

УДК 621.97.06

Корнилова А. В.
Идармачев И. М.
Батарин Р. В.
Тет Паинг

РАЗРАБОТКА ОСНОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАШИН ДЛЯ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ С ЗАДАННОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТЬЮ

В рыночных условиях экономическая целесообразность жестко диктует производству необходимость снижения себестоимости продукции. Одним из малозатратных направлений снижения себестоимости является проектирование и изготовление оборудования и инструмента строго ограниченной программой заказа долговечности. Существует ряд работ по проектированию штампового инструмента ограниченной долговечности [1–3], есть работы по проектированию металлургического оборудования [4] и др. Однако к крупногабаритному металлоемкому кузнечно-прессовому оборудованию такие подходы практически не применяются. Но именно в этой области они могут обеспечить большую экономическую эффективность за счет снижения металлоемкости, сроков изготовления крупногабаритных деталей, снижение нагрузок на фундаменты, снижение транспортных расходов. По этому пути пошла японская фирма AIDA Engineerin, которая изготовила гамму кривошипных горячештамповочных прессов (КГШП) со строго ограниченной (и указанной в паспорте каждого пресса) долговечностью. Такой подход, естественно, не может считаться универсальным, но в современных условиях, когда повторяемость заказов (обуславливающих необходимую технологическую силу пресса, вид графика рабочих нагрузок и т.д.) мала, имеет право на свое место в системе проектирования. Самая сложная задача при таком подходе – сохранение необходимого уровня жесткости при существенном снижении металлоемкости.

Это требует новой научной базы, включающей в себя адаптацию методов неразрушающего контроля и диагностики, нормирование допускаемых дефектов (размеров, конфигурации, расположения). Возникает задача исследования влияния некоторых факторов на долговечность базовых деталей, которые при традиционной схеме проектирования (с большими коэффициентами запаса) не считаются влияющими. Например, температурная инсоляция штамповой зоны КГШП при выполнении технологической операции и др. Возникает задача пересмотра традиционной системы коэффициентов запаса. Эта работа проводится в департаменте АИС Российского университета дружбы народов и на кафедре композиционных материалов МГТУ «Станкин». Работа не закончена, но некоторые результаты уже есть.

1. Разработаны методы снижения локальных напряжений в базовых деталях прессов. Наиболее металлоемкой частью кузнечно-прессового оборудования является станина. Исследования напряжений (натурный эксперимент в заводских условиях и расчеты методом конечных элементов в варианте метода перемещений) в узлах прессов показали, что напряжения в станинах распределены неравномерно с характерными пиками возле мест крепления валов, технологических окон, отверстий. Ниже показана на (примере станины пресса типа Эджекс [5]) возможность снижения уровня напряжений при постоянной жесткости и одинаковых нагружающих силах (конструкция рис. 1) за счет изменения радиуса перехода ребра 1 в основной металл станины (рис. 2). Нижняя и верхняя границы радиуса перехода определяются конструктивными особенностями станины. В табл. 1 приведены результаты конечно-элементного моделирования. Показано, что при правильном оформлении перехода (без увеличения металлоемкости) возможно увеличить долговечность в 4,6 раза. В табл. 1 приведены результаты конечно-элементного моделирования. На рис. 3 показан расчетный график зависимости долговечности станины от радиуса ребра.

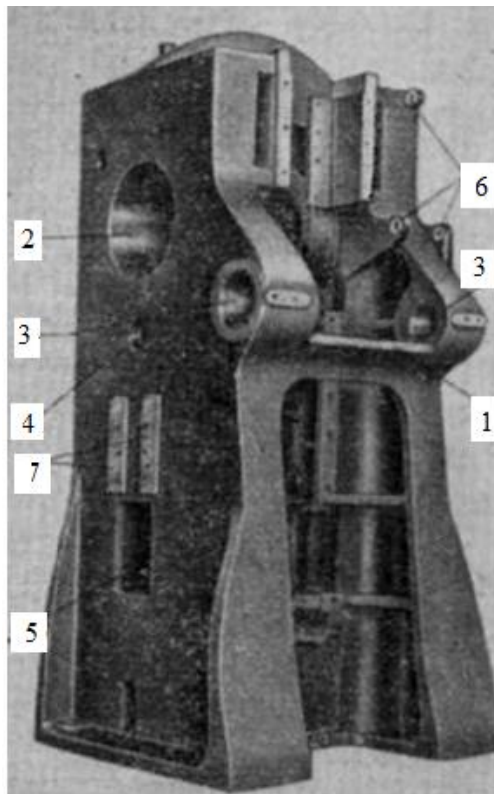


Рис. 1. Станина КГШП с конструктивными особенностями (1 – дополнительное ребро, 2 – круглые окна для монтажа неразъемных опор главного вала, 3 – круглые отверстия для установки приемного вала, 4 – отверстия для демонтажа пальцев крепления шатуна с ползуном, 5 – окна для подачи заготовок и встраивания средств автоматизации, 6 – приливы станины (между ними площадка для электродвигателя и приспособления для регулировки натяжения ремней), 7 – площадка для крепления кронштейна)

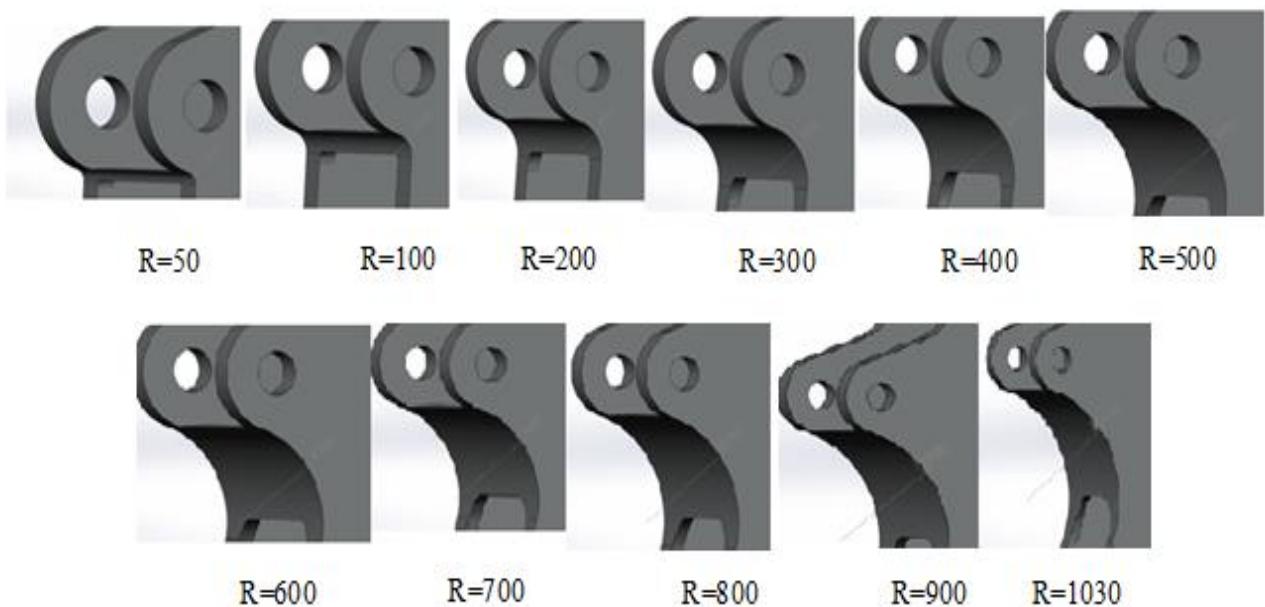


Рис. 2. Переход ребра 1 в основной металл станины с различными радиусами (мм) (увеличенные части конечно-элементных моделей)

Таблица 1

Зависимость числа циклов до разрушения N от радиуса R

R , мм	550	1100	2200	3300	4400	5500	6600	7700	8800	8900	11030
$N \cdot 10^6$	11,38	33,53	44,82	66,33	55,67	55,56	55,30	44,45	33,93	33,13	11,83

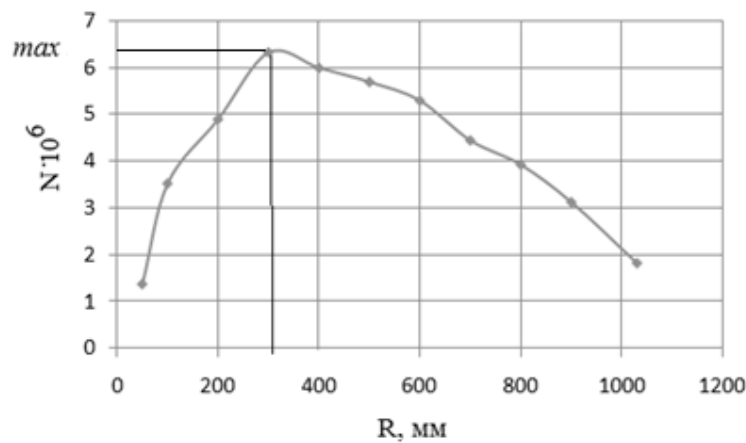


Рис. 3. Зависимость числа циклов до разрушения от радиуса ребра

Такие же подходы по оптимизации локальных концентраторов напряжений разработаны и для кривошипных открытых листоштамповочных прессов. Для открытых листоштамповочных прессов также существует возможность получения максимальной жесткости при постоянной металлоемкости станины, что хорошо иллюстрирует график зависимости отношения изгибающего момента в базовом сечении открытого кривошипного листоштамповочного пресса модели КД2124 к моменту инерции сечения от отношения толщин полок сечения (h_1, h_2 – передняя и задняя полки сечения соответственно), полученный оптимизацией сечения симплекс-методом (рис. 4).

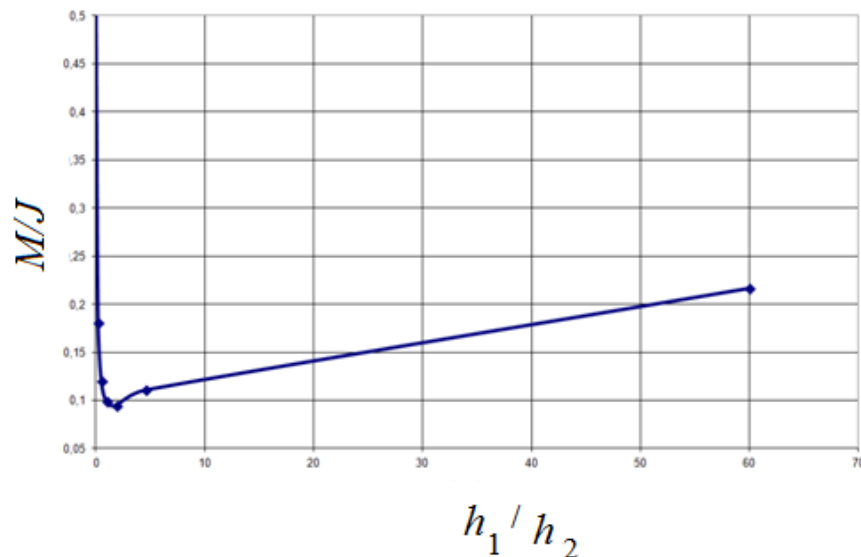


Рис. 4. Зависимость отношения момента к моменту инерции листоштамповочного пресса от отношения толщин полок сечения

Очевидно (рис. 4), что можно снижать изгибные деформации открытой станины в 5 и более раз только за счет оптимального расположения внутренней полости сечения (соотношения высот полок сечения).

2. Наша группа занимается также адаптацией магнитных методов контроля (в частности метода коэрцитивной силы) для решения поставленной задачи. Магнитные характеристики приняты нами как наиболее информативный параметр, изменение которого от первоначального уровня можно принять за меру повреждаемости детали. Коэрцитивная сила – наиболее чувствительна к изменению прилагаемых нагрузок и изменяется уже тогда, когда другие магнитные параметры (например, остаточная магнитная индукция) и механические

характеристики (например, твердость) еще остаются без изменения. Здесь существует два направления - использования магнитных методов при циклическом нагружении в условиях комнатных температур (или при незначительном повышении), и исследование поведения металла базовых деталей прессов при тепловой инсоляции (например, штамповой зоны КГШП ограниченной долговечности существенно уменьшенных габаритов). При нагружении базовых деталей в условиях комнатных температур нами получены следующие результаты: коэрцитивная сила в конструкционных сталях растет с увеличением числа циклов (следовательно, зная первоначальное значение и значение, соответствующее моменту предразрушения, можно проводить диагностику базовых деталей оборудования, спроектированного на заданную долговечность). Обязательно внесение в паспорт пресса, спроектированного на ограниченную долговечность, первичных значений коэрцитивной силы в местах, лимитирующих долговечность базовых деталей.

Исследования магнитных характеристик сталей с дефектами в условиях комнатных температур показало следующее:

– Над всеми дефектами, представляющими собой пустоты типа «пора», «раковина», «зашлакованная раковина» и т.д. наблюдается падение значений коэрцитивной силы относительно бездефектного участка.

– Если при обследовании детали в некоторой ее части обнаруживается резкий скачок коэрцитивной силы, то возможно под исследуемой поверхностью имеется металлическое включение, или же уже накоплена существенная повреждаемость.

– Над дефектами типа (макро) трещина теоретически коэрцитивная сила должна возрастать, однако, наш эксперимент этого не показал. Возможно, это влияние рядом расположенной поры, или же сказывается глубина залегания этого дефекта.

Исследования поведения магнитных характеристик сталей при термоциклировании - наименее изученная область. Мы провели ряд экспериментов, большая часть которых еще не закончена. Материал образцов – цилиндрические образцы (диаметр 15 мм, длина 170 мм) из стали 25 ГОСТ 1050-88 «Сталь качественная и высококачественная и 35Л (ГОСТ 977-88 «Отливки стальные. Общие технические условия»). Используемые при термоциклировании образцы показаны на рис. 5.

Пока методом Брандона нами получена только одна надежная зависимость для стали 25, показывающая величину коэрцитивной H_c после однократного нагрева в зависимости от температуры нагрева T :

$$H_c = 5 \cdot 10^{-8} \cdot T^4 - 5 \cdot 10^{-5} \cdot T^3 + 1,5 \cdot 10^{-2} \cdot T^2 - 1,158 \cdot T + 1141.$$

В рамках этого эксперимента нами также исследуется поведение различных дефектов (в образцах со специально введенными дефектами, их форма, расположение зафиксированы рентгеновским методом контроля) при термоциклировании. Этот подход особенно важен для деталей ограниченной долговечности, когда поведение неизбежно присутствующих в детали дефектов не прогнозируемо и подвержено синергетическому влиянию всех разрушающих факторов.



а)



б)

Рис. 5. Цилиндрические образцы (диаметр 15 мм, длина 170 мм) из стали 25 ГОСТ 1050-88 и насадки на коэрцитиметр (а), специальные образцы из стали 35Л (ГОСТ 977-88)

ВЫВОДЫ

В статье проведен анализ возможности проектирования и изготовления кузнечно-прессового оборудования заданной (ограниченной программой заказа) долговечности, приведены преимущества такого подхода в условиях рыночной экономики. Показано, что это требует новой научной базы, включающей в себя пересмотр системы коэффициентов запаса, исследование синергетического влияния на долговечность факторов, которые при традиционной схеме проектирования не считаются влияющими на прочность (долговечность) базовых деталей. Показано, что для кривошипных машин всех классов существует возможность снижения локальных напряжений, лимитирующих долговечность за счет рационального проектирования конструктивных концентраторов напряжений и выявления технологической дефектности методами неразрушающего контроля. Следовательно, возможно проектировать базовые детали заданной долговечности при снижении общей металлоемкости (габаритов машины). Предложено вносить в паспорта прессов ограниченной долговечности места измерений и величины первичных (на момент поставки) магнитных характеристик материала для возможности экспресс-диагностики повреждаемости.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методика определения ресурса штампового инструмента с применением магнитных методов неразрушающего контроля и диагностики / А.В. Корнилова, И.М. Идармачев, Паинг Тет, Зайяр Чжо // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2014. – №5. – С. 98–104. Перевод: А. В. Kornilova, I. M. Idarmachev, Thtet Paing, Chzho Zayar. A Method of Determination of the Service Life of a Die Tool with Application of Magnetic Methods of Nondestructive Control and Diagnostics // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. – 2014. – Vol. 43. – No. 5. – P. 439–444.
2. Корнилова А.В. Новые подходы к оценке долговечности инструмента для холодной листовой штамповки / А. В. Корнилова // Сборник статей Международной научно-технической конференции «Современные методы моделирования процессов обработки материалов давлением». – Краматорск, 2006. – С. 407–418.
3. Корнилова А.В. Методика проектирования инструмента ограниченной долговечности / А. В. Корнилова // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2005. – №3. – С. 76–81.
4. Ромасько В.С. Проектирование большегрузных коксовых батарей на заданную долговечность / В.С. Ромасько, Е.И. Шебанова // Кокс и химия. – 1991. – №9. – С. 35–37.
5. Тет Паинг Проектирование оптимальной по критерию циклической прочности станины кривошипного горячештамповочного пресса / Тет Паинг // Сборник трудов V Международного молодежного конкурса «Молодежь в науке. Новые аргументы». – Липецк, 2016. – С. 367–374.

REFERENCES

1. Metodika opredelenija resursa shtampovogo instrumenta s primeneniem magnitnyh metodov nerazrushajushhego kontrolja i diagnostiki / A.V. Kornilova, I.M. Idarmachev, Paing Tet, Zajjar Chzho // Problemy mashinostroenija i nadezhnosti mashin. – 2014. – №5. – S. 98–104. Perevod: A. V. Kornilova, I. M. Idarmachev, Thtet Paing, Chzho Zayar. A Method of Determination of the Service Life of a Die Tool with Application of Magnetic Methods of Nondestructive Control and Diagnostics// Journal of Machinery Manufacture and Reliability. – 2014. – Vol. 43. – No. 5. – P. 439–444.
2. Kornilova A.V. Novye podhody k ocenke dolgovechnosti instrumenta dlja holodnoj listovoj shtampovki / A. V. Kornilova // Sbornik statej Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoi konferencii «Sovremennye metody modelirovanija processov obrabotki materialov davleniem». – Kramatorsk, 2006. –S. 407–418.
3. Kornilova A.V. Metodika proektirovanija instrumenta ogranichennoj dolgovechnosti / A. V. Kornilova // Problemy mashinostroenija i nadezhnosti mashin. – 2005. – №3. – S. 76–81.
4. Romas'ko V.S. Proektirovanie bol'shegruznyh koksovych batarej na zadannuju dolgovechnost' / V.S. Romas'ko, E.I. Shebanova // Koks i himija. – 1991. – №9. – S. 35–37.
5. Tet Paing Proektirovanie optimal'noj po kriteriju ciklicheskoi prochnosti staniny krivoshipnogo gorjacheshtampovochnogo pressa / Tet Paing // Sbornik trudov V Mezhdunarodnogo molodezhnogo konkursa «Molodezh' v nauke. Novye argumenty». – Lipeck, 2016. – S. 367–374.

Корнилова А. В. – д-р техн. наук, проф., зам. директора по научной работе департамента АиС РУДН, ведущий научный сотрудник ЗАО «Прочность»
Идармачев И. М. – преп. каф. КМ МГТУ «Станкин»
Батарин Р. В. – аспирант МГТУ «Станкин»
Тет Паинг – аспирант МГТУ «Станкин»

РУДН – Российский университет дружбы народов, г. Москва;
МГТУ «Станкин» – Московский государственный технологический университет «Станкин», г. Москва.

E-mail: Anna44@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 14.03.2017 г.