

РАЗДЕЛ IV ОБОРУДОВАНИЕ И ОСНАСТКА ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ

УДК 621.733

Корчак Е. С.
Шинкаренко О. М.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ДЕКОМПРЕССИИ РАБОЧИХ ЦИЛИНДРОВ КОВОЧНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРЕССОВ И РАЗУПРОЧНЕНИЯ МЕТАЛЛА ПОКОВКИ ПО ОКОНЧАНИИ РАБОЧЕГО ХОДА

В рабочих цилиндрах гидравлических прессов за время рабочего хода накапливается энергия упругой деформации рабочей жидкости высокого давления и элементов металлоконструкции [1, 2]. Поэтому по окончании рабочего хода необходимым является осуществление быстрой и безударной декомпрессии силовых цилиндров. При этом считается, что процесс декомпрессии как таковой не определяет точностные параметры рабочего хода, но оказывает значительное влияние на производительность, быстродействие и надежность работы всего пресса и системы его управления [3]. Однако, несмотря на то, что рабочий ход считается завершенным, во время декомпрессии рабочих цилиндров, которая в среднем длится на прессах различных усилий 0,5...1,5 с, горячая поковка остается зажатой между бойками пресса до тех пор, пока давление в рабочих цилиндрах не упадет до уровня, допустимого для открытия наполнительно-сливного клапана [4].

Как известно, на рабочем ходе в процессе обжатия металл упрочняется. Одновременно с этим происходят динамические процессы возврата, полигонизации и рекристаллизации, приводящие к разупрочнению металла в паузах между обжатиями [5]. Процесс декомпрессии рабочих цилиндров гидравлического пресса по окончании рабочего хода как раз и является такой паузой, в течение которой нельзя не учитывать влияние термического разупрочнения на технико-экономические показатели технологического процессаковки.

Таким образом, целью данной научной работы является установление взаимосвязи декомпрессии рабочих цилиндров ковочных гидравлических прессов и разупрочнения металла поковки по окончании рабочего хода.

На рис. 1 представлена типовая диаграмма процессов, происходящих при декомпрессии рабочих цилиндров по окончании рабочего хода при промышленной ковке на плоских бойках квадрата 220мм x 220мм из круга, величина обжатия при этом составила 84 мм. Материал поковки – легированная сталь 30X13 [6].

Как видно из рис. 1, по окончании рабочего хода, т.е. после закрытия впускного клапана рабочих цилиндров (кривая 7), поперечина (кривая 6) не останавливается в нижнем положении, а продолжает опускаться вниз, деформируя поковку, что связано с ее разупрочнением [3, 7]. Через 0,2 с, пройдя 2,5 мм, что соответствует величине инерционного выбега S_p , поперечина (кривая 6) останавливается. Во время инерционного выбега S_p поперечины закрывается сливной клапан возвратных цилиндров (кривая 4), открываются сливной клапан рабочих цилиндров (кривая 3) и впускные клапана возвратных цилиндров (кривая 5). Проседание поперечины (кривая 6) в пределах инерционного выбега S_p приводит к незначительному (с 30 до 27 МПа) падению давления в рабочих цилиндрах (кривая 1), т. к. напорный клапан (кривая 7) закрыт, а сливной клапан (кривая 3) только начинает открываться. При этом жидкость в рабочих цилиндрах находится в замкнутом объеме, а поперечина (кривая 6) продолжает свое движение вниз. Поэтому после деформирования металла декомпрессия (разгрузка) рабочих цилиндров (кривая 1) начинается с более низкого давления,

нежели давление в момент закрытия напорного клапана (кривая 7), т. е. в момент окончания рабочего хода. Во время инерционного выбега S_p давление в возвратных цилиндрах (кривая 8) повышается, т. к. сливной клапан возвратных цилиндров (кривая 4) закрывается, а поперечина (кривая 6), продолжая свое движение вниз, сжимает в них жидкость.

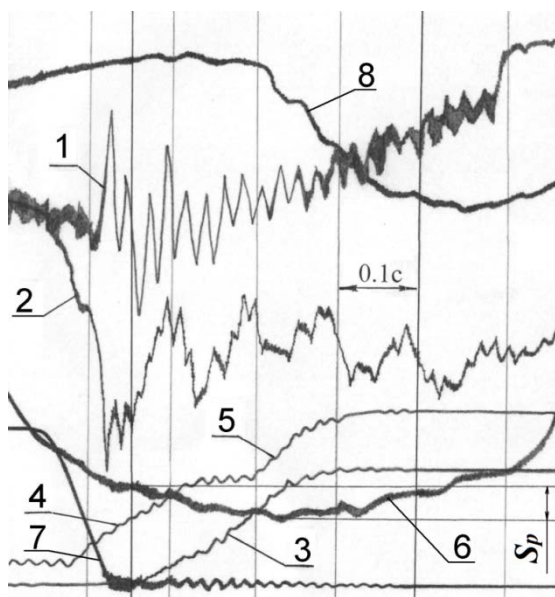


Рис. 1. Типовая диаграмма процессов, происходящих при декомпрессии рабочих цилиндров по окончании рабочего хода :

1 — давление в рабочих цилиндрах; 2 — давление в гидролинии от насосно-аккумуляторной станции; 3 — ход разгрузочного клапана рабочих цилиндров; 4 — ход сливного клапана возвратных цилиндров; 5 — ход впускного клапана возвратных цилиндров; 6 — ход подвижной поперечины; 7 — ход впускного клапана рабочих цилиндров; 8 — давление в возвратных цилиндрах

Согласно диаграмме (рис. 1) декомпрессия рабочих цилиндров длится 0,45 с. Сливной клапан возвратных цилиндров (кривая 4) закрывается за 0,2 с, а через 0,1 с с момента его закрытия начинает открываться разгрузочный клапан рабочих цилиндров (кривая 3), установленный в главном клапанном распределителе. Затем через 0,15 с с момента начала открытия последнего начинает открываться впускной клапан возвратных цилиндров (кривая 5). До момента начала открытия клапана (кривая 5) поперечина (кривая 6) неподвижна, т.к. давление в возвратных цилиндрах (кривая 8) порядка 0,5 МПа, соответствующее давлению в сливном баке (на рис. 1 не показано). Через открывающийся сливной клапан рабочих цилиндров (кривая 3) осуществляется процесс декомпрессии рабочих цилиндров (кривая 1). До начала открытия впускного клапана возвратных цилиндров (кривая 5) давление в рабочем цилиндре (кривая 1) падает на 2,3 МПа. Давление в гидролинии от насосно-аккумуляторной станции (кривая 2) остается неизменным.

Как только начинает открываться впускной клапан возвратных цилиндров (кривая 5) процесс дросселирования жидкости при ее истечении из рабочих цилиндров становится более интенсивным из-за нарастающего усилия со стороны возвратных цилиндров. Давление в гидролинии от насосно-аккумуляторной станции (кривая 2) во время открытия впускного клапана возвратных цилиндров (кривая 5) падает до 30 МПа, т. к. жидкость высокого давления расходуется на заполнение возвратных цилиндров. Давление в возвратных цилиндрах (кривая 8) повышается, и к моменту полного открытия впускного клапана возвратных цилиндров (кривая 5) составляет 31,2 МПа. К концу декомпрессии при полностью открытых клапанах (кривая 3) и (кривая 5) поперечина (кривая 4) неподвижна. Некоторый подъем кривой 6 соответствует выпрямлению стола пресса. Декомпрессия рабочих цилиндров длится до тех пор, пока давление в рабочих цилиндрах не упадет до 3,4 МПа. Давление в гидроли-

нии от насосно-аккумуляторной станции (кривая 2) и возвратных цилиндрах (кривая 8) при этом колеблется относительно значений 32 МПа и 31 МПа соответственно.

Исследования разупрочнения металла поковки в период и после рабочего хода показывают, что [3, 7]:

- до закрытия впускного клапана рабочих цилиндров (кривая 7) сопротивление поковки деформированию растёт, т. е. она упрочняется в процессе деформирования;
- во время закрытия клапана – остается примерно постоянным;
- после закрытия клапана (кривая 7) сопротивление поковки убывает, т. е. она, находясь под гидростатическим давлением со стороны рабочих цилиндров, интенсивно разупрочняется, что и является причиной появления выбега S_p .

Во время декомпрессии в результате открытия разгрузочного клапана рабочих цилиндров (кривая 3), гидростатическая сила, воздействующая на поковку, убывает, позволяя выпрямиться столу пресса. При этом поковка остается зажатой между бойками.

Основной математического описания движения поперечины после закрытия впускного клапана рабочих цилиндров (кривая 7) за время t является уравнение Риккати в виде [3]:

$$a_2 \frac{d^2 S_2}{dt^2} - c_2 + K_1(S_2 - S_{1\max}) + K_2 t + R_n - K_3 t^m = 0, \quad (1)$$

где a_2 – приведенные к подвижной поперечине движущиеся массы на участке гидропривода «впускной клапан – рабочий цилиндр»; c_2 – активные силы, воздействующие на приведенные массы a_2 ; S_2 – путь приведенных масс a_2 ; K_1 – приведенная к поперечине линейная жесткость упругих элементов на участке гидропривода «впускной клапан – рабочий цилиндр»; R_n – сопротивление поковки деформированию до закрытия дроссельного регулирующего клапана; K_2 – коэффициент интенсивности декомпрессии рабочих цилиндров; K_3 – коэффициент интенсивности разупрочнения металла поковки; $S_{1\max}$ – путь, пройденный массой a_1 к моменту закрытия клапана; m – показатель степени разупрочнения.

По окончании рабочего хода в результате закрытия впускного клапана (рис. 1) происходит полное разделение гидропривода на два участка разных приведенных масс – «аккумулятор – впускной клапан» и «впускной клапан – рабочий цилиндр». Первая масса полностью затормаживается впускным клапаном, а вторая a_2 продолжает свое движение. В связи с отсечением аккумулятора энергетический запас пресса уже ничем не пополняется. Накопленные кинетическая и потенциальная энергии расходуются, в основном, на продвижение поперечины вниз и преодоление сил сопротивления (c_2).

Величины коэффициентов a_2 и c_2 определяются из чертежей разводок трубопроводов и гидравлических схем систем управления прессами. Соответствующие методики подробно изложены в статье [8], и в данной работе автором не приводятся.

Коэффициент K_1 определяется по диаграмме (рис. 1) в интервале паузы между закрытием впускного клапана (кривая 7) и открытием разгрузочного (кривая 3), когда поперечина под действием инерционных и сил упругости движется вниз. В результате этого замкнутый объем рабочих цилиндров увеличивается, а давление жидкости падает, т. е.

$$K_1 = \frac{\Delta p}{\Delta S} F_p, \quad (2)$$

где Δp – падение давления в замкнутом объеме рабочих цилиндров; ΔS – перемещение поперечины под действием сил упругости; F_p – активная площадь рабочего цилиндра.

Коэффициент K_2 также определяется из диаграммы (рис. 1) по формуле:

$$K_2 = \frac{\Delta p_c}{t_c} F_p, \quad (3)$$

где Δp_c – падение давления в рабочих цилиндрах при декомпрессии; t_c – время протекания процесса декомпрессии.

Величина R_n сопротивления поковки деформированию пропорциональна текущему значению давления в рабочих цилиндрах прессы (кривая 1 рис. 1).

После закрытия впускного клапана изменение усилия сопротивления поковки деформированию является функцией времени и происходит по экспоненциальному закону [5]. Величины коэффициента K_3 и показателя m определяют по кривым разупрочнения для различных материалов в зависимости от температурных условий и скорости деформации.

Анализ уравнения (1) показывает, что выбег поперечины S_p после закрытия впускного клапана включает две составляющих:

- чисто инерционную (S_u), обусловленную уровнем накопленной подвижными частями кинетической энергии;
- гидростатическую (S_g), обусловленную упругостью рабочей жидкости и разупрочнением металла поковки.

На рис. 2 приведены зависимости величины инерционного выбега S_p подвижной поперечины от коэффициентов K_3 (а) и K_2 (б). Интенсивность разупрочнения K_3 оказывает существенное влияние на величину выбега поперечины S_p . Кривая сначала идет полого, а затем следует резкий подъем, свидетельствующий о значительном приросте влияния разупрочнения на величину выбега поперечины. При снижении величины K_3 до нуля получаем чисто инерционную составляющую выбега S_u . При этом само по себе разупрочнение не является управляемой величиной. Однако его влияние на выбег можно скомпенсировать декомпрессией рабочих цилиндров, что подтверждается кривой зависимости величины выбега поперечины S_p от величины коэффициента K_2 при наличии разупрочнения поковки.

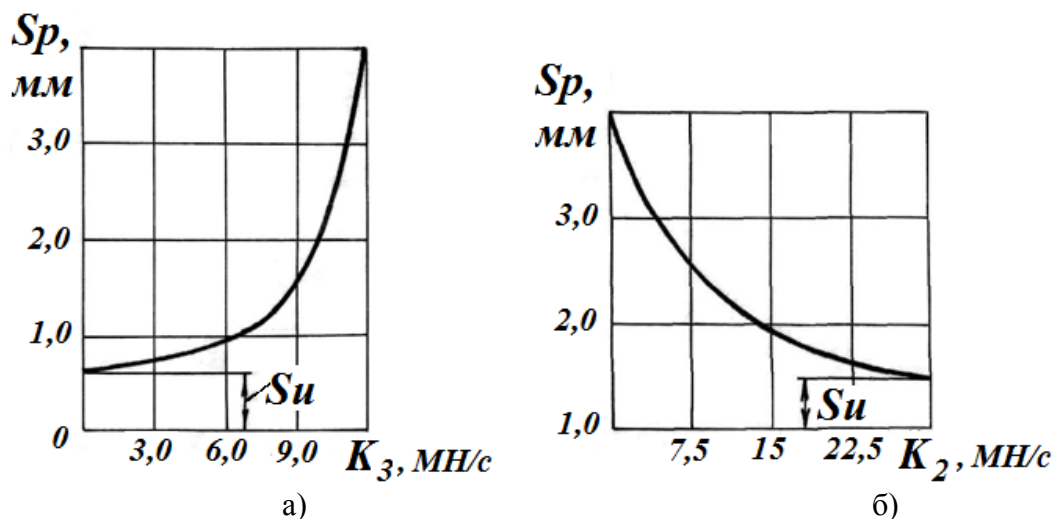


Рис. 2. Графики зависимости величины инерционного выбега S_p подвижной поперечины от коэффициентов K_3 (а) и K_2 (б)

ВЫВОДЫ

1. Процессы декомпрессии рабочих цилиндров ковочных гидравлических прессов и разупрочнения металла поковки по окончании рабочего хода находятся в тесной взаимосвязи – величина гидростатического давления в рабочих цилиндрах определяет интенсивность разупрочнения, и наоборот, чем интенсивнее происходит процесс разупрочнения, тем больше интенсивность падения давления перед и в процессе декомпрессии.

2. Изменение коэффициентов K_3 и K_2 не влияет на чисто инерционную составляющую S_u выбега, а определяется величинами a_2 и c_2 , т. е. параметрами гидросистемы управления и конструкцией подвижных масс прессы.

3. Для устранения гидростатической составляющей S_g необходимо декомпрессию рабочих цилиндров осуществлять с интенсивностью, равной или превышающей интенсивность разупрочнения металла поковки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Billur E. Chapter 12: Hydraulic Presses / E. Billur // *Sheet Metal Forming Fundamentals*. – ASM International, 2012. – Vol. 21. – P. 181–201.
2. Cold and hot forging : fundamentals and applications / Taylan Altan, Gracious Ngaile, Gangshu Shen. – ASM International, 2004. – 334 p. – ISBN 0-87170-805-1.
3. Шинкаренко О. М. Совершенствование гидравлических приводов прессов : монография / О. М. Шинкаренко, Е. С. Корчак. – Краматорск : ДГМА, 2014. – 142 с. – ISBN 978-966-379-671-0.
4. Корчак Е. С. Динамические особенности возвратного хода и процесса разгрузки рабочих цилиндров от давления ковочных гидравлических прессов / Е. С. Корчак // *Вестник машиностроения*. – М. : Машиностроение, 2008. – №10. – С. 67–70.
5. Марков О. Е. Установление аналитической связи между напряжениями и скоростями деформаций для моделирования процессов горячего деформирования / О. М. Марков // *КШП. ОМД*. – Москва, 2012. – №7. – С. 32–37.
6. Шинкаренко О. М. Методология исследования параметров гидравлического кузнечно-прессового оборудования / О. М. Шинкаренко, Е. С. Корчак // *КШП. ОМД*. – Москва, 2013. – №10. – С. 27–32.
7. Шинкаренко О. М. Разупрочнение металла поковки при разгрузке рабочих цилиндров ковочных гидравлических прессов / О. М. Шинкаренко, Е. С. Корчак // *Застосування теорії пластичності в сучасних технологіях обробки тиском і автотехнічних експертизах. Збірник тез доповідей міжнародної науково-технічної конференції, м. Вінниця, 29 травня – 1 червня 2006 року*. – Вінниця : ВНТУ, 2006. – С. 71–72.
8. Korchak E. S. Inverse Pass of Hydraulic Presses and Pressure Unloading of Working Cylinders / E. S. Korchak // *Russian Engineering Research*. – 2011. – Vol. 31. – №2. – P. 113–115. – Springer article's personal DOI: 10.3103/S1068798X11020110.
9. Korchak E. S. Decompression Dynamics of High-Pressure Hydraulic Cylinders / E. S. Korchak // *Russian Engineering Research*. – 2011. – Vol. 32. – №9–10. – P. 623–626. – Springer article's personal DOI: 10.3103/S1068798X12070143.

REFERENCES

1. Billur E. Chapter 12: Hydraulic Presses / E. Billur // *Sheet Metal Forming Fundamentals*. – ASM International, 2012. – Vol. 21. – P. 181–201.
2. Cold and hot forging : fundamentals and applications / Taylan Altan, Gracious Ngaile, Gangshu Shen. – ASM International, 2004. – 334 p. – ISBN 0-87170-805-1.
3. Shinkarenko O. M. Sovershenstvovanie gidravlicheskih privodov pressov : monografiya / O. M. Shinkarenko, E. S. Korchak. – Kramatorsk : DGMA, 2014. – 142 s. – ISBN 978-966-379-671-0.
4. Korchak E. S. Dinamicheskiye osobennosti vozvratnogo hoda i processa razgruzki rabochih cilindrov ot davleniya kovochnih gidravlicheskih pressov / E. S. Korchak // *Vestnik mashinostroeniya*. – M. : Mashinostroyeniye, 2008. – №10. – S. 67–70.
5. Markov O. E. Ustanovlenie analiticheskoy svyazi mezdu napriazheniyami i skorostiami deformatsiy dlia modelirovaniya processov goriachego deformirovaniya / O. M. Markov // *KShP. OMD*. – Moskva, 2012. – №7. – S. 32–37.
6. Shinkarenko O. M. Metodologiya issledovaniya parametrov gidravlicheskogokuznechno-pressovogo oborudovaniya / O. M. Shinkarenko, E. S. Korchak // *KShP. OMD*. – Moskva, 2013. – №10. – S. 27–32.
7. Shinkarenko O. M. Razuprochneniye metalla pokovki pri razgruzke rabochih cilindrov kovochnih gidravlicheskih pressov / O. M. Shinkarenko, E. S. Korchak // *Zastosuvannia teoriiy plastichnosti v suchasniy tehnologiyah obrobki tiskom i avtotehniknih ekspertizah. Zbirnik tez dopovidey miznarodnoyi naukuvo-tehniknoyi konferenciyi, m. Vinnicia, 29 travnia – 1 chervnia 2006 roku*. – Vinnicia : VNTU, 2006. – S. 71–72.
8. Korchak E. S. Inverse Pass of Hydraulic Presses and Pressure Unloading of Working Cylinders / E. S. Korchak // *Russian Engineering Research*. – 2011. – Vol. 31. – №2. – P. 113–115. – Springer article's personal DOI: 10.3103/S1068798X11020110.
9. Korchak E. S. Decompression Dynamics of High-Pressure Hydraulic Cylinders / E. S. Korchak // *Russian Engineering Research*. – 2011. – Vol. 32. – №9–10. – P. 623–626. – Springer article's personal DOI: 10.3103/S1068798X12070143.

Корчак Е. С. – докторант, канд. техн. наук, доц. ДГМА;
Шинкаренко О. М. – канд. техн. наук, доц. ДГМА.

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E-mail: helen_korchak@ukr.net