

становятся источниками возникновения системы кумулятивных струй, при столкновении которых происходит образование пелены потока частиц (диспенсирование струи).

Моделирование процесса обжата позволило выявить новые технологии импульсного упрочнения и легирования цилиндрических деталей с использованием гофрированных облицовок кумулятивных зарядов взрывчатого вещества.

Список литературы: 1. *Соболев В. В.* Сверхглубокое проникновение микрочастиц в металлы / В. В. Соболев, С. М. Ушеренко, Н. В. Билан, Л. Ю. Чебенко // Журнал «Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва». – Науково-виробничий журнал: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2012. – Випуск 2 (10). – С. 96-105. 2. *Соболев В. В.* Закономерности изменения энергии химической связи в поле точечного заряда // Доклады НАН Украины. – 2010. – №4. – С. 88-95. 3. *Борисевич В. К.* Исследование возможности получения новых материалов при помощи импульсных сверхвысоких давлений / В. К. Борисевич, А. И. Долматов, И. В. Скорченко, А. И. Сабакар, В. В. Третьяк // Научно-технический журнал «Авиационно-космическая техника и технология». – Х. «ХАИ», 2012. – С. 7-10. 4. *Лаврентьев М. А.* Проблемы гидродинамики и их математические модели / М. А. Лаврентьев, Б. В. Шабат. – М.: Наука, 1973. – 416 с. 5. *Вольмир А. С.* Устойчивость деформируемых систем / А. С. Вольмир. – М.: Наука, 1967. – 984 с. 6. *Дерибас А. А.* Физика упрочнения и сварки взрывом / А. А. Дерибас. – Новосибирск: Наука, 1980. – 222 с.

Поступила в редколлегию 25.05.2014

УДК 621.9.06

В. Н. ПАВЛЕНКО, д-р техн. наук, доц., НАУ «ХАИ», Харьков

ИСТИРАНИЕ И СМЯТИЕ, КАК ДВА ВИДА ИЗНОСА ШТАМПОВОГО ИНСТРУМЕНТА

Статья посвящена результатам исследования распределения степени деформаций по объему деформируемых поковок методом координатной сетки. Установлено, что наиболее интенсивно элементы штампа искажаются в начальный период. Определено, что истирание и смятие являются основным видом износа штампового инструмента. Исследования показали о крайне неравномерное распределении деформаций по штампу, вследствие чего высокая неравномерность деформации снижает стойкость штампа.

Ключевые слова: высокоскоростное объемное деформирование, поковка, деформация, смятие, истирание, штамп.

Введение. Возможность использования высоких скоростей деформирования, быстроходность современных кузнечных машин и небольшое число необходимых относительно несложных технологических операций обуславливает кратковременность рабочего цикла и высокую производительность кузнечно-штамповочного производства. Кованые и штампованные изделия отличаются высокими механическими свойствами.

Материал кузнечного штампа работает в условиях, которые складываются в результате взаимодействия многих факторов [1,160]. Материал и температура исходной заготовки, технологическое оборудование, условия нагрева и охлаждения, темп штамповки, смазка и т. д. являются одинаковыми для многих штампов в пределах одного цеха и даже сходных по условиям работы предприятий. В то же время геометрия поковки, ее масса, распределение деформаций по ручьям, конструкция ряда элементов гравюры и особенно облойной щели, скорость скольжения материала поковки по поверхности гравюры, степень деформации, давление в полости штампа различаются для каждого конкретного процесса штамповки.

Удельная работа деформации, прямо пропорциональная действующим напряжениям и максимальной главной деформации, в большой мере определяет условия работы материала инструмента, а неравномерность распределения деформации и напряжений является основным фактором, определяющим стойкость штампов.

Целью работы является изучение распределения степени деформации по объему деформируемой поковки молотовых штампов при высоких скоростях деформирования.

Основная часть. Для изучения распределения степени деформации по объему деформируемой поковки использовался метод объемной координатной сетки. Поковка готовили к испытанию по алгоритму описанному в работе [3].

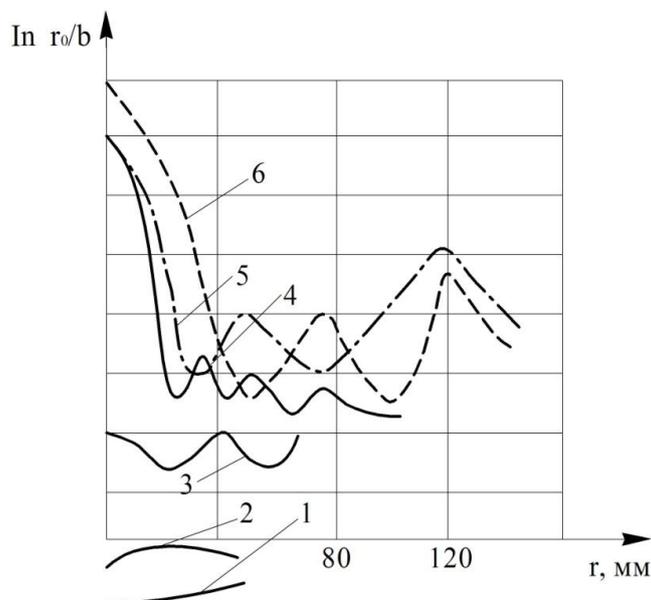


Рис. 1 – Распределение степени деформации после третьего удара

На рис. 1 показано распределение степени деформации по объему поковки за последний удар в чистовом ручье молотового штампа (r – радиус поковки после каждой проточки; r_0 – исходный радиус координатного стержня; b – малая полуось эллипса деформированного стержня).

Приведенные кривые свидетельствуют о крайне неравномерном распределении степени деформации в исследуемых поковках. Сравнение их с эпюрой износа штампа (рис. 2) показывает, что максимальное изменение размеров гравюры наблюдается на участках ее поверхности, где степень деформации максимальна. Этими участками являются бобышка и облойный мостик. Расчеты и экспериментальные исследования показывают, что нормальные напряжения в области фигуры штампа практически постоянны. Падение напряжений начинается только в пределах облойного мостика.

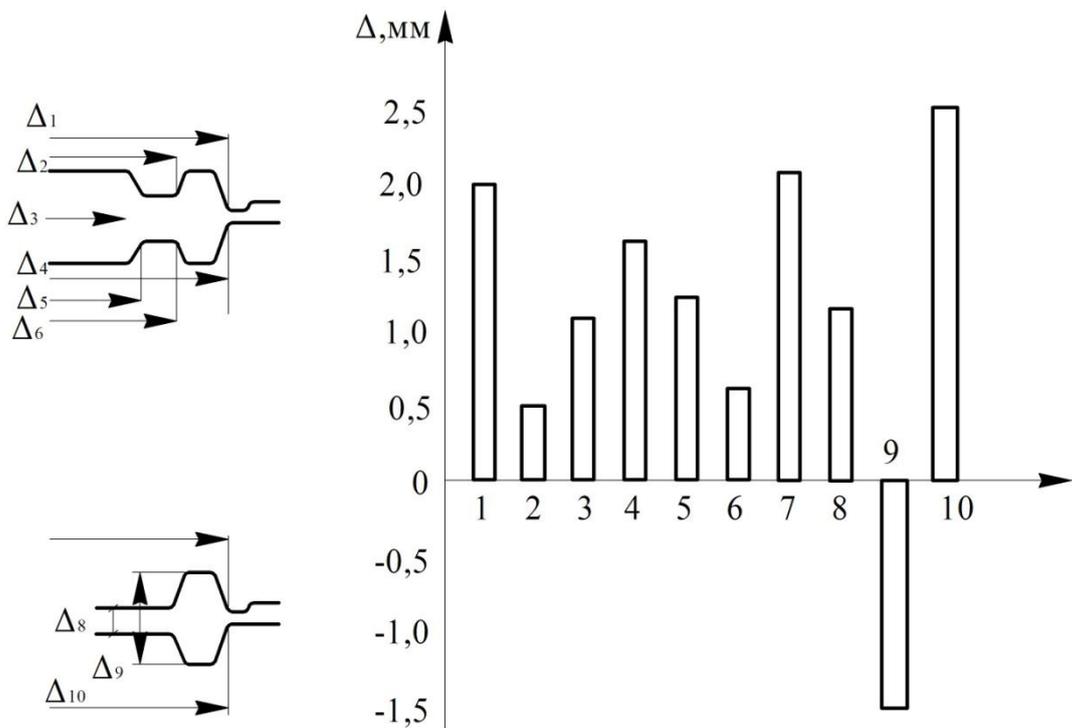


Рис. 2 – Изменение размеров Δ_{1-10} молотовых штампов к моменту выхода инструмента из строя (после изготовления 6000 поковок)

По вертикальному сечению они также постоянны, но значительно возрастают у выхода из полости штампа на облойный мостик, что является дополнительным фактором, ухудшающим условия работы гравюры в этой области.

Величина удельных усилий деформирования на поверхности штампа зависит от сопротивления деформированию штампуемого материала. Если при

температуре начала штамповки (1150°C) для большинства конструкционных сталей предел прочности колеблется в пределах $50\text{-}100\text{ МН/м}^2$, то к моменту конца деформации (около 800°C) он повышается до $100\text{-}250\text{ МН/м}^2$. Однако в полости штампа имеет место не линейная, а объемная схема напряженного состояния, что приводит к возрастанию сопротивления деформированию. Учитывая это обстоятельство, удельные усилия деформирования на поверхности гравюры могут повышаться до $250\text{-}450\text{ МН/м}^2$ на облойном мостике и до $600\text{-}1100\text{ МН/м}^2$ в полости штампа, а при деформировании легированных сталей даже выше.

Величина удельного усилия деформирования определяется также формой и размерами облойной щели. Уменьшение ее высоты по сравнению с оптимальным значением приводит к существенному повышению удельного усилия деформирования и снижению стойкости штампов.

Необходимо учитывать также тепловой эффект повышенных скоростей деформации. Так, например, при осадке на 60 % заготовки из малоуглеродистой стали с исходной температурой 1100°C средняя ее температура повышается при деформации на молотах на $35\text{-}45^{\circ}\text{C}$, на прессах – на $10\text{-}20^{\circ}\text{C}$. В случае жековки в штампах из-за неравномерности обжатия скорость деформации в отдельных зонах резко возрастает, что влечет за собой и повышение местного теплового эффекта. Увеличивается также скорость течения металла относительно поверхности гравюры, что также служит немаловажным источником локального повышения температуры. Значения скорости получены с использованием метода поверхностной координатной сетки.

Сопоставление скоростей течения с диаграммой износа штампа (рис. 3) показывает, что области максимальных износа и скорости течения совпадают в пределах облойного мостика. На поверхности фланца и особенно в области облойной щели скорость деформации максимальна, что также является причиной ускоренного износа.

Рассмотрение схемы износа молотового штампа, представленной на рис. 3, рис. 4, показывает, что существенное формоизменение гравюры отмечается не только в области выходной кромки и мостика, где максимальная скорость течения (например, точки 6, 7), но и у вершины бобышки, где скорость течения минимальная. Результаты обмера гравюры изношенного штампа, приведенные на незаштрихованной части диаграммы, свидетельствуют о том, что на отдельных участках имеет место не увеличение размеров полости, а, наоборот,

уменьшение их. Такое явление не свойственно износу в общепринятом понимании, связанному с потерей размеров за счет истирания рабочей поверхности. Следовательно, за формоизменение гравюры кузнечного штампа ответственно не только истирание, но и смятие, т. е. пластическая деформация инструмента. Природа их различна, поэтому и области максимального смятия и истирания не всегда совпадают. Таким образом, износ штампового инструмента (или изменение геометрии его гравюры) может быть представлен как истиранием (уносом частиц металла с поверхности трения), так и смятием (деформацией инструмента и, в первую очередь, поверхностного слоя гравюры в процессе штамповки).

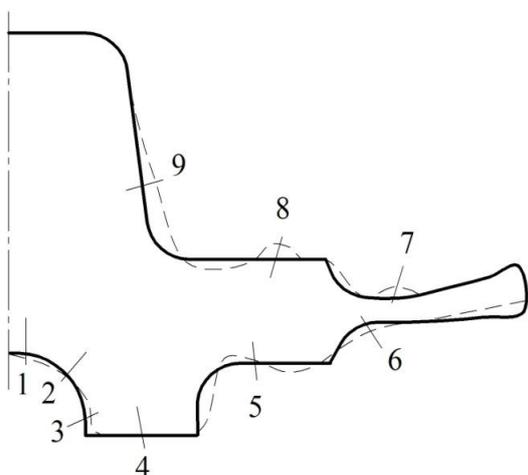


Рис. 3 – Схема износа молотового штампа

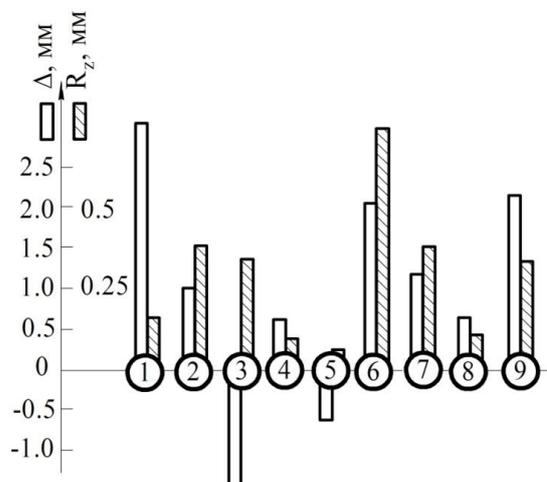


Рис. 4 – Изменение размеров Δ в молотовом штампе для точек 1 – 9, после изготовления 6000 поковок

Характер истирания – нормальный (окислительный), интенсивный с элементами схватывания и глубинного разрушения и промежуточный между ними – оказывает решающее влияние на состояние микрогеометрии рабочей поверхности. Это подтверждается данными заштрихованной части диаграммы, приведенной на рис. 5.

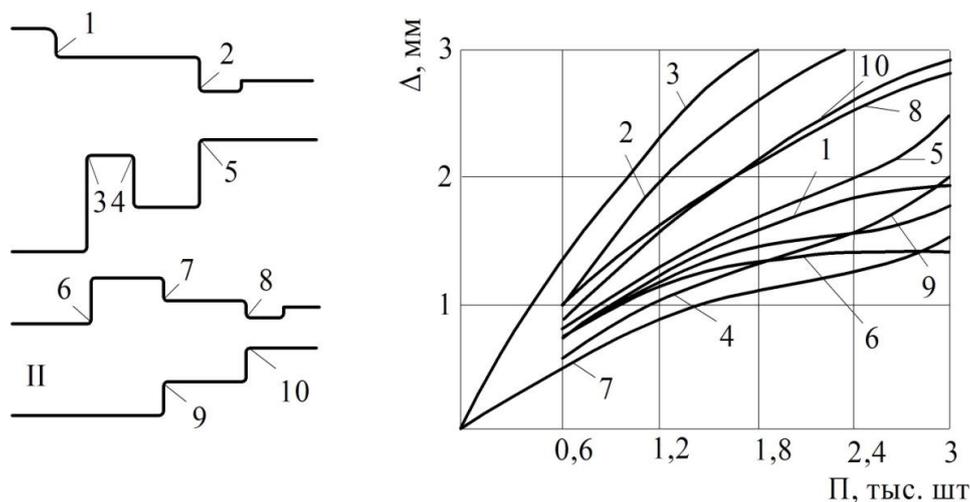


Рис. 5 – Износ внешних скруглений прессовых штампов типов I и II в зависимости от числа отштампованных поковок

Сопоставление изменения размеров гравюры и микронеровностей ее поверхности показывает, что на участках наиболее интенсивного истирания, как правило, имеет место также и наибольшая шероховатость. Однако, эта зависимость нарушается на участках гравюры, для которых характерно преимущественное изменение размеров за счет смятия. Смятие, в первую очередь, свойственно для выступающих участков гравюры, бобышек, внешних округлений, облойного мостика, вертикальных стенок.

Прочность штамповой стали и размеры элементов инструмента таковы, что, за исключением отдельных аварийных случаев, однократное воздействие рабочих усилий не может привести к значительной деформации штампа. Однако при многократном повторении нагрузки небольшие пластические деформации отдельных элементов штампов накапливаются, вызывая искажение формы гравюры.

Измерения (см. рис. 2, размер 9) показали, что глубина полости молотового штампа после съема 1000 поковок изменилась на 0,8-1,1 мм, что составляет около 2% от первоначального размера. Если считать, что при получении каждой поковки наносится 4-6 ударов, то относительная деформация за один удар составит 0,0005-0,0003%. Эта величина приблизительно соответствует пластической деформации стали вблизи предела упругости.

Рассмотрение кинетики изменения размеров гравюры (радиусов скруглений 1-10, рис. 5) показывает, что наиболее интенсивно элементы

штампа искажаються в початковий період роботи (600–1200 поковок). Затем имеет место тенденция к стабилизации размеров.

Истирание и смятие взаимодействуют в процессе износа гравюры кузнечного инструмента. Результат этого взаимодействия отображается кинетическими кривыми изменения размеров, которые для облойного мостика молотового штампа представлены на рис. 6. На каждой из них, например для зоны III мостика, можно различить три специфических участка износа. Для начального (α) характерно ускоренное формоизменение преимущественно за счет остаточной деформации, которая сопровождается некоторым наклепом поверхностного слоя. Микрогеометрия поверхности при этом изменяется относительно мало. Для участка β кривой характерна линейная зависимость изменения размеров. Износ происходит в основном за счет истирания рабочей поверхности. Нормальный, преимущественно окислительный, износ, характерный для первого участка кривой, сменяется все более интенсивным с элементами адгезионного взаимодействия и пластической деформации при заметном снижении твердости поверхностного слоя и повышении его пластичности. Качество поверхности заметно ухудшается. К концу этого периода отмечается все большее взаимодействие истирания и пластической деформации поверхностного слоя вследствие длительного теплового воздействия со стороны деформируемого металла.

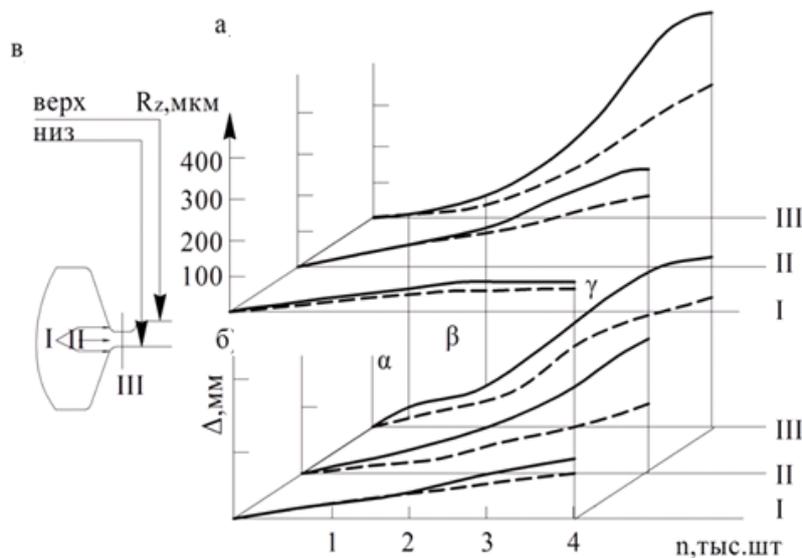


Рис. 6 – Изменение: а – микрогеометрии R_z ; б – размеров Δ молотового штампа; в – размеров молотового штампа в области облойного мостика (точки I–III) в зависимости от числа отштампованных поковок

Для участка γ характерно особенно интенсивное развитие износа, на величине которого сказываются не только описанные выше процессы, но и накопление в металле поверхностного слоя необратимых изменений, вызываемых явлениями механической и термической усталости. Начало этого участка, как правило, характеризуется появлением трещин термической усталости, развивающихся преимущественно в глубину или образующих сетку разгара в зависимости от температурно-силовых условий работы поверхностного слоя.

Выводы. В работе изучено два вида износа штампового инструмента, такие как истирание и смятие. Исследования показывают о крайне неравномерном распределении деформаций по штампу, вследствие чего высокая неравномерность деформации снижает стойкость штампа. Рассмотрение кинетики изменения размеров гравюры показывает, что наиболее интенсивно элементы штампа искажаются в начальный период работы (600–1200 поковок). Затем имеет место тенденция к стабилизации размеров. Рассмотрено взаимодействие истирания и смятия в процессе износа гравюры кузнечного инструмента.

Список литературы: 1. *Богуслаев, А. В.* О необходимости нанесения защитных покрытий на рабочие поверхности оснастки для штамповки и литья / А. В. Богуслаев // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии : сб. науч. тр. / Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – Х., 2000. – Вып. 23 (6). – С. 48–55. 2. *Брюханов, А. Н.* Горячая штамповка. Конструирование и расчет штампов / А. Н. Брюханов, А. В. Ребельский. – М. : Машгиз, 1952. – 664 с. 3. *Долматов, А. И.* Повышение жизненного цикла оснастки на основе защитных технологий : монография / А. И. Долматов, А. В. Богуслаев. – Запорожье : Мотор Сич, 2000. – 295 с. 4. *Охрименко, Я. М.* Технология кузнечно-штамповочного производства : учеб. для вузов / Я. М. Охрименко. – Изд. 2-е перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1976. – 560 с. 5. *Ткачук, А. Н.* Термоупругие контактные задачи для элементов штампов и пресс-форм / А. Н. Ткачук, И. Я. Мовшович, Н. А. Ткачук // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2010. – № 1. – С. 19–28. 6. *Варданян, Э. Л.* Упрочнение матриц штампов комбинированной обработкой в вакууме / Э. Л. Варданян, И. И. Ягафаров, Р. Ш. Валиев // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2012. – № 1. – С. 28–31.

Поступила в редколлегию 20.06.2014

УДК 621.92.001.5

А. А. АНДИЛАХАЙ, ГВУЗ "ПГТУ", Мариуполь;
С. А. ДИТИНЕНКО, канд. техн. наук, ХНЭУ, Харьков;
Ф. В. НОВИКОВ, докт. техн. наук, ХНЭУ, Харьков.

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ СОПЛА НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ЗАТОПЛЕННЫМИ СТРУЯМИ

Приведены результаты экспериментальных исследований по установлению наиболее эффективной конфигурации сопла по критерию обеспечения максимального количества абразивных зерен,

А. А. Андилахай, С. А. Дитиненко, Ф. В. Новиков, 2014