

УДК 621.73.06-52

**Идармачев И. М.
Корнилова А. В.****МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ ШТАМПОВ И СПОСОБЫ
УВЕЛИЧЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ШТАМПОВОГО ИНСТРУМЕНТА**

Не смотря на бурное развитие расчетных и экспериментальных методов, до настоящего времени не удалось создать единую методику, однозначно определяющую повреждаемость и, соответственно, стойкость (долговечность) штампового инструмента для холодной листовой штамповки. Приведенные в классической технической литературе (например, [1, с. 601]) данные являются эмпирическими, ориентировочными и имеют большой разброс. Этот факт объясняется тем, что эксплуатация штампов всегда сопровождается совместным действием нескольких разрушающих процессов – превалирующими из которых являются износ и усталость металла [2, 3]. И на результат их взаимодействия оказывает влияние большое количество факторов: конструкция и материал рабочих деталей штампа, конструкция и степень износа оборудования, вид графика рабочих нагрузок технологической операции и т. д.

Целью работы является разработка энергосберегающих и малозатратных методов обеспечения стойкости (долговечности) инструмента для листовой штамповки, позволяющих повысить безопасность кузнечно-штамповочного производства, а также разработка быстрого и точного метода определения повреждаемости штампового оборудования.

Мы сделали предположение о том, что процесс накопления повреждаемости в штамповом инструменте можно контролировать по некоему параметру, основанному на корреляции между магнитными и физико-механическими свойствами, так как эти свойства одновременно зависят от одних и тех же факторов – химического состава, режимов термической обработки, накопленной повреждаемости. Микро- и макродефекты структуры, накапливаясь в металле в процессе циклического нагружения, являются отображением силового режима работы конструкции. В качестве основного контролируемого параметра нами была принята коэрцитивная сила H_c (А/м), так как она однозначно связана с остаточной пластической деформацией, т. е. с уровнем повреждаемости металла (имеется в виду суммарная повреждаемость от действия всех разрушающих процессов и привнесённая в металл в процессе изготовления инструмента). По своему физическому смыслу коэрцитивная сила – это напряженность магнитного поля, необходимая для полного размагничивания предварительно намагниченного до насыщения ферромагнетика, и может быть представлена [4]:

$$H_c = \frac{B}{E} + \left(\frac{B}{K}\right)^{\frac{1}{n}}, \quad (1)$$

где B – остаточная индукция;

K – циклический коэффициент напряжения;

n – циклический коэффициент упрочнения;

E – модуль упругости.

Остаточная деформация E_p определяется аналогичными параметрами:

$$E_p = \frac{\sigma}{E} + \left(\frac{\sigma}{K}\right)^{\frac{1}{n}}, \quad (2)$$

где σ – амплитуда напряжения.

При наличии корреляционных зависимостей между H_c и E_p по величине коэрцитивной силы можно вести контроль накопления повреждений в металле – выражения (1)–(2), а также прогнозировать долговечность (стойкость) деталей инструмента.

Нами был проведен ряд натуральных экспериментов по замеру коэрцитивной силы в штамповом оборудовании, деталях штампов и образцах из штамповых сталей. При проведении экспериментов использовался аттестованный прибор – КИМ-2М. Принцип работы прибора КИМ-2М состоит в намагничивании контролируемого участка детали с последующим размагничиванием его нарастающим полем, фиксации напряженности поля, соответствующей коэрцитивной силе материала детали, и измерении амплитуды сигнала с датчика Холла.

1. Измерение коэрцитивной силы в штампе последовательного действия с большой наработкой на отказ. Штамп всегда позиционировался в штамповом пространстве одним образом – общая ось рабочих отверстий перпендикулярна фронту прессы (рис. 1).

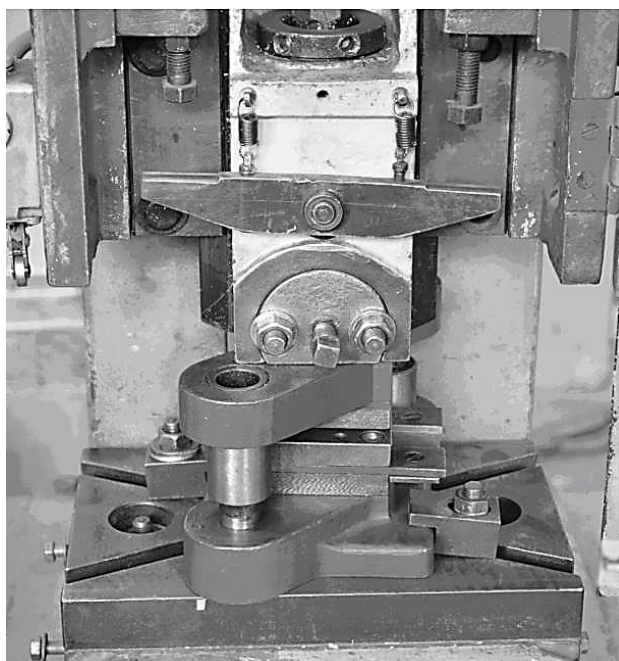


Рис. 1. Исследуемый штамп в штамповой зоне прессы

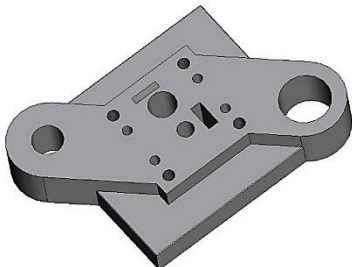
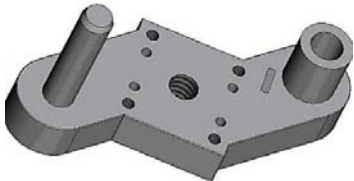
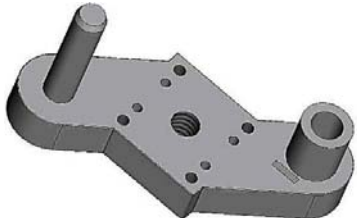
Результаты эксперимента приведены в табл. 1. Направление общей оси датчиков коэрцитиметра выделено прямоугольником на каждом рисунке.

Данный эксперимент показал интересную закономерность - коэрцитивная сила и, соответственно, повреждаемость во всех деталях штампа в направлении, перпендикулярном фронту прессы, и параллельном ему не совпадают по величине. Если в случае матрицы, получаемой из проката, можно было бы предположить влияние технологии изготовления (направления прокатки), то в случае литых деталей технологическая анизотропия свойств так резко проявиться не может. Следовательно, эксперимент на уровне магнитных характеристик подтвердил ранее высказанное предположение о существенном влиянии расположения инструмента в штамповой зоне открытого кривошипного прессы на его стойкость [5].

Результаты эксперимента привели нас к идее о том, что повышение стойкости инструмента можно достичь путем рационального распределения жесткости стола прессы. Рабочая поверхность стола от приложения технологической силы должна перемещаться как единая плоскость. При этом стойкость (долговечность) как самого прессы, так и инструмента для холодной листовой штамповки, установленного на него, повысится. Поиск решения проводился путем итерационных расчетов методом конечных элементов в варианте метода перемещений. На найденное техническое решение подана заявка на получение патента.

Таблица 1

Результаты эксперимента

№	H_c , А/м	Деталь инструмента/материал	Направление приложения датчика
1	2779	Матрица/У10А ГОСТ 1435-99	
2	2976	Матрица/У10А ГОСТ 1435-99	
3	289	Нижняя плита штампа/сталь 35Л ГОСТ 977-77	
4	277	Нижняя плита штампа/сталь 35Л ГОСТ 977-77	
5	307	Нижняя плита штампа/сталь 35Л ГОСТ 977-77	
6	277	Верхняя плита штампа/сталь 35Л ГОСТ 977-77	
7	253	Верхняя плита штампа/сталь 35Л ГОСТ 977-77	

Испытания математической модели прессы с существующей конструкцией (рис. 2) и с измененной конструкцией стола (рис. 3) показали, что рациональное распределение жесткости по ширине стола прессы обеспечивает долговечность инструмента в 5...7,5 раз больше относительно известного технического решения.

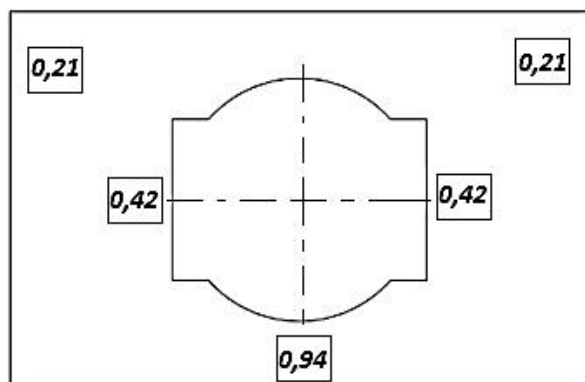


Рис. 2. Распределение вертикальных перемещений (мм) рабочей поверхности стола прессы при приложении номинальной силы прессы (существующая конструкция)

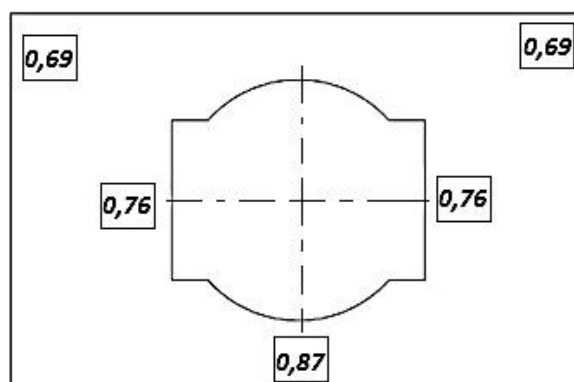


Рис. 3. Распределение вертикальных перемещений (мм) рабочей поверхности стола прессы при приложении номинальной силы прессы (измененная конструкция)

Изменение конструкции стола прессы не затрагивало рабочую поверхность стола, а касалось только сечений, перпендикулярных ей.

2. Экспериментальные исследования коэрцитивной силы в рабочих деталях штампов до и после переточки, которая производится для устранения последствий износа, показали, что глубина поврежденного слоя металла больше, чем слой удаляемый переточкой. Этот вывод подтверждается расчетами напряженно-деформированного состояния штампов методом конечных элементов (расчет проводился с учетом упругих свойств оборудования) и позволяет применять коэрцитивную силу как индикатор накопленной повреждаемости от начала эксплуатации штампа до его вывода из строя, независимо от произведенных переточек.

3. Исследование скорости накопления повреждаемости по уровню коэрцитивной силы в лабораторных и производственных условиях (на трех заводах, специализирующихся на производстве различных деталей из листовых материалов). На рис. 4 показан один из исследованных штампов, в табл. 2 и 3 приведены исходные и экспериментальные данные для одного из исследованных штампов. Измерения проводились до начала эксплуатации штампа и периодически через определенное количество циклов при остановках прессы.

Статистическая обработка всех полученных результатов эксперимента показала, что средняя скорость роста коэрцитивной силы (как показателя повреждаемости) рабочих деталей штампового инструмента составила $0,1 \text{ A} \backslash (\text{м-цикл})$ и зависит от ряда параметров – материала рабочих деталей, конструкции инструмента, конструкции и степени износа оборудования. Данный подход позволяет прогнозировать стойкость (долговечность) штампового инструмента, более точно, чем это делается в настоящее время.

4. Измерение коэрцитивной силы в образцах СТ-1 из стали X12МФ ГОСТ 5950-2000. Коэрцитивная сила в образцах (до испытаний) – в двух направлениях 4700-5700 А/м. В образцах после испытания на циклическую трещиностойкость – 6328/7000 А/м. Разность первоначальных значений коэрцитивной силы в двух направлениях зависит от ориентации образца относительно направления проката полосы. После термообработки – закалки и отпуска, в структуре стали X12МФ могут присутствовать следующие фазы: остаточный аустенит, мартенсит и карбиды разных видов, которые возможно и дают при намагничивании столь высокие значения магнитной индукции и коэрцитивной силы.



Рис. 4. Штамп для холодной листовой штамповки в штамповой зоне прессы

Таблица 2

Исходные данные

Модель прессы	Материал	Наименование детали	Материал заготовки	Параметры заготовки	Стойкость штампа на момент исследования
LASCAMQ500 номинальным усилием 500 кН	Материал нижнего штампа 7ХГ2ВМФ по ГОСТ 5950-73	Кольцо	ХН67ВМТЮ (ЭИ-445Р), $\sigma_B = 930$ МПа; $\sigma_{0,2} = 550$ МПа	Лист 0,6 мм ГОСТ 24982-81, сечением 230 × 230 мм	новый

Таблица 3

Экспериментальные данные

№ п.п.	Зона измерения	Коэффициентная сила на момент установки штампа, А/м	Коэффициентная сила после штамповки 120 деталей, А/м	Коэффициентная сила после штамповки 240 деталей, А/м	Коэффициентная сила после штамповки 264 деталей, А/м
1	Верхний штамп – верхняя плита	Направление: Ox – 104,7 Oy – 102,3 Oz – 107,6	Направление: Ox – 159,1 Oy – 158,3 Oz – 161,4	Направление: Ox – 177,1 Oy – 176,4 Oz – 179,8	Направление: Ox – 184,2 Oy – 183,6 Oz – 187,5
2	Нижний штамп – матрица	Направление: Ox – 1354,3 Oy – 1333,7 Oz – 1339,5	Направление: Ox – 1372,7 Oy – 1367,4 Oz – 1368,2	Направление: Ox – 1388,3 Oy – 1385,1 Oz – 1387,6	Направление: Ox – 1392,5 Oy – 1390,1 Oz – 1390,9
3	Подштамповая плита	Направление: Ox – 112,8 Oy – 113,2 Oz – 112,3	Направление: Ox – 152,6 Oy – 152,6 Oz – 151,9	Направление: Ox – 172,1 Oy – 172,9 Oz – 171,5	Направление: Ox – 178,1 Oy – 178,4 Oz – 177,8

ВЫВОДЫ

Все проведенные эксперименты показали, что в инструментальных сталях значение коэрцитивной силы в десятки раз больше значений того же параметра в углеродистых и малолегированных сталях. Предположительно это влияние карбидной составляющей данного класса сталей на магнитные свойства после термообработки.

Коэрцитивная сила, соответствующая моменту предразрушения, у инструментальных сталей в штампах для холодной штамповки (листовой и объемной) растет, для горячей – существенно снижается.

Эксперименты со штамповым инструментом выявили, что коэрцитивная сила во всех элементах штампов для листовой штамповки (эксплуатирующихся на открытых кривошипных прессах) в двух взаимно перпендикулярных направлениях приложения датчика неодинакова. Очевидно, что в зависимости от расположения штампового инструмента в рабочем пространстве пресса, повреждаемость инструмента будет различна. Следовательно, можно подобрать такое положение штампа, в котором его повреждаемость будет минимальна.

Так же нами было проведено исследование коэрцитивной силы (как индикатора повреждаемости) через определенные числа циклов нагружения инструмента, что позволило выявить скорость накопления повреждаемости в инструменте. Полученные данные позволяют предсказывать момент вывода инструмента из эксплуатации, если известно начальное и конечное (соответствующее моменту предразрушения) значение коэрцитивной силы. С помощью применения магнитных методов возможно создание методики выбраковки рабочих деталей штампового инструмента до наступления момента отказа, приводящего к браку, а в крайних случаях и к аварийным ситуациям.

Проведенные исследования показали, что измерение коэрцитивной силы можно использовать как надежный способ экспресс-оценки технического состояния конструкций различного назначения, так как существует корреляционная связь механических свойств (соответственно долговечности при циклическом нагружении) с коэрцитивной силой, то есть коэрцитивная сила является информативным параметром для оценки уровня накопленных повреждений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Романовский В. П. *Справочник по холодной штамповке* / В. П. Романовский. – Л. : Машиностроение, 1971. – 782 с.
2. Корнилова А. В. *Определение долговечности инструмента для холодной листовой штамповки по критериям трибофатиги* / А. В. Корнилова // *Проблемы машиностроения и надежности машин*. – 2006. – № 2. – С. 88–94.
3. Корнилова А. В. *Некоторые подходы к оценке долговечности инструмента для холодной листовой штамповки* / А. В. Корнилова // *Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением*. – 2007. – № 1. – С. 16–23.
4. *Не разрушающий контроль : справочник : в 8 т. Т. 6. В 3 кн. Кн. 1. Магнитные методы контроля. Кн. 2. Оптический контроль. Кн. 3. Радиоволновой контроль / под общ. ред. В. В. Клюева*. – 2-е изд., испр. – М. : Машиностроение, 2006. – 832 с. : ил.
5. Корнилова А. В. *Разработка методов обеспечения долговечности силовых деталей кузнечно-прессовых машин и инструмента* : дис. д-ра техн. наук : 05.03.05 / А. В. Корнилова. – М. : МГТУ «Станкин», 2009. – 347 с.

Идармачев И. М. – аспирант МГТУ «Станкин»;

Корнилова А. В. – д-р техн. наук, проф. МГТУ «Станкин».

МГТУ «Станкин» – Московский государственный технологический университет «Станкин», г. Москва, Россия.

E-mail: _idarmachev_@mail.ru

Статья поступила в редакцию 04.03.2013 г.