

заготовку. Калибрующими поверхностями инструмента формируются цилиндрические шейки различных диаметров.

Для стабилизации положения заготовки в процессе прокатки и придания ей устойчивого вращения используются технологические дорожки с рифленой поверхностью, расположенные параллельно боковым граням деформирующих клиньев. Боковые грани деформирующих клиньев имеют рифленую поверхность. Это необходимо для придания прокатываемой заготовке стабильного вращения без проскальзывания.

На заключительной стадии прокатки специальными ножами, установленными по обе стороны инструмента, отрезают избытки металла от окончательно сформированной поковки. Схема инструмента поперечно-клиновой прокатки показана на рисунке 2. Все деформирующие клинья имеют наклонные боковые грани с углом наклона  $\alpha = 30^\circ$ .

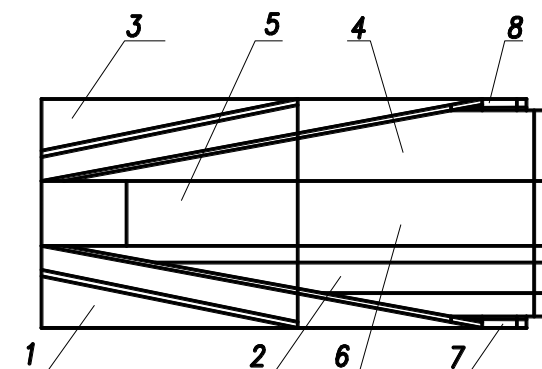


Рисунок 2 – Схема инструмента ПКП для прокатки поковки «Палец цилиндра»

На гранях выполнено технологическое рифление для исключения проскальзывания прокатываемой заготовки. Угол заострения клиньев 1, 2  $\beta = 7^\circ$ , для клиньев 3, 4 угол  $\beta = 3^\circ 30'$ . На опорной поверхности клиньев выполнены рифленые дорожки шириной 10 мм и высотой 0,5 мм выше опорной плоскости. Это необходимо для стабилизации положения прокатываемой заготовки перед заходными участками деформирующих клиньев и придания ей устойчивого вращения в начале прокатки.

Для предотвращения скручивания прокатываемых цилиндрических участков поковки относительно диаметра 36 мм исходной заготовки, рабочие вставки 5, 6 выполнены с понижением до 0,2 мм.

Отрезные ножи 7, 8 имеют угол подъема лезвия  $\gamma = 5^\circ$ , углы наклона  $\alpha = 40^\circ$  и  $20^\circ$  для стабильного отделения концевых отходов. Во избежание появления продольных следов на поверхности поковки при выходе детали, на инструменте выполнен уклон в  $3^\circ$  на длине 20 мм.

УДК 621.793

### **Исследование влияния термообработки на покрытия, сформированные деформационным плакированием гибким инструментом**

Студенты гр. 10402112 Денисов Д. Г., Бахтин А. С.  
Научный руководитель – Белый А. Н.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Деформационное плакирование гибким инструментом (ДПИ), обеспечивающее формирование поверхностного слоя с заданным комплексом эксплуатационных характеристик,

относится к новым перспективным технологиям финишной обработки, получившим широкое развитие в настоящее время [1, 2]. Метод ДПГИ сочетает пластическое деформирование поверхностного слоя основы с одновременным формированием покрытия, которое может рассматриваться как самостоятельный функциональный слой, так и в качестве промежуточного слоя необходимого для увеличения адгезионной прочности при формировании биметаллического соединения, с применением технологий порошковой металлургии и прокатки.

Однако в вопросе оценки прочности сцепления сформированных покрытий с основой многие исследователи приводят лишь данные о качественной оценке адгезионных свойств покрытий, что в определенной степени затрудняет не только выбор рациональных технологических режимов, но и расчет энергосиловых параметров процесса плакирования.

Необходимо отметить, что ранее выполненными исследованиями нами было установлено, что адгезионная прочность и характер разрушения покрытий, сформированных методом ДПГИ, в значительной степени зависит от вида материала основы и состава материала донора, а также, возможно, и толщины сформированного слоя. Максимальную адгезионную прочность (15,1 МПа) и адгезионный характер разрушения имели покрытия из бронзы БрО5С5Ц5Гр1ДМ0,5 с толщиной слоя 3...5 мкм, сформированные на образцах из стали 45. Меньшие значения адгезионной прочности (13,2 МПа) и смешанный характер разрушения имели покрытия, сформированные из бронзы БрОС. Однако вопросы влияния термической обработки на адгезионную прочность покрытий полученных методом ДПГИ не изучались. Между тем, подобная информация способствовала бы значительному расширению технологических возможностей метода ДПГИ и выбору материала покрытия, предназначенного для эксплуатации в конкретных условиях.

Цель работы заключалась в изучении влияния термической обработки (отжига) на адгезионную прочность покрытий из бронзы БрО10Ф1, сформированных методом деформационного плакирования гибким инструментом.

Методика исследований предполагала проведение испытаний на нормальный отрыв двух склеенных образцов цилиндрической формы, в соответствии с ГОСТ 27890–88. Перед началом испытаний на рабочих торцовых поверхностях ( $R_a = 0,16$  мкм) цилиндров, изготовленных из ст. 20 (HRC 20) формировали слой покрытия из бронзы БрО10Ф1. При этом формирование слоя покрытия осуществлялось как на чистых поверхностях, так и на поверхностях с предварительно нанесенным слоем из Ni и Cr.

Формирование покрытий осуществляли с использованием вращающейся цилиндрической щетки диаметром 150 мм, шириной 15 мм, длиной и диаметром ворса 25 и 0,25 мм соответственно. Линейная скорость вращения щетки составляла 35...38 м/с, частота вращения образца – 60 мин<sup>-1</sup>, число проходов щетки – 9...12. Толщина слоя покрытия из бронзы БрО10Ф1 на чистых поверхностях составляла 9...12 мкм, толщина покрытий из Ni и Cr – 3...4 мкм, суммарная толщина двухслойных покрытий Ni+БрО10Ф1 и Cr+БрО10Ф1 не превышала 10...12 мкм. Площадь основания цилиндрических образцов, на которую наносили испытываемое покрытие, составляла 1193,9 мм<sup>2</sup>.

После нанесения покрытия образцы подвергались отжигу в защитно-восстановительной атмосфере эндогаза при температуре 800–820 °С в течение 30 – 35 мин (остывание с печью). Затем производилась мойка и сушка образцов, обезжиривание и их склеивание с образцами без покрытия при усилии сжатия 3000 Н. Для склеивания использовался клей марки 3М производства Республики Корея. Время выдержки склеенных образцов составляло 24 часа.

Оценку адгезионной прочности склеенных образцов производили на универсальной гидравлической испытательной машине Instron Satеc 300LX. Технические характеристики модели 300LX: предельная нагрузка – 300 кН; максимальная скорость –

152 мм/мин; точность измерения нагрузки – 0,5 % от измеренного значения; частота синхронной регистрации данных – 1кГц; полное программное управление.

Испытания проводили с постепенным нарастанием нагрузки до разрыва пары образцов. Скорость перемещения захвата разрывной машины не превышала 10 мм/мин. Фиксировали нагрузку, при которой произошло разрушение образца, после чего обе части испытанного образца подвергали визуальному осмотру для определения характера разрушения:

- 1) адгезионный (А) – отрыв покрытия от основания;
- 2) когезионный (К) – разрушение внутри слоя покрытия;
- 3) межслойный (М) – разрушение между слоями покрытия;
- 4) смешанный (А, К, М) – сочетание перечисленных выше разрушений.

Предел прочности покрытия при отрыве образца ( $\sigma$ ) в паскалях вычисляли по формуле:

$$\sigma = \frac{P}{F},$$

где  $P$  – сила отрыва образца;

$F$  – площадь основания,  $m^2$ .

Результаты проведенных испытаний показали, что термическая обработка покрытий из бронзы БрО10Ф1 оказывает существенное влияние на их адгезионную прочность. У всех образцов с покрытием подвергнутых отжигу она превысила адгезионную прочность используемого клея, составляющую 22,5...25,0 МПа. В то же время у образцов, не подвергавшихся отжигу, адгезионная прочность составила в среднем 11,5...13,5 МПа. При этом, преобладал преимущественно когезионный характер разрушения покрытия (рисунок 1, а).

Следует отметить, что наряду с изменением адгезионной прочности изменяется и микротвердость поверхности сформированных покрытий. У образцов до отжига и после отжига среднее значение микротвердости покрытий HV0,2 составляет, соответственно 315 и 187.

#### Список использованных источников

1. Леванцевич, М. А. Исследование адгезионной прочности покрытий, сформированных методом деформационного плакирования гибким инструментом / М. А. Леванцевич, Н. Н. Максимченко, Е. Ф. Коновалова // Актуальные вопросы машиноведения : сб. научн. трудов. / ОИМ НАН Беларуси; редкол.: С.Н. Поддубко [и др.]. – 2014. – Вып. 3. – С. 350–353.

2. Белявин, К. Е. К вопросу о получении композиционного двухслойного антифрикционного материала / К. Е. Белявин, А. Н. Белый, Л. Н. Дьячкова, М. А. Леванцевич // Современные методы и технологии создания и обработки материалов. – Минск, 2014. – С.38–44.