

В.В. Бурыкин, к.т.н., н.с.*Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля
НАН Украины*

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ШТАМПОВОЧНОЙ ОСНАСТКИ

Рассмотрены пути повышения стойкости вырубных штампов при помощи разных технологий. Даны рекомендации относительно материалов, обработки, покрытий для обеспечения износостойкости рабочих частей штампов.

Введение. В настоящее время повышение качества выпускаемой штампованной продукции, являясь не только объективным требованием времени, но и условием выживания производства в конкурентной среде. С одной стороны – возрастающие требования к основным параметрам деталей, отражающиеся в технологических процессах с появлением новых материалов и функций поверхностного слоя. С другой стороны – возрастают требования к оснастке листовой штамповки с точки зрения ее производительности, экономичности и надежности, что вызвано обострением конкурентной борьбы в условиях ускоряющегося научно-технического прогресса [1].

Трудоемкость штамповки на листоштамповочных молотах составляет 12–16 % от общей трудоемкости заготовительных работ.

Проблема повышения стойкости разделительных штампов листовой штамповки является весьма сложной. Условия трения и износа режущих элементов штампов весьма специфичны и имеют свои особенности по сравнению с общим случаем трения деталей машин. Они зависят от внешней нагрузки, физико-механических свойств рабочих частей (пуансонов и матриц) и изнашивающей способности штампуемого материала. Как правило, первая и третья группы факторов жёстко определены условиями производства. И только изменение физико-механических свойств рабочих частей позволяет управлять стойкостью штампа в некотором диапазоне. В тоже время, повышение стойкости рабочих частей штампов заменой инструментальных сталей на быстрорежущие или твердые сплавы, а также за счет сложного легирования инструментальных сталей весьма ограничено из-за дефицита вольфрама, молибдена, тантала и других составляющих элементов.

В публикациях, посвященных данной проблеме, например [2], отмечается, что с целью повышения твердости поверхности вырубных

штампов и другой технологической оснастки, уменьшения коэффициента трения между инструментом и обрабатываемым изделием, формирования на штампе защитного слоя, противодействующего образованию задиров и налипанию обрабатываемого материала, уменьшения параметров шероховатости рабочих поверхностей, используют финишное плазменное упрочнение, ионно-плазменные покрытия, химико-термическую обработку и др.

Целью настоящей работы является анализ возможностей повышения стойкости вырубных штампов различными упрочняющими методами в производственных условиях.

Основная часть. В данной работе в результате исследований рабочих частей штампов, проведенных в производственных условиях, получена сравнительная оценка износостойкости штампового инструмента, изготовленного из сталей малой (У8А, У10А), повышенной (ХВГ, 9ХС) и высокой (Х12М) прокаливаемости. Стойкость инструмента устанавливалась исходя из фактического расхода штампов.

В результате проведенных испытаний установлены величины суммарного износа стальных пуансонов и матриц, изготовленных с различной исходной шероховатостью (табл.). Видно, что износ пуансонов штампов из стали Х12М наименьший, а шероховатость поверхностей рабочих частей должна составлять: по торцам – $Ra = 1,25-2,5$ мкм, по боковым поверхностям $Ra = 0,63-1,25$ мкм. Большая величина шероховатости по торцовой поверхности объясняется интенсификацией трения, что связано с необходимостью уменьшения скольжения металла заготовки. Можно сделать вывод, что следы обработки оказывают влияние на износ пуансонов и матриц во взаимно перпендикулярных сечениях (рис. 1 и табл.). Наиболее благоприятен вариант "а" (рис. 1).

Можно предложить несколько способов обработки поверхностей рабочих частей штампов – химико-термическая обработка (ХТО), поверхностное пластическое деформирование, электроэрозионное легирование, лазерная термообработка, а также нанесение различных износостойких покрытий.

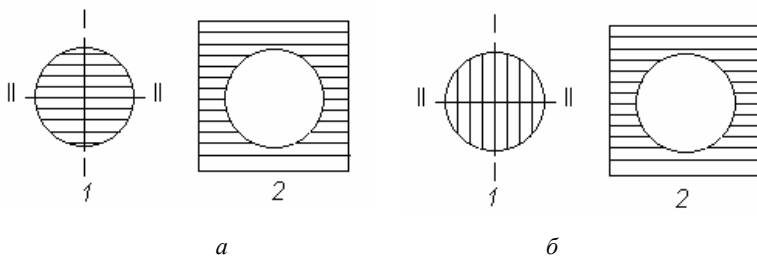


Рис. 1. Схема вариантов расположения пуансона 1 и матрицы 2 в зависимости от следов обработки: а – параллельное; б – перпендикулярное

Таблица

Сравнительные данные по износу пуансонов и матриц

Сталь	Исходная шероховатость на поверхностях, мкм		Суммарный износ деталей штампа (рис. 1), мкм	
	торцевой	боковой	I-I	II-II
У10А	0,32	0,32	0,065	0,072
	0,63	0,63	0,070	0,076
	1,25	1,25	0,082	0,070
	2,50	2,50	0,086	0,090
	2,50	1,25	0,073	0,080
ХВГ	0,32	0,32	0,071	0,041
	0,63	0,63	0,075	0,064
	1,25	1,25	0,072	0,068
	2,50	2,50	0,072	0,078
	2,50	1,25	0,063	0,065
Х12М	0,32	0,32	0,014	0,016
	0,63	0,63	0,017	0,012
	1,25	1,25	0,017	0,020
	2,50	2,50	0,042	0,028
	2,50	1,25	0,017	0,018

В результате алмазного выглаживания образуется поверхность с неровностями специфической формы, которую нельзя получить при лезвийных и абразивных способах обработки. Для вновь образованного микрорельефа упрочненной поверхности характерно большое отношение шага неровностей к их высоте; высокая степень однородности неровностей как по форме, так и по высоте; малые углы наклона; большие радиусы округления вершин выступов и дна впадин,

что определяет пологую обтекаемую форму неровностей. Специфический микрорельеф в сочетании с высокими микротвердостью и остаточными напряжениями сжатия в тонком поверхностном слое обеспечивает существенное повышение износостойкости рабочих частей штампов.

В результате экспериментов получен ряд зависимостей шероховатости Ra от силы выглаживания P_y , радиуса рабочей части алмаза $r_{сф}$ и подачи S (рис. 2) при выглаживании боковых рабочих поверхностей пробивных пуансонов из стали У10А, термообработанной до HRC 50–55. Результаты производственных стойкостных испытаний шлифованных и выглаженных пуансонов при пробивке отверстий диаметром 4 мм в детали из стали 20 толщиной 1,6 мм приведены на рис. 3. Из полученных результатов видно, что износ выглаженных пуансонов примерно в 2–3 раза меньше шлифованных. Повышение износостойкости выглаженных пуансонов объясняется упрочнением металла в тонком поверхностном слое, улучшением условий смазки и теплоотвода из зоны пластической деформации.

Методы ХТО позволяют получить покрытия толщиной до 40 мкм и дают возможность увеличить стойкость рабочих поверхностей: при азотировании в 1,7–3,0 раза; борировании в 1,5–3,0 раза; карбонитрации в 2–4 раза. В последнее время получил развитие способ физического осаждения покрытий. Возможность широкого изменения температуры в зоне нанесения покрытия, позволяет использовать этот метод в качестве универсального для нанесения покрытий на твердые сплавы, быстрорежущие стали, а также некоторые инструментальные легированные стали. Для этого метода является важным исходное состояние рабочих частей штампа. При применении износостойких покрытий изменяется характер износа режущих кромок рабочих частей (рис. 4).

Наиболее значительное повышение стойкости наблюдалось в штампах, рабочие детали которых подвергались интенсивному адгезионному изнашиванию. Так, применение покрытия из TiN повышает стойкость в 3–7 раз.

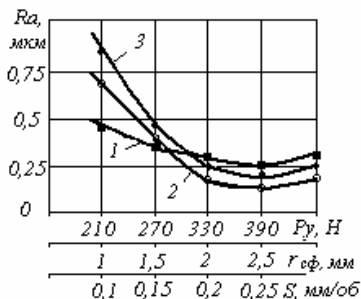


Рис. 2. Зависимость шероховатости поверхности R_a от силы выглаживания P_y (1), радиуса рабочей части алмаза $r_{эф}$ (2) и подачи S (3)

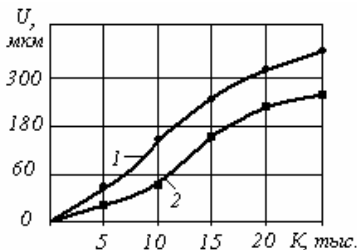


Рис. 3. Изменение линейного износа U пуансона в зависимости от числа K пробитых отверстий:
1 – шлифованных;
2 – выглаженных пуансонов

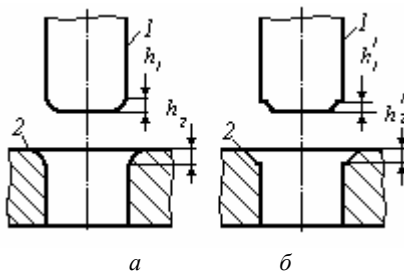


Рис. 4. Характер износа режущих кромок рабочих частей:
1 – пуансон; 2 – матрица; а – без покрытия; б – с покрытием

Исследования рабочих частей штампов с различными вариантами комбинированных покрытий (пуансон с покрытием – матрица без и наоборот; матрица с различными покрытиями) показали, что это позволяет обеспечить равную стойкость рабочих частей штампа (сокращается число плановых ремонтов в 1,5–2,0 раза) с одновременным повышением периода их стойкости в 1,5–7,0 раз (в зависимости от варианта сочетания). Целесообразно комплексное применение различных методов повышения долговечности рабочих частей штампов. Применение ХТО позволяет проводить наиболее эффективное упрочнение внутренних контуров матриц, интенсивно подвергающихся износу. Долговечность повышается в 2–3 раза. А использование пуансона с износостойким покрытием из TiN в совокупности с матрицей после ХТО значительно

повышает границу экономической эффективности штампа (до 5–10 тыс. шт. отверстий) (рис. 5, а и б). При таком сочетании получен наилучший результат.

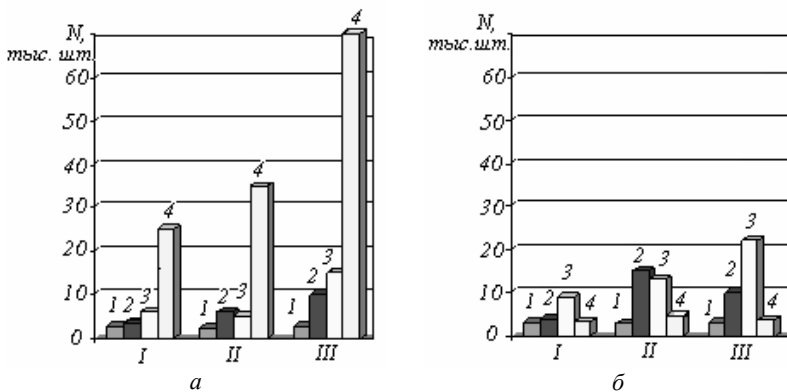


Рис. 5. Диаграммы стойкости N пуансонов (а) и матриц (б) для пробивки отверстий в листах толщиной 2,5 мм: I – сталь для глубокой вытяжки; II – сталь с содержанием углерода 0,6 %; III – конструкционная сталь с содержанием углерода 0,3 %; 1 – без покрытия; 2 – азотирование; 3 – борирование; 4 – покрытие карбида титана

Исследования состояния рабочих частей штампов с различными износостойкими покрытиями, а также после химико-термической обработки (азотирование, борирование) показали, что применение покрытий позволяет повысить стойкость штампов (рис. 6), изменяя линейный износ пуансона в зависимости от числа изготовленных деталей (рис. 7) и позволяет получить стабильные размеры деталей, вырубленных в упрочненном штампе (рис. 8). Характер износа рабочих поверхностей пуансонов с упрочнением (рис. 9, а) и без упрочнения (рис. 9, б) различен – при достижении критической величины износа, происходит скол и износ интенсивно нарастает, приводя к разрушению рабочих поверхностей.

Наиболее эффективно сочетание ионно-плазменного покрытия пуансона нитридом титана с химико-термической обработкой матрицы.

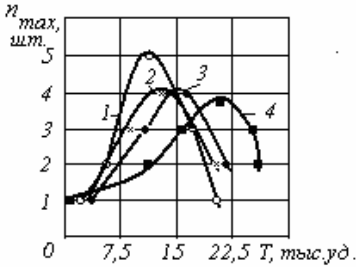


Рис. 6. Стойкость штампов: 1 – без покрытия; 2 – азотирование, 3 – борирование; 4 – азотированная матрица, ионно-плазменное покрытие пуансона

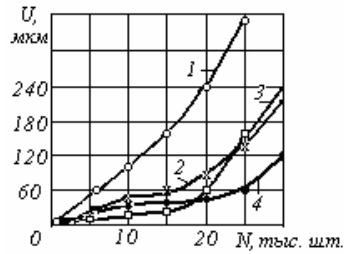


Рис. 7. Изменение линейного износа U пуансона в зависимости от числа изготовленных деталей: 1 – без покрытия; 2 – борирование; 3 – азотирование; 4 – ионно-плазменное покрытие

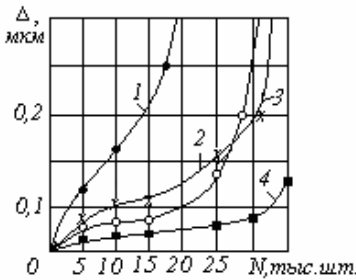


Рис. 8. Изменение размеров деталей, вырубленных в неупрочненных (1) и упрочненных (2–4) штампах: 2 – борирование; 3 – азотирование; 4 – ионно-плазменное покрытие

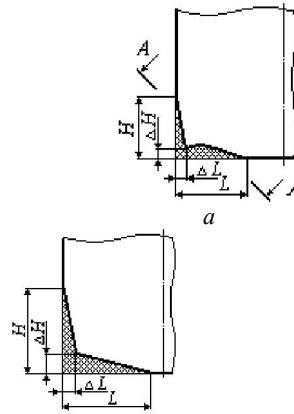


Рис. 9. Профиль изнашивания пуансона: а) – упрочненного; б) – неупрочненного

Рассмотрим пути повышения стойкости и совершенствования технологического процесса, на примере изготовления вырубных пуансонов для формирования головок болтов [3].

Вырубная матрица представляет собой втулку с внутренним шестигранным отверстием (рис. 10). Грани этого отверстия являются режущими кромками пуансона. Их форма, а также усилие резания и прочность режущего клина зависят от переднего угла γ , заднего угла α и радиуса скругления режущей кромки ρ .

Задний угол $\alpha \sim 2^\circ$. Он обеспечивает конусность шестигранника и формируется на начальной стадии изготовления пуансона. Передний угол 32

γ выполнен на узкой ленточке шириной 0,6 мм. Он появляется в результате заточка пуансона. Наибольшее влияние на процесс резания оказывает радиус округления режущей кромки ρ . Далее он будет рассмотрен подробно.

Обрезка припуска производится за счет осевого перемещения пуансона с круглой головки болта, сформированной на предыдущей операции. При этом максимальный припуск снимается серединой режущих кромок. Работают пуансоны в условиях, близких к условиям работы строгальных резцов, а именно: с ударными нагрузками, относительно невысокими скоростями резания (60–120 ходов в минуту при длине хода ~ 250 мм).

Изготавливаются пуансоны из сталей Р6М5 и 6Х4М2ФС, причем предпочтительнее сталь Р6М5, так как стойкость пуансонов, изготовленных из нее, выше.

Анализ вырубных пуансонов, вышедших из строя, показал, что основными причинами этого послужили:

- выкрашивание режущих кромок;
- смятие режущих кромок;
- износ по задней поверхности;
- объемное разрушение пуансонов.

Ознакомление с технологией изготовления пуансонов выявило резервы в обеспечении их качества и обеспечении параметров поверхностного слоя рабочей части.

Пуансон изготавливают путем точения катаной или кованой круглой стали. Диаметр заготовок близок к наружному диаметру пуансона. При этом волокно (карбидная строченность) располагается вдоль оси пуансона, что является неблагоприятным для его работы. Затем сверлят вдоль оси и растачивают коническое отверстие. После этого прожигают конусный шестигранник на электроэрозионном станке, после чего доводят его на слесарной операции по калибру. Далее производится мехобработка и термообработка до получения готового пуансона.

После исследования этого техпроцесса было предложено заменить операции прожигания шестигранника и его слесарной доводки на операцию холодного выдавливания. Формирование внутреннего шестигранника происходит холодным выдавливанием на гидравлическом прессе за счет радиального обжатия заготовки на мастер-пуансоне. Это позволяет компенсировать неблагоприятное расположение волокон металла, а вместе с деформационным упрочнением благоприятно сказывается на условия работы пуансона. Вместе с тем, не применяя дорогостоящего оборудования,

длительность техпроцесса на этой операции сокращается почти в 30 раз, что ведет к значительному снижению себестоимости изготовления пуансонов. Приспособление для холодного выдавливания представлено на рис. 11. При дальнейшей мехобработке полученное шестигранное отверстие является базовым, а мастер-пуансон используется в качестве оправки.

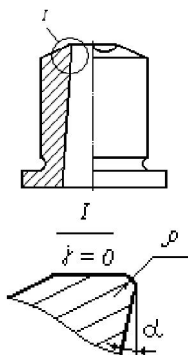


Рис. 10. Вырубной пуансон

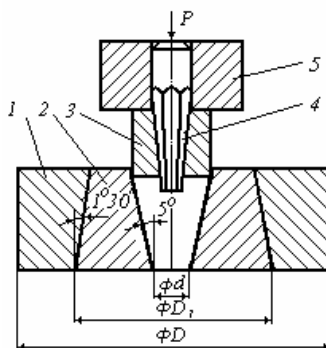


Рис. 11. Приспособление для холодного выдавливания: 1 – матрица; 2 – обойма; 3 – заготовка; 4 – мастер-пуансон; 5 – стакан

Как показал анализ причин, вызывающих дефекты пуансонов и выход их из строя, есть три пути повышения стойкости пуансонов. Основной путь – достижение высоких физико-механических свойств материала (твердости, прочности) при использовании процессов поверхностного упрочнения: химико-термическая, лазерная обработка и нанесение износостойких покрытий. Второй путь – улучшение условий эксплуатации оснастки (подбор СОЖ, состояние станка, строгое соблюдение технологических режимов и др.). Третьим, наиболее важным направлением, является оптимизация параметров режущих кромок пуансонов.

Как уже говорилось, оптимальным задним углом является угол $\alpha = 2^\circ$, а передним – угол $\gamma = 0^\circ$. Как показали расчеты хрупкой прочности режущей части инструмента [6], оптимальным радиусом округления режущей кромки является радиус $\rho = 30\text{--}40$ мкм. В случае оптимизации этого параметра можно добиться положительных результатов.

В ходе исследований были опробованы три способа формирования оптимального радиуса: дробеструйная обработка, виброобработка и

электрохимическое полирование. Первые два способа не дали положительных результатов. При дробеструйной обработке происходит возникновение сколов, достигающих 0,5–0,7 мм (рис. 12, а). При вибрационной обработке, когда значение ρ достигает оптимального, режущая кромка теряет свою форму, на вершине её образуется выработка (рис. 12, б).

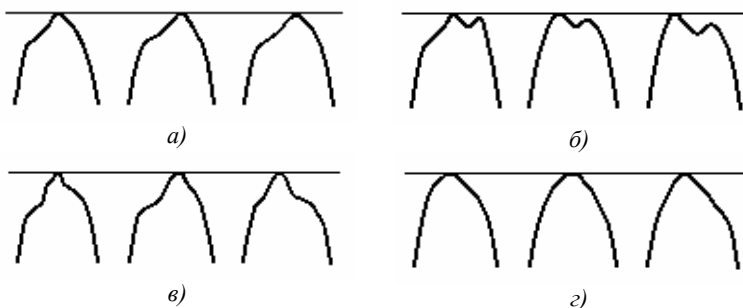


Рис. 12. Форма режущей кромки при формировании оптимального радиуса: а) – дробеструйной обработкой; б) – виброобработкой; в) и з) – электрохимическим полированием до и после

Положительный эффект получен при применении электрохимического полирования. При проведении полирования был использован электролит следующего состава: H_2SO_4 – 111 мл/л; H_3PO_4 – 100 мл/л; глицерин – 590 мл/л. Ток нагрузки, проходящий через электролит, составлял 0,4–1,0 А. В зависимости от продолжительности полирования возможно получение различных радиусов скругления режущих промок (7 минут для $\rho = 30$ –40). На рис. 12, в показан профиль режущей кромки до, а на рис. 12, з после полирования. Вместе с формированием оптимального радиуса скругления происходит уничтожение выщербин на режущих кромках (рис. 12, в), которые являются дефектом шлифования и транспортировки, а также приводят к зарождению трещин, приводящих к выходу из строя пуансонов.

Выводы. Повышение стойкости вырубных пуансонов можно обеспечить, проведением комплексных мероприятий, включающих: – технологические методы поверхностного упрочнения материала. Наиболее эффективно нанесение на поверхности пуансонов покрытий нитрида титана ионно-плазменным методом, повышающих стойкость оснастки в 3–7 раз; – оптимизацию параметров режущих кромок, главным образом радиуса округления режущих кромок. Установлено, что оптимальными задним углом является угол $\alpha = 2^\circ$, передним – угол $\gamma = 0^\circ$, а радиусом округления режущей кромки является радиус $\rho = 30$ –40 мкм,

формируемый электрохимическим полированием, обеспечивающее высокое качество профиля режущей кромки.

Полученные результаты требуют дальнейшего развития и дополнения с учетом изменения оборудования, применения новых материалов и технологий их изготовления.

ЛИТЕРАТУРА:

1. *Яремко Е.П.* Листообработка: выход на новый уровень.– Мир техники и технологии. – № 11 (84). – 2008. – С. 34–35.
2. *Тополянский П.А., Ермаков С.А.* Многократное повышение стойкости вырубных штампов // Инструмент и технологическая оснастка: методы повышения эффективности. Мат. науч.-техн. семинара, 26–28 марта 2002 г. – Санкт-Петербург, 2002. – С. 24–28.
3. *Бурькин В.В., Хандожко А.В., Горленко А.О.* Технология изготовления и повышение стойкости вырубных пуансонов // Технологическое повышение надежности и долговечности деталей машин и инструментов: Сб. науч. тр. – Брянск, 1990. – С. 110–116.

БУРЬКИН Виталий Витальевич – кандидат технических наук, научный сотрудник Института сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины.

Научные интересы:

- технология обработки материалов;
- повышение качества обработанной поверхности.

Подано 17.09.2009