

Большаков В.И., Листопадов И.Б.

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПРЕССОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОЛЕС

Выполнено исследование работы тяжелого гидравлического пресса с различными алгоритмами управления одной из операций прессования элементов колес. Предложен и опробован алгоритм управления, при котором точность прессования увеличивается более чем на 70%, время операции уменьшается на 30%.

Режимы обжатий заготовок на различных агрегатах технологической линии при формообразовании колес оказывают существенное влияние не только на эффективность процесса, но и на качество продукции. Температурно-скоростные условия деформации, разовые и суммарные обжатия наряду с калибровкой инструмента влияют на получение точных геометрических параметров колес, поверхностные и внутренние дефекты, определяют комплекс свойств колес.

Одной из технологических операций, определяющих точность геометрических размеров черновых колес, является осадка (разгонка) центральной части заготовки, находящейся в кольце [1], которая производится на прессе усилием 50 МН колесопрокатных линий на ОАО «Нижнеднепровский трубопрокатный завод» (НТЗ) и Выксунском металлургическом заводе (ВМЗ). Существенное влияние на предотвращение дефектов колес типа «зажим» оказывает строгое соблюдение рациональной, стабильной величины разгонки [2].

Гидравлическая схема пресса (рис.1) состоит из сервопривода 1 управления кулачковым валом 2, клапанных распределителей 3 и 4 системы управления гидроцилиндром прессования 5 и гидроцилиндрами подь-

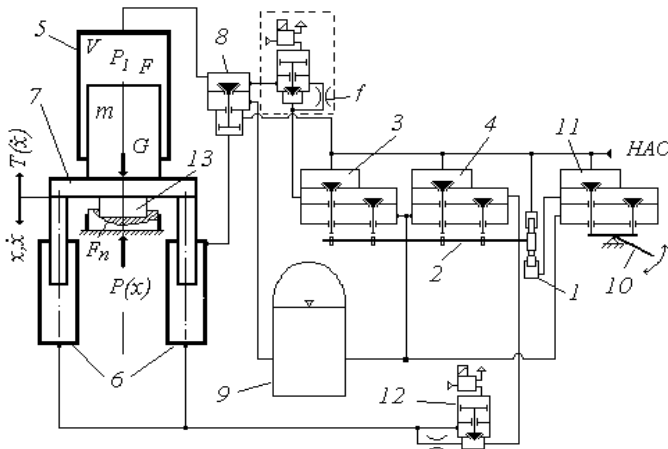


Рис.1 Гидравлическая схема управления прессом усилием 50 МН

ема 6 траверсы 7, клапана наполнения 8, бака–наполнителя 9, ручки 10 управления клапанами распределителя сервоуправления 11, клапана с пневмоуправлением 12 торможения траверсы в верхнем положении.

Операция «разгонка заготовки пуансоном» осуществляется следующим образом. После подачи на ось пресса пуансона 13 (осуществляется с помощью наметки – рычажного механизма с гидроприводом), пуансон прижатый приводом к траверсе 7, опускается на заготовку. Оператор, поворачивая ручку управления прессом 10, переключает клапаны распределителя управления сервоприводом 11, включает сервопривод 1 на поворот кулачкового вала 2. Последний поворачивает кулачки, открывая напорный и закрывая сливной клапаны распределителя 3 управления гидроцилиндром прессования. Клапаны распределителя 4 управления подъемными гидроцилиндрами 6 находятся в следующем состоянии: напорный клапан закрыт, сливной клапан открыт. Жидкость высокого давления от насосно–аккумуляторной станции (НАС) поступает в гидроцилиндр прессования 5 и происходит разгонка заготовки пуансоном со скоростью прессования 0,06 м/с. По достижении заданной величины разгонки оператор сбрасывает высокое давление из гидроцилиндра 5, одновременно подавая высокое давление в гидроцилиндры 6. Траверса пресса 7 вместе с пуансоном отходят от заготовки. Длительность операции по проекту составляет 2с.

Гидросистема пресса не оборудована специальными устройствами для управления режимом его работы при выполнении отдельных операций. Все операции осуществляются четырехклапанным распределителем (дистрибутором) с групповым приводом клапанов и рычажной сервосистемой ручного управления (привод дистрибутора и сервоуправление на схеме не показаны). В процессе эксплуатации пресса установлено, что при разгонке заготовки в кольце с проектной скоростью деформации 0,06 м/с не обеспечивается требуемая точность глубины разгонки. С помощью ручного запорно–регулирующего устройства, установленного на входе в напорную магистраль распределителя (на рис.1 не показано), скорость подачи высокого давления в гидроцилиндр была ограничена. В результате скорость обработки заготовки на прессе (операции «обжатие заготовки в кольце» и «разгонка заготовки») была снижена до 0,027 м/с. Однако, и такая скорость обработки заготовки не обеспечила требуемую точность глубины разгонки. Среднеквадратичное отклонение глубины разгонки (σ) составляло 2,49мм. Математическое ожидание – 28,42мм. Зафиксированный размах отклонений от математического ожидания составил 7,74мм. Длительность операции «разгонка заготовки» выросла до 2,4 с, т.е. на 20%. Машинное время обработки заготовки на прессе увеличилось на 15%. Для установления причин неравномерности глубины разгонки и разработки мероприятий по созданию условий обработки заготовки с требуемой точностью, сотрудниками Института черной металлургии прове-

ден анализ факторов, определяющих точность разгонки заготовки пуансоном.

Расчетная схема прессы в фазе разгонки (рис.1) принята в виде одно-массовой системы с массой m , которая взаимодействует с деформируемым металлом и с упругим столбом жидкости в гидроцилиндрах прессы. Масса m представляет собой массу подвижных частей прессы и приведенную к площади гидроцилиндра прессования F массу жидкости в гидроцилиндрах подъема и магистралах. Согласно данным экспериментальных исследований, давление в гидроцилиндре подъема во время разгонки заготовки равно давлению слива.

Уравнение движения массы m при таких начальных условиях имеет вид:

$$m \frac{dU}{dt} = p_1 F + G - P(x) - T(x), \quad (1)$$

где $U = f(x)$ – скорость траверсы прессы, x – перемещение плунжера гидроцилиндра, p_1 – давление в гидроцилиндре прессования, $P(x)$ – сила технологического сопротивления, G – сила тяжести подвижных масс прессы и жидкости в гидроцилиндре, $T(x)$ – сила сопротивления перемещению траверсы прессы, которое включает в себя силы трения в направляющих траверсы и уплотнениях гидроцилиндров, потери давления по длине и на местных сопротивлениях напорного трубопровода.

$$T(x) = RSgn x + a x^2 \quad (2)$$

Поскольку скорость траверсы в фазе разгонки мала, то действие жидкостного трения в дальнейшем не учитывалось. Силу технологического сопротивления $P(x)$ определяем по формуле Э.Зибеля [3]

$$P(x) = \sigma_s F_n \left(1 + \frac{\mu D}{3H} \right), \quad (3)$$

где F_n – площадь пуансона, σ_s – сопротивление деформации материала заготовки, D и H – диаметр пуансона и высота заготовки в рассматриваемый момент.

Для уменьшения длительности обработки заготовки на прессе и повышения точности разгонки рассматривался алгоритм управления прессом при операции «разгонка заготовки», заключающийся в следующем. Начало разгонки производится на скорости 0,06 м/с. При достижении пуансоном глубины, близкой к заданной, прекращается подача в гидроцилиндр жидкости высокого давления (соответствует состоянию $f=0$ на рис.1). Траверса прессы по инерции перемещается на величину «выбега» Δx и останавливается. Таким образом, величина разгонки h должна состоять из пути x , проходимого траверсой при скорости 0,06м/с и перемещения по инерции Δx , т.е. $h = x + \Delta x$. Величину выбега Δx можно определить из расхода запасенной траверсой прессы кинетической энергии на преодо-

ление сил сопротивления движению. Для этого необходимо проинтегрировать уравнение (1) с учетом падения давления в гидроцилиндре прессования. Изменение давления в гидроцилиндре будет иметь вид

$$p_1^F = p_0^F - \frac{EF^2(y-x_0)}{V} \quad (5)$$

где p_0 – давление в гидроцилиндре в момент прекращения подачи высокого давления, E – приведенный модуль упругости жидкости и трубопроводов, x_0 – величина разгонки до прекращения подачи высокого давления в гидроцилиндр, V – объем гидроцилиндра и напорной магистрали, y – координата, $x_0 < y < x_0 + \Delta x$.

$$\frac{mU^2}{2} = \int_{x_0}^{x_0+\Delta x} \left[P(x) + T(x) - G - \left(p_0^F - \frac{EF^2(y-x_0)}{V} \right) \right] dy; \quad (6)$$

Полагая в уравнении (3) переменную $H = H_0 - x$, где H_0 – начальная высота заготовки и решая уравнение (6) относительно Δx , получаем:

$$\frac{EF^2}{2V} \Delta x^2 - \left[p_0^F + G - T(x) - \sigma_s F_n \left(1 + \frac{\mu D}{3\Delta x} \ln \frac{H - H_0}{H - x_0 - \Delta x} \right) \right] \Delta x - \frac{mU^2}{2} = 0;$$

откуда, обозначая коэффициент при Δx через ΣP и жесткость гидросистемы $C = \frac{EF^2}{V}$, получаем $\Delta x = \frac{\Sigma P}{C} + \sqrt{\left(\frac{\Sigma P}{C} \right)^2 + \frac{CmU^2}{C^2}}$.

Обозначая $\frac{\Sigma P}{C} = \Delta x_{cm}$ и $\frac{CmU^2}{C^2} = \Delta x_{дин}^2$, получаем окончательно:

$$\Delta x = \Delta x_{cm} + \sqrt{\Delta x_{cm}^2 + \Delta x_{дин}^2}. \quad (7)$$

Из уравнения (7) следует, что выбег траверсы прессы по инерции имеет статическую и динамическую составляющие. Статический выбег зависит от реологических свойств металла и размеров заготовки. Реологические свойства материала заготовки могут изменяться при изменении температурного режима прокатки и поэтому отклонения глубины разгонки от заданной будут пропорциональны разбросу температуры заготовки. Динамический выбег является определяющим и зависит от скорости прессования перед запириением напорной магистрали. Опробование деформации заготовок при скорости 0,06 м/с с запириением напорной магистрали перед достижением заданной глубины разгонки не дало положительных результатов. Основной причиной является сложность точного определения момента прекращения подачи в гидроцилиндр жидкости высокого давления.

После анализа влияния различных факторов на величину выбега траверсы при разгонке, был предложен и опробован другой алгоритм управления прессом при разгонке заготовки. По этому алгоритму разгонка начинается на проектной скорости обжатия 0,06 м/с. За 4–5 мм до заданной глубины разгонки траверсу прессы переводят на ползучую скорость. По достижении заданной глубины разгонки траверсу останавливают. В двухступенчатом алгоритме управления используется основной вывод иссле-

дования – величина выбега траверсы зависит от начальной скорости прессования перед запирающим напорной магистральной.

Реализация алгоритма управления с введением ползучей скорости траверсы может осуществляться с использованием штатных средств управления двумя способами. Первый способ перехода на ползучую скорость основан на использовании конструктивных особенностей клапанов распределителей – возможность открытия при подаче высокого давления только разгрузочного клапана без открытия основного клапана. Применение такого способа требует идеальной настройки системы управления прессом и высокой квалификации операторов. Кроме того, эрозия элементов разгрузочного клапана из-за высоких скоростей потока жидкости приводит к выходу клапанов из строя. Второй способ снижения скорости прессования состоит в периодическом закрытии клапанов (работа в релейном режиме). Такой способ требует дополнительных действий оператора по управлению прессом, но более прост в реализации. На рис.2 приведена осциллограмма работы пресса при реализации разгонки заготовки с использованием ползучей скорости. Ползучая скорость реализуется периодическим закрытием напорного клапана. На рис.2 обозначено: U – скорость траверсы пресса, P – давление в гидроцилиндре прессования, S – перемещение ручки управления прессом, h – перемещение траверсы пресса. Видно, что начало разгонки происходит на скорости 0,06 м/с. Затем оператор закрывает и тут же приоткрывает напорный клапан (кривая S на рис.2). Траверса приостанавливается, а затем движется на ползучей скорости (кривые U и h на рис.2). По достижении заданной глубины разгонки оператор закрывает напорный клапан и поднимает траверсу.

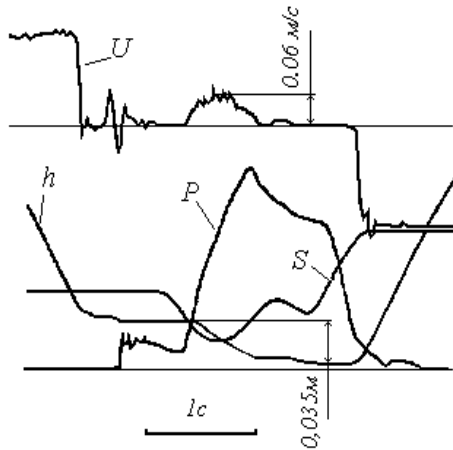


Рис.2. Осциллограмма работы пресса 50МН при разгонке заготовки

Снижение скорости траверсы при разгонке заготовки без дополнительных операций и связанных с ними гидроударов возможно созданием локальной системы управления скоростью прессования. Система, в зависимости от состава ее элементов, может работать в автоматическом, полуавтоматическом и ручном режимах. Такая система повышает надежность работы пресса и обеспечивает высокую точность разгонки при минимальном времени обработки заготовки. Для создания системы управления в

гидросистему пресса вводится дополнительный запорный клапан с дросселем, выделенные на рис.1. Отличие разгонки заготовки с локальной системой управления заключается в том, что вместо дополнительного ручного управления оператор закрывает дополнительный клапан. Жидкость высокого давления поступает в гидроцилиндр прессования через дроссель f (рис.1), ограничивая скорость подачи жидкости высокого давления и скорость разгонки. Перед подъемом траверсы оператор открывает дополнительный клапан. Все операции по разгонке можно производить и в автоматическом режиме.

Локальная система управления скоростью прессования была опробована на прессе усилием 50 МН колесопрокатной линии ОАО НТЗ и введена в опытно–промышленную эксплуатацию на аналогичном прессе колесопрокатной линии ВМЗ. Результаты исследований работы пресса при различных значениях скорости прессования приведены в таблице.

Таблица. Точность и время выполнения операции «разгонка заготовки пуансоном» при различных скоростях осадки.

Скорость осадки, м/с	Ползучая скорость, м/с	Математич.ожидание, М, мм	Ср.квadrat. отклонение σ , мм	Максимальное отклонение, мм	Время рагонки, с
0,027	–	28,42	2,49	7,74	2,4
0,06	0,01	32,70	2,04	6,9	1,41
0,06	0,003	32,57	0,67	1,34	1,69

Результаты исследований, опытных и опытно–промышленных обработок заготовок на прессе показывают, что применение локальной системы управления разгонкой дает положительный эффект. При применении ступенчатой скорости деформации со второй ступенью – ползучей скоростью равной 0,005 – 0,003 м/с обеспечивается точность глубины разгонки не ниже $\pm 0,7$ мм. Изменение закона распределения отклонений глубины разгонки от равномерного при осадке заготовок без ползучей скорости или с ползучей скоростью > 0.005 м/с до нормального при ползучей скорости ≤ 0.005 м/с свидетельствует о том, что влияние сил инерции подвижных масс пресса на точность разгонки при такой скорости окончания осадки незначительна. Дальнейшее повышение точности разгонки возможно путем стабилизации температурного режима обработки колес.

1. *Прокатное и трубное производство* / И.Я. Тарновский, С.В.Макаев, О.А. Ганаго и др. // М.: Металлургиздат, 1959, С. 3–12.
2. *Производство железнодорожных колес* / Г.А. Бибик, А.М. Иоффе, А.В.Праздников, М.И.Староселецкий // М.: Металлургия, 1982, С. 145.
3. *Теория обработки металлов давлением* / И.Я. Тарновский, А.А. Поздеев, О.А.Ганаго и др. // М.: Металлургиздат, 1963 – 672 с.

Статья рекомендована к печати д.т.н. С.М.Жучковым