевую пористость, дендритную структуру и др.) на этапе подготовки исходной колесной заготовки перед прессопрокатной линией, в частности, методами обработки металлов давлением.

Одним из наиболее перспективных методов, обеспечивающих проработку литой структуры металла, является метод винтовой прокатки, который интенсивно развивается в настоящее время.

Винтовая прокатка обладает высокой эффективностью деформационного воздействия на металл по сравнению с другими способами обработки металлов давлением.

Многочисленными экспериментальными работами показано, что за счет значительных макросдвиговых процессов в очаге деформации стана винтовой прокатки достигается проработка структуры металла даже при малых обжатиях [1]. При этом прорабатывается структура металла как в центральной части исходной литой заготовки (дефектной зоны), так и периферийной, в результате деформационного воздействия валков на заготовку.

Для оценки возможности изготовления железнодорожных колес из заготовки, предварительно деформированной на стане винтовой прокатки, а также сравнительного анализа формоизменения (сплошной и полый) заготовок было проведено математическое моделирование процесса деформирования сплошной и полый заготовок по режимам существующей технологической линии ОАО «Выксунский металлургический завод» на

основе использования программно-вычислительного комплекса Deform 3D.

Чтобы выявить преимущества и недостатки использования сплошной и полый заготовок, необходимо было оценить распределение исходного металла в объеме поковки.

Ранее осуществлялось компьютерное моделирование деформации сплошной и полый заготовок на прессах, однако исследование течения металла проводилось на основе анализа аналитической траектории перемещения реперных точек. Такие результаты, наряду с качественной оценкой пластического течения металла, не дают точных количественных значений распределения исходного металла в объеме поковки [2].

Было осуществлено компьютерное моделирование процесса осадки сплошной и полый заготовок на гидравлических прессах и проанализирован характер истечения металла. Аналитически исследованы операции осадки на плоскопараллельных плитах, осадки и разгонки в технологическом кольце и формовки колеса.

В качестве исходных заготовок для моделирования процесса деформации использовали сплошную заготовку с отношением $H/D = 0,74$ (используемую для производства железнодорожных колес диаметром 957 мм); полую деформированную заготовку с уменьшенным внешним диаметром (полученную винтовой прокаткой) с отношениями $H/D = 0,98$ и $d/D = 0,36$, где D , d , H – наружный, внутренний диаметры и высота заготовки соответственно.

Для исследования формоизменения заготовок, наглядного представления перемещения металла в радиальном направлении при деформации на прессах и количественной оценки распределения исходного металла в объеме поковки после операции формовки исходные заготовки (сплошная и полая) были разделены на 10 слоев в диаметральной сечении. Для этого радиус исходной сплошной заготовки был разделен с шагом 24,1 мм.

За счет неравномерности распределения деформации при прошивке исходные радиусы слоев прошитой

заготовки определяли по результатам теоретической работы [3]. В данной работе показано, что процесс прошивки характеризуется неравномерным распределением деформации. В результате деформационного воздействия в очаге деформации стана винтовой прокатки наибольшим обжатиям подвергается металл осевой зоны и в меньшей степени периферия заготовки. На основе результатов данной работы перемещение слоев металла при прошивке определяли по формуле (рис. 1, 2)

$$R_x = \sqrt{r_0^2 + \left(\frac{r_x}{R_0}\right)^2 (R_{0(\text{труб})}^2 - r_0^2)},$$

где R_x – искомый радиус слоя (после прошивки); r_x – исходный радиус слоя (до прошивки); R_0 – радиус сплошной

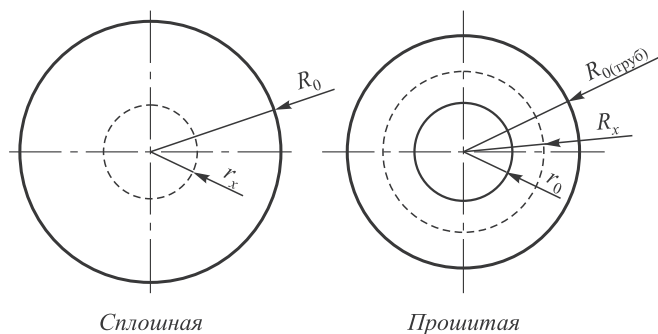


Рис. 1. Определение радиуса слоя при прошивке заготовки

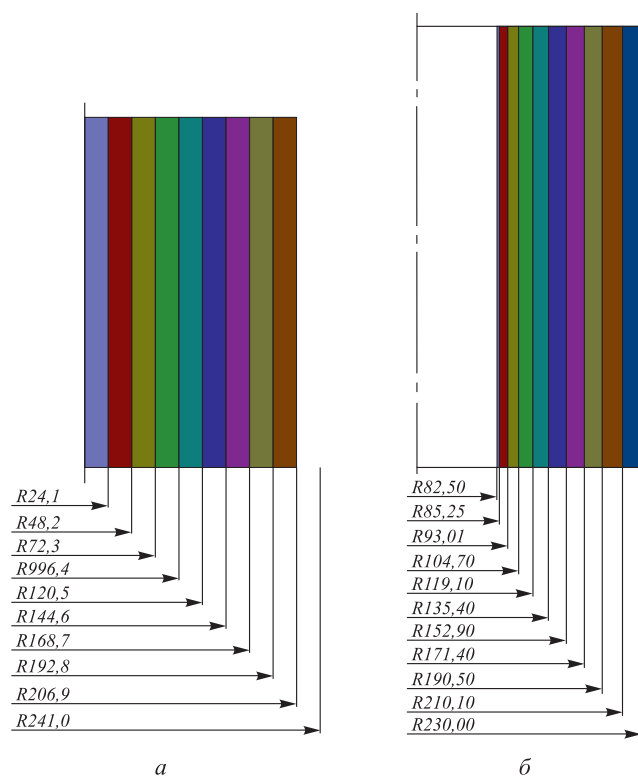


Рис. 2. Исходные размеры слоев в заготовках:
а – сплошная заготовка ($H/D = 0,742$), б – полая заготовка ($H/D = 0,98$, $d/D = 0,36$)

ной заготовки; $R_{0(\text{труб})}$ – внешний радиус гильзы; r_0 – внутренний радиус гильзы.

Для получения объективных результатов математического моделирования деформации заготовок на прессах задавали режимы осадки, соответствующие реальному технологическому процессу производства железнодорожных колес: начальную температуру заготовки, коэффициент трения, скорость деформирования.

При решении задачи учтено также время остывания заготовок при их транспортировке от печи к столу прессы, время передачи заготовок от прессы к прессу и время остывания их при вспомогательных операциях (центровка заготовки, время холостого хода траверс прессов и т.д.) в соответствии с циклом производства железнодорожных колес.

Результаты компьютерного моделирования представлены на рис. 3, где показано течение металла при деформации сплошной и полый заготовок на прессах.

В связи с неравномерностью распределения деформации в сплошной заготовке, обусловленной внешними силами трения и неравномерностью распределения температурного поля, препятствующих истечению металла вблизи контактных поверхностей в радиальном направлении, происходит перемещение металла из срединной части высоты заготовки в сторону периферии (рис. 3, а).

Свободная осадка полый заготовки характеризуется двусторонним течением металла как в сторону периферии, так и к оси заготовки с уменьшением внутреннего диаметра отверстия (рис. 3, з). Такая схема течения металла в основном обусловлена геометрическими размерами исходной полый заготовки, а также технологическими параметрами процесса свободной осадки (высокое тре-

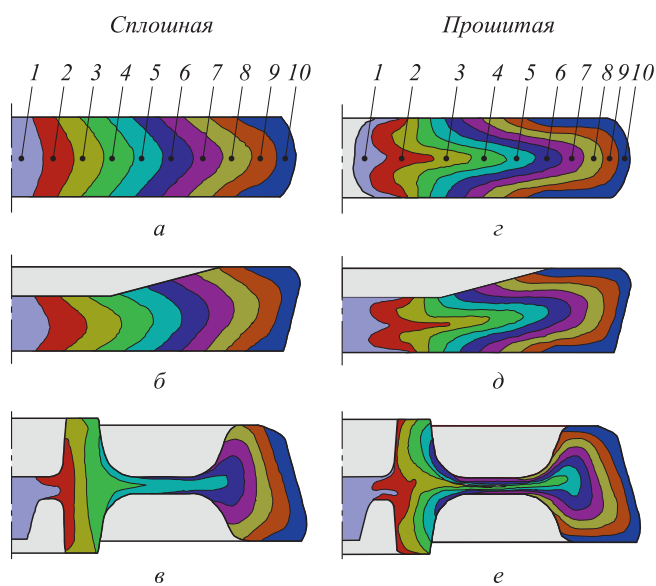


Рис. 3. Формоизменение металла при деформации на прессах:
а, з – свободная осадка, б, д – осадка и разгонка в технологическом кольце, в, е – формовка

ние, температурный фактор, неравномерность распределения температурного поля по высоте заготовки).

Выявлено, что при относительной степени деформации полой заготовки $\varepsilon = 35\%$ течение металла происходит в радиальном направлении с некоторым поднутрением внутренней поверхности стенки отверстия, а при последующем увеличении деформации металл течет (без поднутрения) как к периферии, так и к оси заготовки с заполнением внутренней полости отверстия.

Для получения необходимой формы заготовки по существующей технологической линии производства железнодорожных колес при свободной осадке заготовки необходимо осадить до конечной высоты 118 мм, в результате относительная высотная деформация полой заготовки будет больше по сравнению со сплошной ($\varepsilon = 67,01\%$) и составит $\varepsilon = 73,8\%$ (за счет увеличения высоты заготовки). Также в связи с тем, что течение металла к оси заготовки происходит при относительной степени деформации $\varepsilon = 35\%$, наблюдается интенсивное перемещение металла в срединной части высоты заготовки в сторону периферии и только небольшой объем металла перемещается к оси заготовки.

При данной относительной степени деформации ($\varepsilon = 73,8\%$) полой заготовки внутренний диаметр на торцевой поверхности уменьшается на 44 %, а в наиболее узком месте (в середине высоты заготовки) на 77 % (рис. 3, з). При последующей осадке и разгонке в технологическом кольце внутреннее отверстие закрывается полностью (рис. 3, д).

Деформация полой заготовки на формовочном прессе практически соответствует формовке сплошной заготовки.

Для количественной оценки распределения исходного металла в объеме заготовки после операции формовки полученная поковка была разделена на три конструктивных элемента соответственно: I – ступица, II – диск и зоны перехода: от ступицы к диску и от диска к ободу поковки, III – обод.

Распределение исходного металла в объеме поковки после операции формовки оценивали как отношение объема i -ого слоя (по номерам слоев), из которого формируется конструктивный элемент поковки, к полному его объему:

$$K_i^{(I)} = \frac{V_i^{(I)}}{V_i} 100\%, \quad K_i^{(II)} = \frac{V_i^{(II)}}{V_i} 100\%, \quad K_i^{(III)} = \frac{V_i^{(III)}}{V_i} 100\%,$$

где $K_i^{(I)}$, $K_i^{(II)}$, $K_i^{(III)}$ – коэффициенты, показывающие нахождение части объема i -ого слоя в объеме части поковки ($K_i^{(I)}$ – ступица, $K_i^{(II)}$ – диск и зоны перехода, $K_i^{(III)}$ – обод); $V_i^{(I)}$ – объем i -ого слоя металла, находящегося в части поковки; V_i – полный объем конструктивного элемента поковки.

Принятые коэффициенты показывают, какую долю объем i -ого слоя занимает в объеме конструктивного элемента и из каких слоев металла он формируется.

Численные значения объемов слоев металла определяли согласно результатам работы [4]. Ошибка в определении объемов слоев металла в частях поковки не превышает 4 %.

На основе полученных данных построены графики распределения объемов слоев в заготовке после операции формовки (рис. 4). Точки, лежащие на кривых графика, показывают количественное значение нахождения части слоя металла в объеме конструктивного элемента поковки, а также распределение слоев в частях поковки. Значения точек, соединенные линиями на графике показывают, из каких слоев формируется часть поковки.

Видно, что формирование ступицы при деформации сплошной заготовки происходит из слоев металла 1–4, а при деформации полой заготовки из слоев 1–5.

Формирование ступицы при деформации полой заготовки происходит также из слоев 1–4 и части слоя 5, занимающего более 10 % тела ступицы, находящегося вблизи переходной зоны (от ступицы к диску).

Распределение слоев металла в процессе формирования диска колеса при деформации сплошной и полой заготовок значительно отличается. Из рис. 4 видно, что диск колеса при использовании сплошной заготовки формируется в основном из слоев 5 и 6, что соответствует диапазону радиусов исходной заготовки $R_0 = 96,4 \div 120,5$. Общий их объем в части поковки составляет более 70 %, при этом слой 5 находится внутри основной части тела диска, а слой 6 находится вблизи поверхности. Из слоев 4, 7 и незначительной части слоя 8 ($K_8^{(II)}$ менее 2,5 %) формируются переходные части диска.

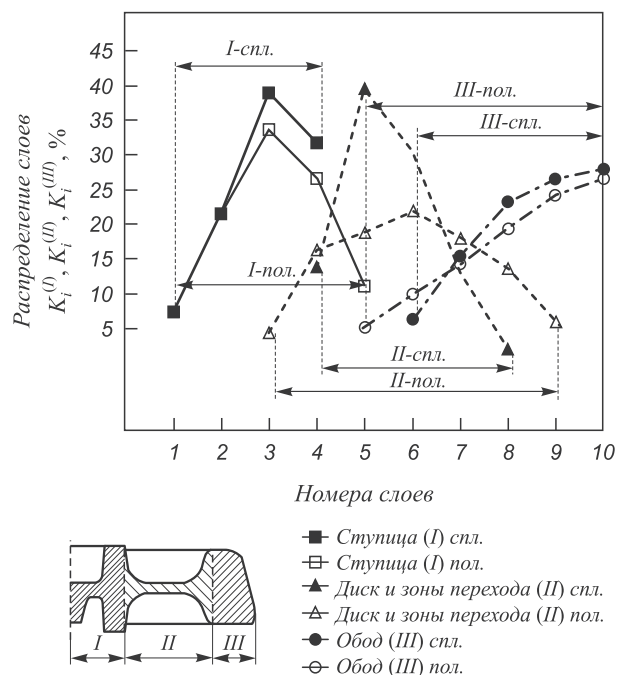


Рис. 4. Распределение слоев металла в объеме заготовки после операции формовки

Формирование тела диска при деформации полой заготовки происходит из различных слоев металла (3 – 9), при этом распределение слоев более равномерное. Основной объем тела диска формируется из слоев 4 – 8 (что соответствует радиусам исходной заготовки $R_0 = 72,3 \div 192,8$) и незначительной части слоев 3, 9, суммарный объем которых в объеме диска составляет не более 11 %.

Основной объем обода колеса в обоих случаях формируется из периферийных слоев исходной заготовки (7 – 10), однако характер распределения слоев металла в диаметральной сечении несколько отличается (рис. 3, в, е).

Выводы. Осуществлено компьютерное моделирование в программном комплексе Deform 3D операций осадки, осадки и разгонки заготовки в технологическом кольце, формовки колеса в соответствии с технологической схемой действующего производства для сплошной и полой заготовки, полученной прошивкой на стане винтовой прокатки.

На основе разделения исходной заготовки на слои показано распределение исходного металла в объеме и характер течения при деформации на прессах сплошной и предварительно приштампованной полой заготовки.

Установлено, что при осадке полой заготовки внутреннее отверстие после второй операции (осадка и разгонка в технологическом кольце) закрывается. При последующей операции (формовка) формоизменение происходит аналогично сплошной заготовке и не требует изменения существующей технологической схемы производства колес.

Дана количественная оценка распределения исходного металла при деформации на прессах в объеме заготовки после операции формовки. Показано, что при использовании полой заготовки формирование частей поковки происходит из большего количества слоев металла, так, например, формирование диска и зон переходов формируется из исходного металла, находящегося в радиусе $R_0 = 72,3 \div 192,8$ сплошной заготовки, а при использовании сплошной $R_0 = 96,4 \div 120,5$.

Такое распределение слоев металла обеспечивается за счет различных схем течения металла при операции свободной осадки и осадки и разгонки в технологическом кольце, а также за счет предварительного обжатия сплошной заготовки при прошивке.

Показано, что при деформации на прессах полой заготовки осуществляется более интенсивное течение металла, чем в сплошной.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Галкин С.П., Харитонов Е.А., Романенко В.П. Радиально сдвиговая прокатка новый высокоэффективный способ обработки металлов давлением. Прогрессивные технологии ОМД. Уч.-метод. пособие. – М.: ИРИАС, 2009. – 600 с.
2. Романенко В.П., Фомин А.В., Яндимиров А.А. // Металлург. 2011. № 7. С. 62 – 65.
3. Галкин С.П., Романцев Б.А. // Производство проката. 2009. № 9. С. 23 – 35.
4. Романенко В.П., Фомин А.В., Севастьянов А.А., Волков М.А. // Изв. вуз. Черная металлургия. 2010. № 9. С. 33 – 35.

© 2012 г. В.П. Романенко, А.В. Фомин, Г.П. Илларионов
Поступила 19 декабря 2011 г.

УДК 621.771.01:681.5.013

Л.А. Кузнецов, А.С. Кондауров

Липецкий государственный технический университет

ИНФОРМАЦИОННЫЙ МЕТОД ИДЕНТИФИКАЦИИ СЛОЖНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Настоящая статья посвящена разработке методологии определения наиболее рациональной сложной технологии производства, например проката с заданными свойствами, опираясь исключительно на данные, получаемые в результате контроля стандартной технологии. Свойства проката именуются далее показателями качества продукции, значения которых формируются технологией. Изменяя значения технологических факторов, можно влиять на значения показателей качества, т.е. управлять качеством через технологию [1, 2].

Принципиальным отличием данной задачи от задач, традиционно решаемых в области статистической обработки для установления связи между отдельными значениями факторов и откликов (входов и выходов), является

необходимость определения в пространстве входов подпространства, наилучшим образом соответствующего заданному подпространству пространства выходов. Оценка этого, в некотором смысле топологического соответствия между подпространствами, должна осуществляться исключительно на основании статистических данных: реализаций технологических факторов, трактуемых входами, и показателей качества продукции, трактуемых выходами. Технологический процесс при этом представляет объект управления.

Технология представляется n -вектором технологических факторов $u = (u_1, ..., u_n)$, качество m -вектором показателей $y = (y_1, ..., y_m)$. Используются технологическое векторное пространство U , которому принадлежат