

Процесс термоупрочнения будет осуществляться с использованием длиннофокусной лазерной оптики ($f_{\text{ф}} \approx 500$ мм) под углом к упрочняемой поверхности, что позволит исключить наличие отражающих зеркал, расположенных внутри детали.

После окончательной корректировки режимов по результатам стендовых испытаний деталей технологический процесс будет рекомендован для внедрения в производство на РУП ПО «МТЗ».

ВЫВОД

Получены экспериментальные данные процессов лазерного термоупрочнения высокопрочного ВЧ-50 и серого СЧ-20 чугунов с использованием газовых и новейших диодных волоконных лазеров. Экспериментальные результаты исследований будут использованы при разработке технологического процесса лазерного термоупрочнения контактных поверхностей упоров корпусных деталей тормоза. Освоение технологии позволит увеличить прочностные, износостойкие и эксплуатационные свойства тормозных механизмов трактора «Беларус».

ЛИТЕРАТУРА

1. **Спиридонов, Н. В.** Плазменные и лазерные методы упрочнения деталей машин / Н. В. Спиридонов, О. С. Кобяков, И. Л. Куприянов. – Минск: Вышэйш. шк., 1988. – 155 с.
2. **Лазерное** упрочнение коленчатых валов из высокопрочного чугуна / А. А. Левченко [и др.] // Физика и химия обработки материалов. – 1987. – № 1. – С. 62.
3. **Архипов, В. Е.** Лазерная обработка ферритного чугуна / В. Е. Архипов, А. Я. Гречин, М. Л. Хива // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1980. – № 4. – С. 16.
4. **Коваленко, В. С.** Упрочнение и легирование деталей машин лучом лазера / В. С. Коваленко, А. Ф. Головкин, В. С. Черненко. – Киев: Техника, 1990. – 192 с.
5. **Аронин, А. С.** Структура высокоуглеродистых сплавов железа после лазерной закалки из жидкого состояния и отпуска / А. С. Аронин, В. С. Крапошин // Металлофизика. – 1990. – Т. 12, № 4. – 101 с.
6. **Оптимизация** режимов лазерного термоупрочнения железоуглеродистых сплавов на примере закалки высокопрочного чугуна ВЧ-50 / Н. В. Спиридонов [и др.] // Теория и практика машиностроения. – Минск: УП «Технопринт». – 2004. – № 2. – С. 59–63.
7. **Райнке, Ф. Х.** Структура и свойства чугуна после отбеливания поверхностным переплавом / Ф. Х. Райнке // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1989. – № 5.

Поступила 4.04.2008

УДК 620.4539.37

ТЕХНОЛОГИЯ СКОРОСТНОГО ГОРЯЧЕГО ВЫДАВЛИВАНИЯ СТЕРЖНЕВЫХ ИЗДЕЛИЙ С ПЛАКИРОВАНИЕМ ТОРЦОВОЙ ЧАСТИ

Докт. техн. наук, доц. КАЧАНОВ И. В., асп. ШАРИЙ В. Н.

Белорусский национальный технический университет

Характерной особенностью современного промышленного производства Республики Беларусь являются отсутствие собственной сырьевой базы и существенная зависимость от импортных энергоносителей и материальных ресурсов, поставляемых по мировым ценам. При работе в таких условиях эффективность производства в основном может быть достигнута за счет всемерной экономии и внедрения высокопроизводительных, энерго- и ресурсосберегаю-

щих технологий, обеспечивающих получение высококачественной, конкурентоспособной продукции. В этой связи большими потенциальными возможностями обладают технологические процессы, основанные на использовании высоких скоростей деформирования. К их числу относится и скоростное горячее выдавливание с плакированием торцовой части (СГВ с ПТЧ), позволяющее за один удар получать заготовки стержневых изделий широкого про-

мышленного назначения, включая инструментальное (пробивные и формовочные пуансоны, выталкиватели штампов, прошивки, фрезы, стержни форм литья под давлением и т. д.), отвечающие требованиям эксплуатации в экстремальных условиях [1, 2]. Благодаря ряду преимуществ (повышение однородности деформируемого состояния, снижение сил контактного трения, адиабатное повышение температуры) СГВ с ПТЧ создает благоприятные условия для обработки малопластичных и труднодеформируемых материалов. Наличие стадии плакирования торцевой части обеспечивает сварное соединение частей инструмента, изготовленных из разнородных сталей, путем совместной радиально направленной пластической деформации. Эффективность технологии СГВ с ПТЧ значительно возрастает за счет ее реализации в режиме высокотемпературной термомеханической обработки (ВТМО), позволяющей значительно снизить трудо-, энерго- и материалозатраты (до 90 %) и зафиксировать благоприятные изменения в их микро- и макроструктурах, обеспечивающие дополнительное повышение физико-механических и эксплуатационных свойств.

Однако недостаточная изученность основных закономерностей и технологических возможностей процесса, отсутствие эффективных способов обработки и сведений о поведении материалов в условиях скоростного формоизменения, режимах сварки на стадии плакирования, противоречивость толкования сути динамических явлений, возникающих при соударении инструмента с заготовкой, недостаток исследований, направленных на оптимизацию и прогнозирование энергосиловых, кинематических и температурных параметров, а также несовершенство оборудования и оснастки не позволяют разрабатывать научно обоснованные технологические процессы СГВ с ПТЧ, что сдерживает их промышленное освоение.

В подавляющем большинстве случаев работоспособность стержневых изделий, полученных методом СГВ с ПТЧ, кроме механических свойств основного и плакирующего металлов, определяется качеством сварного шва. Поэтому контроль качества сварного шва и методика этого контроля являются одним из наиболее важных этапов технологического процесса про-

изводства плакированных изделий. Наиболее характерным дефектом сварного шва является так называемое «расслоение по шву» (РПШ), которое на макрошлифе выявляется в виде темной тонкой линии, полностью или частично разделяющей материал основы от плакирующего слоя [3].

Оценивая используемые для производства вышеуказанных изделий разнообразные методы и технологии (штамповки,ковки, слесарно-механической обработки, гидродинамического прессования порошковых материалов, металлизации напылением) [2, 4, 5], необходимо отметить, что они не отвечают в полной мере современным требованиям по производительности, экономии материальных ресурсов, трудозатратам, экологии. Наиболее общей причиной преждевременного выхода из строя пуансонов, полученных по традиционной технологии механической обработкой резанием, является их низкая технологическая прочность в результате перерезания волокон по месту сопряжения поверхностей [1].

Авторам [2] удалось частично расширить возможности технологии получения биметаллических метчиков из сталей 40X и P6M5 методом горячего пластического деформирования за счет выдавливания в штампе хвостовика и заготовки через профильную матрицу. Однако и в данном случае вследствие низкой скорости и степени деформации выдавленные метчики имели слабо проработанную структуру из-за ограниченного проникновения пластической деформации вглубь материала.

Учитывая актуальность рассматриваемого вопроса, нами была разработана и создана по результатам проведенных исследований новая технология получения стержневого инструмента методом СГВ с ПТЧ [6, 7].

Для проведения исследований были выбраны труднодеформируемые, малопластичные, отличающиеся по прочности стали, широко используемые в сфере инструментального производства, а также в общем машиностроении.

В качестве плакирующего слоя использовались штампо-инструментальные стали 5XHM, 5X3B3MFC, 9XC, X12M (ГОСТ 5950), У10А (ГОСТ 1435). Указанные марки стали являются основными при изготовлении деталей штампов (пуансонов, толкателей, прошивников),

предназначенных для горячей и холодной штамповки [1].

В качестве материала основы были выбраны качественная конструкционная сталь 45 (ГОСТ 1050) и легированная конструкционная сталь 40X (ГОСТ 4543) [1].

Для проведения экспериментов использовались цилиндрические образцы диаметром D_3 , равным 16; 20; 25; 30 мм и высотой $H_3 = 25-57$ мм из основного материала и диаметром d_3 , равным 13; 16; 18,5; 25 мм, высотой $h_3 = 3-8$ мм из плакирующего металла (рис. 1). Причем диаметр плакировки принимался равным диаметру выдавливаемого стержня. Образцы изготавливались резанием на токарном станке из прутков одной поставки и затем отжигались в вакуумной печи. Торцы образцов шлифовали на плоскошлифовальном станке модели ОШ424Ф11НЗ. Затем по переходной посадке собирали основную 1 и плакирующую 2 части заготовки (рис. 1а), после чего образцы нагревали в камерной печи СНОЛ-2УМ в безокислительной атмосфере. Для предотвращения окалинообразования образцы засыпали порошкообразным древесным углем. Температура нагрева для сталей изменялась от 820 до 1200 °С. Указанные граничные значения нагрева образцов обусловлены тем, что часть экспериментов проводилась при температурах ВТМО, значения которых для сталей У10А, 5ХНМ и 5ХЗВЗМФС равны соответственно 820; 860; 1150 °С [1].

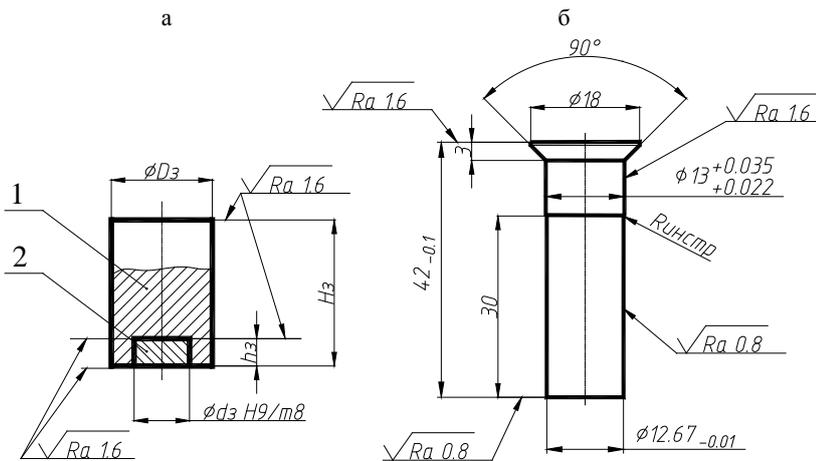


Рис. 1. Эскизы: а – расчетной заготовки; б – готовой детали № 1039-4081-010.07/02 (в соответствии с номенклатурой инструментального производства РУП «Станкостроительный завод им. Кирова»): 1 – заготовка из основного материала (сталь 45, 40X); 2 – плакирующий слой (сталь 5ХНМ, 5ХЗВЗМФС, 9ХС)

В процессе нагрева температуру в рабочем пространстве печи контролировали с помощью хромель-алюмелевой термопары, соединенной с потенциометром ЭПД-12, и поддерживали с точностью ± 10 °С. Время выдержки образцов в печи выбирали из расчета полного прогрева по сечению. Оно составляло 1 мин на 1 мм диаметра заготовки.

Формообразование и плакирование изделий осуществлялись в двух полуматрицах 3 специальной конструкции (рис. 2), предназначенных для реализации нового способа изготовления стержневых деталей с плакированием торцевой части [6]. Особенность конструкции матрицы заключается в том, что формирование сварного соединения между плакирующей пластиной и металлом основы происходит за счет совместного радиального пластического истечения обоих металлов в облойную канавку А, выполненную в донной части матрицы с высотой, равной толщине плакирующей пластины.

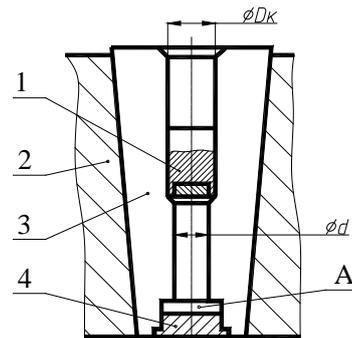


Рис. 2. Эскиз матричного узла оснастки для изготовления стержневого инструмента по способу [6]: 1 – заготовка; 2 – обойма; 3 – полуматрица; 4 – вставка

Поскольку конструкции штампов с разъемными матрицами позволяют практически мгновенно извлекать (за счет использования энергии упругого отскока пуансона) выдавленную деталь в момент окончания деформации, эффективность технологии СГВ с ПТЧ была повышена за счет реализации ее в режиме ВТМО [1]. Учитывая одноударный режим штамповки, обеспечивающий получение точных поковок с припуском только под шлифовку [1], объем W_3 исходной цилиндрической заготовки определялся по чертежу готовой детали

$$W_3 = k_y W_{\text{дет}} + W_{\text{об}}, \quad (1)$$

где k_y – коэффициент, учитывающий угар металла при нагреве ($k_y = 1,01-1,02$) [1]; $W_{\text{дет}}$ – объем готовой детали, рассчитанный с учетом припуска под шлифовку; $W_{\text{об}}$ – то же облойной канавки матрицы.

Для обеспечения удобных условий при загрузке в штамп диаметр заготовки D_3 в нагретом состоянии должен быть на 0,2–0,3 мм меньше, чем диаметр контейнера D_k :

$$D_3 = D_k - (0,2-0,3) \text{ мм}. \quad (2)$$

Высота заготовки H_3 определяется по известным значениям W_3 и D_3

$$H_3 = \frac{4W_3}{\pi D_3^2}. \quad (3)$$

Весьма важным моментом при разработке технологии точного скоростного выдавливания стержневого элемента является прогнозирование таких параметров, как номинальная энергия пуансона E_n , пиковые нагрузки, действующие на пуансон $P_{n,\text{max}}$ и матрицу $P_{m,\text{max}}$, величина средней температуры выдавленного изделия на момент окончания процесса, действительная энергия пуансона E_0 . Существенное значение для реализации технологии имеет прогнозирование устойчивого характера истечения деформируемого материала в матричную полость, реализуемого на основе соблюдения условия $v_0 \leq v_{0д}$ (v_0 – начальная скорость пуансона, $v_{0д}$ – допустимая скорость деформирования), исключая разрушение стержневой части изделия от инерционной растягивающей нагрузки.

Расчет указанных параметров процесса проводился по теоретическим зависимостям, приведенным в [8].

При конструкторской разработке штампового инструмента размеры матричной полости, предназначенной для пластического оформления «горячей» детали (поковки), рассчитываются с учетом ее температурной усадки по следующей зависимости:

$$l_r = l_0(1 + \alpha T_{\text{ср}}), \quad (4)$$

где l_r – размеры «горячей» детали при температуре окончания процесса выдавливания; l_0 – то же детали при стандартной температуре, рав-

ной 20 °С; α – коэффициент температурного расширения (для штампо-инструментальных сталей $\alpha = (13,6-15,2) \cdot 10^{-6}$, [1]); $T_{\text{ср}}$ – средняя температура (с учетом теплового эффекта) «горячей» детали в момент окончания процесса деформации, определяемая по данным [9].

Известно, что в обычных условиях обработки металлов давлением не может быть свободных от окислов и органических пленок ювенильных поверхностей металла, контакт которых должен обеспечить схватывание. В обычных условиях поверхность сталей всегда покрыта плотной и твердой окисной пленкой. Однако при высоких температурах и значительных пластических деформациях окисная пленка разрушается, обнажая чистые, не окисленные поверхности металла. При этом чем выше степень деформации, тем интенсивнее происходит обновление контактирующих поверхностей. Кроме того, с повышением степени деформации одновременно увеличиваются нормальные давления на контактирующих поверхностях, что в условиях объемно-напряженного состояния способствует повышению механических свойств соединения, его пластичности, а следовательно, и качества соединения [1].

Процесс СГВ с ПТЧ можно условно разделить на две стадии: формообразования и плакирования. Первая стадия характеризует формирование стержневого изделия и определяется коэффициентом вытяжки λ , представляющим собой отношение площади поперечного сечения исходной заготовки $F_{\text{заг}}$ к площади поперечного сечения выдавленного стержня $F_{\text{в.с}}$:

$$\lambda = \frac{F_{\text{заг}}}{F_{\text{в.с}}}.$$

Вторая стадия отмечается после соударения торцевой части с дном матричной полости, определяется коэффициентом осадки η и представляет собой отношение площади поперечного сечения облоя $F_{\text{об}}$ к площади поперечного сечения выдавленного стержня $F_{\text{в.с}}$ (рис. 3):

$$\eta = \frac{F_{\text{об}}}{F_{\text{в.с}}} = \frac{D_{\text{об}}^2}{d^2}. \quad (5)$$

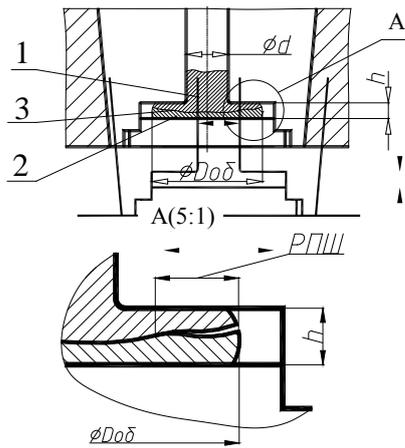


Рис. 3. Схематическое представление стадии плакирования стержневых изделий: 1 — материал основы; 2 — плакирующий слой; 3 — сварной шов

Проведенные нами эксперименты показали, что недостаточная степень осадки на стадии плакирования приводит к тому, что непосредственно по поверхности соединения в стыке остается цепочка окисных включений и даже сплошная пленка окислов. С увеличением коэффициента осадки η при плакировании стержневых изделий из различных биметаллов улучшается структура шва (становится более однородной) и уменьшается величина РПШ. В табл. 1 приведены данные, подтверждающие это положение.

Таблица 1

Влияние коэффициента осадки η на величину РПШ (средняя температура нагрева образцов $1150 \text{ }^\circ\text{C} \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$)

Биметалл	Скорость соударения торцевой части с дном матричной полости $v_{т.с}$, м/с	Диаметр выдавленного стержня, мм	Коэффициент осадки η	Величина РПШ, мм
Сталь 45 + 5ХНМ	11	13	3,4	2,8
	62	16	4,2	1,3
	90	18,5	4,8	0,5
	130	25	5,6	0,1
Сталь 40Х + 5ХНМ	11	13	3,4	3,2
	62	16	4,2	1,0
	90	18,5	4,8	0,2
	130	25	5,6	0,2
Сталь 45 + 5ХЗВЗМФС	11	13	3,4	1,9
	62	16	4,2	0,8
	90	18,5	4,8	0,6
	130	25	5,6	0,2
Сталь 40Х + 9ХС	11	13	3,4	2,6
	62	16	4,2	1,5
	90	18,5	4,8	0,5
	130	25	5,6	0,1

Следует отметить, что в диапазоне значений коэффициента осадки $\eta = (6-12)$ предел прочности σ_b шва и металла основы изменяется по одному и тому же закону (рис. 4а). Как следует из графиков (рис. 4б), осадка с коэффициентом $\eta = 6$ при средней температуре нагрева $1150 \text{ }^\circ\text{C} \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$ может быть принята за критическую (минимально необходимую). Аналогичная зависимость наблюдается и у изделий, выдавленных в режиме ВТМО. При значениях $\eta = (6-12)$ и более для исследуемых биметаллов на данной стадии установлено ухудшение пластичности соединений, что приводило к расслоению шва с образованием горячих трещин.

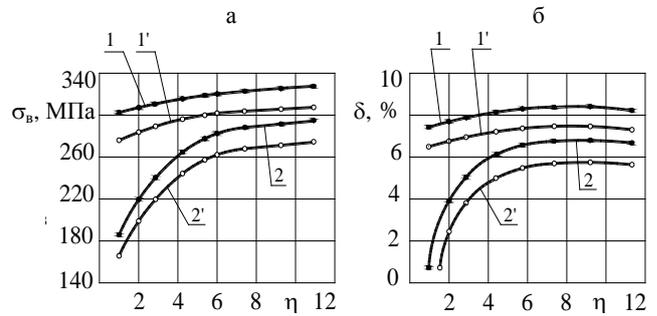


Рис. 4. Зависимость: предела прочности σ_b (а) и относительного удлинения δ (б) от коэффициента осадки η плакированного изделия: 1 — материал основы (режим ВТМО); 2 — сварной шов (режим ВТМО); 1', 2' — соответственно материал основы и сварной шов (деформация с охлаждением на воздухе; закалка $T = 860 \text{ }^\circ\text{C}$; отпуск $T = 450 \text{ }^\circ\text{C}$; $v_{т.с} = 62 \text{ м/с}$)

С результатами исследований механических свойств образцов хорошо согласуются в качественном отношении результаты микроструктурного анализа. Из приведенных на рис. 5 фотографий микроструктур видно, что с повышением скорости соударения торцевой части образца $v_{т.с}$ с дном матричной полости от 11 до 62 м/с (рис. 5а, б) равноосность зерен нарушается, что вызвано действием значительных сжимающих напряжений и распространением деформации в радиальном направлении. Дополнительное разрушение при этом претерпевают карбиды легирующих элементов (рис. 5б). При скоростях соударения 90 и 130 м/с вследствие пластического течения металла по дну матричной полости, сопровождающегося дроблением зерен и карбидов, в зоне шва формируется характерная полосчатая микроструктура (рис. 4в, г). Из рассмотрения фотографий

(рис. 4в, г) видно, что полосчатость мелкозернистой (балл зерна 12–14) микроструктуры ориентирована в радиальном направлении по плоскости течения деформируемого материала по поверхности инструмента (по дну матричной полости).

Иная травимось зоны шва (рис. 5в) по сравнению с остальным сечением стержня объясняется неодинаковой степенью деформации этих зон. Металл в зоне шва претерпевает значительные дополнительные сдвиговые деформации. Доказательством тому служит более ранняя рекристаллизация зоны шва по сравнению с другими внутренними слоями стержня, что совпадает с данными [10]. Повышенная травимость и более темный фон зоны сварного шва (рис. 5г) вовсе не свидетельствуют о какой-то несплошности или расслоении. Исследования показывают, что это строчечные выделения вторичных составляющих сплава, которые сосредоточены в зоне шва и при макроконтроле выглядят как темная сплошная линия, по внешнему виду очень похожая на РПШ [10].

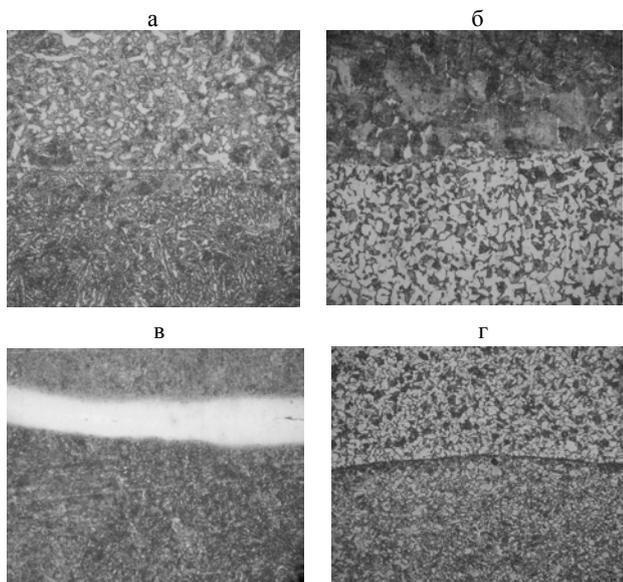


Рис. 5. Микроструктура шва в торцевой части стержня, выдавленного с ударом в дно матричной полости со скоростью соударения: а – 11 м/с; б – 62; в – 90; г – 130 м/с; сталь 45+5Х3В3МФС; $T_0 = 1150\text{ }^\circ\text{C}$; $\lambda = 4$; $\eta = 4,3$; $M = 9,4\text{ кг (x600)}$

Для изготовления пуансонов по новой технологии в соответствии с рекомендациями, касающимися проектирования матричной полости, были созданы комплекты полуматриц 1,

а также матричных вставок 2 для пластического оформления торцевой части (рис. 6а). Скоростное выдавливание пуансонов в режиме ВТМО осуществлялось на вертикальной скоростной установке (рис. 6б) с пороховым приводом.

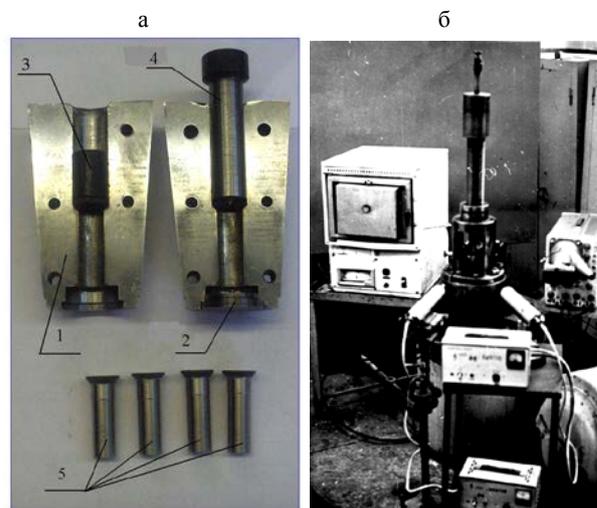


Рис. 6. а – внешний вид технологической оснастки для реализации процесса СГВ с ПТЧ пуансонов штампов для холодной пробивки отверстий: 1 – полуматрица; 2 – матричная вставка; 3 – заготовка; 4 – ударник; 5 – готовые изделия; б – то же экспериментальной установки с пороховым приводом

Конструкции штампов позволяют, используя упругий отскок пуансона, мгновенно извлекать отштампованную деталь из полуматриц и производить ее закалку в масле. При температуре $T_0 = 1150\text{ }^\circ\text{C}$ твердость на стержневой части пуансонов после закалки равнялась 54–58 HRC, а на рабочем торце – 59–63 HRC. Последующий отпуск при температуре 540–560 °C в течение 1,5–2,0 ч приводил к снижению твердости на стержневой части до 49–51 HRC, а на торцевой части – до 53–59 HRC. Для сравнения отметим, что аналогичный режим отпуска приводит к снижению твердости в изготовленных по заводской технологии из стали 9ХС (мехобработка резанием) стандартных образцах до 39–48 единиц HRC. Полученные данные свидетельствуют о том, что инструмент, изготовленный по рассмотренной технологии, обладает наследственным упрочнением, которое незначительно снимается при указанной температуре отпуска. Образцы пуансонов штампов для холодной пробивки отверстий, изготовленных в режиме ВТМО на основе способа [6] выдавливания стальных деталей с ПТЧ, показаны на рис. 7.



Рис. 7. Внешний вид поковок пуансонов штампов для холодной пробивки отверстий, изготовленных методом СГВ с ПТЧ в режиме ВТМО: $v_0 = 62$ м/с; $T_0 = 1150$ °С; $2\alpha = 90^\circ$; $\lambda = 4$; $\eta = 4,3$; материал основы – сталь 40Х; плакирующий слой – сталь 9ХС



Рис. 8. Внешний вид пуансонов штампов для холодной пробивки отверстий (номенклатура инструментального производства РУП «Станкостроительный завод им. Кирова»), изготовленных методом СГВ с ПТЧ в режиме ВТМО (технология разработана на основе способов [6, 7])

Пуансоны, изготовленные по новой технологии, проходили производственные стойкостные испытания на РУП «Станкостроительный завод им. Кирова». Результаты испытаний показали, что новая технология обеспечивает повышение стойкости пуансонов по сравнению с заводской (механическая обработка резанием плюс традиционные операции термообработки) в 3–5 раз. При этом необходимо отметить, что рабочая поверхность пуансонов после пробивки 12 тыс. отверстий (пуансоны проходили стойкостные испытания на прессе Б02–07 усилием 50 кН при пробивке отверстий диаметром 12 мм в полосе толщиной до 2 мм из сталей

08кп, ст. 3) была признана заводской комиссией вполне пригодной для дальнейшей эксплуатации.

Такое радикальное повышение стойкости инструмента объясняется формированием мелкозернистой структуры металла на рабочей поверхности и в зоне шва в результате скоростной деформации в режиме ВТМО. Наряду с этим повышению стойкости инструмента способствует локализация деформации на рабочих поверхностях инструмента, протекающая с формированием благоприятно ориентированной к условиям эксплуатации волокнистой макроструктуры и полосчатой микроструктуры. При этом необходимо отметить высокое содержание в структуре материала (стали 9ХС, Х12М, 5ХЗВЗМФС) мелкодисперсных, раздробленных в результате деформации карбидов, равномерно расположенных как в зоне сварного шва, так и на рабочем торце инструмента, что также является одним из факторов его повышенной износостойкости.

ВЫВОДЫ

1. Обработка материалов по предложенному способу позволяет изготавливать стержневой инструмент с плакированной торцевой частью. При этом обеспечивается значительное повышение степени деформации, сопровождаемое формированием высококачественной мелкозернистой структуры в торцевой части стержневых изделий и образования бездефектного сварного соединения по границе раздела биметалла при значениях коэффициента осадки $\eta = 5-6$. Дальнейшее увеличение значений η не приводит к возрастанию характеристик прочности σ_b и пластичности δ материалов основы и плакирующей части.

2. Разработанная технология, являясь практически безотходной (коэффициент использования металла при изготовлении пуансонов равняется 0,92–0,95), позволяет существенно (в 3–5 раз) повысить стойкость инструмента и на 90–95 % снизить расход инструментальной легированной стали 9ХС путем замены ее в стержневой части на конструкционную легированную сталь 40Х.

ЛИТЕРАТУРА

1. Качанов, И. В. Скоростное горячее выдавливание стержневых изделий / И. В. Качанов; под ред. Л. А. Исаевича. – Минск: УП «Технопринт», 2002. – 327 с.

2. **Алифанов, А. В.** Изготовление концевого биметаллического режущего инструмента методом горячего пластического деформирования / А. В. Алифанов, В. Г. Кантин, А. М. Милюкова, ФТИ НАН Беларуси // *Литье и металлургия*. – 2006. – № 4 (40). – С. 125–127.

3. **Гильденгорн, М. С.** Прессование со сваркой полых изделий из алюминиевых сплавов / М. С. Гильденгорн, В. Г. Керов, Г. А. Кривонос. – М.: Металлургия, 1975. – 240 с.

4. **Опыт** использования порошковой быстрорежущей стали для изготовления рабочих элементов тяжело нагруженных штампов / Ю. С. Холодняк [и др.] // *Кузнечно-штамповочное производство*. – 2007. – № 5. – С. 23–29.

5. **Макаренко, Н. А.** Ремонт штампов холодной штамповки / Н. А. Макаренко // *Кузнечно-штамповочное производство*. – 2007. – № 7. – С. 42–46.

6. **Способ** изготовления стержневых деталей (полужитительное решение по заявке № а20060140 от 19.02.2006 на выдачу патента РБ).

7. **Способ** диффузионной сварки сталей (заявка № а20060507 от 25.05.2006 на выдачу патента РБ).

8. **Качанов, И. В.** Оптимизация энергосилового режима при ударном выдавливании стержневых изделий с плакированием торцевой части / И. В. Качанов, В. Н. Шарий // *Вестник БНТУ*. – 2008. – № 2. – С. 198–200.

9. **Качанов, И. В.** Бесконтактное измерение поверхностной температуры при скоростном выдавливании стержневых изделий с плакированием торцевой части / И. В. Качанов, В. Н. Шарий // *Литье и металлургия*. – 2008. – № 2. – С. 198–200.

10. **Гельман, А. С.** Основы сварки давлением / А. С. Гельман. – М.: Машиностроение, 1970. – 312 с.

Поступила 9.09.2008

УДК 621.723

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ УПРОЧНЯЮЩИХ ПОКРЫТИЙ НА ИЗДЕЛИЯХ ИЗ СПЛАВА Д16Т

Докт. техн. наук, доц. ИВАЩЕНКО С. А., асп. КОЙДА С. Г.

Белорусский национальный технический университет

Одна из основных проблем, общая для всех областей техники, – повышение надежности и долговечности машин, механизмов и приборов.

Главной причиной выхода из строя машин, сокращения срока их службы является износ, поэтому большинство задач, решаемых с целью повышения надежности и долговечности машин в большей или меньшей степени, связано с устранением износа.

Традиционные методы упрочнения деталей (термическая и химико-термическая обработка, пластическое деформирование поверхности) в ряде случаев не обеспечивают существенного повышения износостойкости рабочих поверхностей. В первую очередь это относится к изделиям из аустенитных сталей, сплавов на основе меди и алюминия. В связи с этим особую актуальность приобретают работы, направленные на поиск путей изготовления деталей, об-

ладающих комплексом специальных свойств (высокая коррозионная стойкость, теплостойкость, немагнитность и др.) и имеющих высокие эксплуатационные характеристики: малый износ, особенно в условиях трения без смазочного материала, исключение явления «схватывания», хорошую приработку сопряженных поверхностей, достаточную стойкость в условиях агрессивных сред и повышенных температур. Очевидно, наиболее перспективным направлением создания поверхностных слоев с улучшенными эксплуатационными свойствами является формирование на рабочих поверхностях изделий упрочняющих покрытий.

В процессе эксплуатации деталей машин в зоне скользящего контакта происходит комплекс физических, физико-механических, электрохимических, акустических и других явлений, которые влияют на процессы трения и износа металлов [2].