

Микротвердость покрытий составляет 11 – 15 ГПа в зависимости от условий осаждения. Коэффициент трения изменяется в 6 раза с увеличением концентрации углерода от 73 до 93 мас. %, достигая минимального значения 0,023 при содержании углерода ~ 73 мас. % (рис. 3).

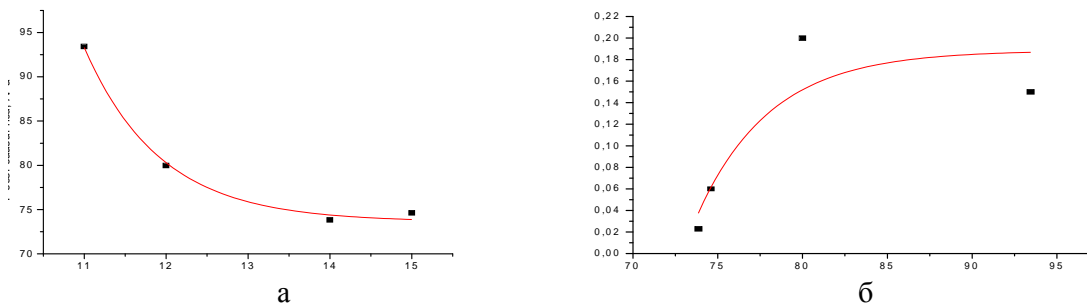


Рисунок 2 – Зависимость микротвердости(а) и коэффициента трения (б) покрытий молибден – углерод от содержания в них углерода

При трибологических испытаниях в режиме сухого трения на ранних стадиях испытаний регистрируется равномерный износ поверхностного слоя. Для покрытий с содержанием углерода ~ 73 мас. % коэффициент трения без смазки после выхода на режим достигал значения 0,023 и затем не изменялся, что свидетельствовало о стабильности поведения образцов.

Таким образом, изменяя условия осаждения, можно получать одно- или многофазные нанокompозитные металлоуглеродные покрытия, обладающие достаточно высокой твердостью и низким коэффициентом трения. Это сочетание характеристик делает предлагаемые покрытия перспективными для применений на деталях автомобильного двигателя и топливной аппаратуры.

УДК 621.791

### Электронно-лучевая сварка сталей Р6М5 и 5ХНМ при изготовлении деформирующей оправки

Магистрант Юревич С.В., студент группы 104816 Бирюков А.А.  
 Научный руководитель – Горанский Г.Г.  
 Белорусский национальный технический университет  
 г. Минск

Целью настоящей работы является исследование возможности получения соединения разнородных сталей Р6М5 и 5ХНМ с помощью электронно-лучевой сварки (ЭЛС).

При производстве заготовок переменного профиля для малолистовых рессор на Минском рессорном заводе весьма актуальна проблема долговечности деформирующей оправки, обеспечивающей получение требуемого переменного профиля с высокими точностными параметрами. Это обусловлено особенностями технологического процесса формообразования полос переменной по длине толщины горячей прокаткой. Формообразование полос с переменным по длине профилем для малолистовых рессор осуществляется путем прокатки нагретой до температуры 950-1000°С исходной заготовки на профильной деформирующей оправке при ее перемещении через неприводные валки.

Деформирующая оправка (рисунок 1) работает в условиях непрерывного истирания ее рабочих оформляющих поверхностей с деформируемым металлом, испытывая большие напряжения при статических нагрузках, а иногда при высокой и

резко изменяющейся температуре. Рабочая поверхность оправки имеет постоянный контакт с прокатываемым металлом в процессе деформирования и подвергается интенсивному износу. Уменьшить износ возможно, используя материалы с высокими свойствами термо- и износостойкости (например, сталь Р6М5). Ввиду их высокой стоимости оптимальным является вариант конструкции оправки с боковыми вставками из высоколегированных инструментальных сталей. Эффективной является технология изготовления деформирующей оправки с боковыми вставками с использованием ЭЛС. В таком случае важным фактором, влияющим на работоспособность инструмента, является выполнение требований качества сварных соединений.

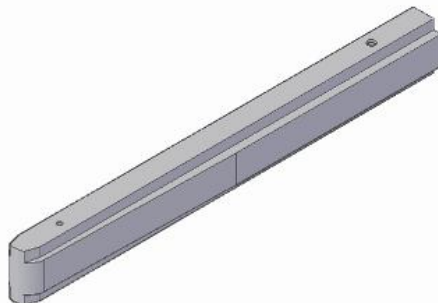


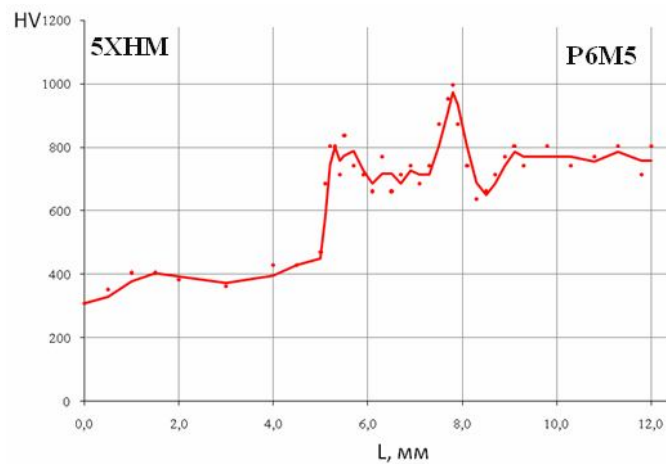
Рисунок 1 – Деформирующая оправка для изготовления заготовок малолистовых рессор

Проведены исследования по соединению сталей Р6М5 и 5ХНМ электронно-лучевой сваркой без дополнительных операций и с предварительным подогревом заготовок перед ЭЛС. При глубине сварных швов 8-10 мм ширина находится в пределах 2,5-3,5 мм.

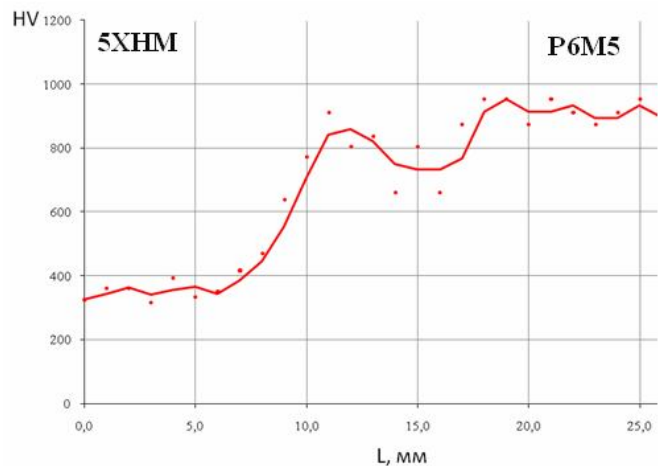
Высокое содержание углерода в сталях (порядка 0,9% в стали Р6М5 и 0,5% в стали 5ХНМ) и большие скорости охлаждения ( $10^2$ - $10^3$  °C/c) при обычных условиях проведения ЭЛС с использованием исходного холодного металла ведут к образованию хрупких закалочных структур и формированию значительных напряжений. Это может приводить к образованию холодных трещин и разрушению сварного соединения. В сварных соединениях сталей Р6М5 и 5ХНМ в корне сварного шва и зоне термического влияния могут образовываться трещины. Об образовании закалочных структур свидетельствует график распределения микротвердости (рисунок 2а). В зоне термического влияния со стороны стали Р6М5 присутствует участок с увеличением микротвердости по сравнению с основным металлом на 200 HV.

Применения предварительного подогрева позволяет уменьшить скорости охлаждения металла и получить более равномерное распределение микротвердости в сварном соединении (рисунок 2б). Со стороны стали Р6М5 в зоне термического влияния наблюдается снижение твердости на 100-150 HV. При переходе от сварного шва к стали 5ХНМ снижение твердости принимает плавный характер. Трещины в образцах не обнаружены.

Применение дополнительных операций, в частности предварительного подогрева, при ЭЛС дает возможность целенаправленно влиять на механические свойства сварного шва и зоны термического влияния, что позволяет получать соединения, удовлетворяющие предъявленным требованиям.



а



б

Рисунок 2 – Распределение микротвердости в сварном соединении сталей Р6М5 и 5ХНМ при сварке без подогрева (а) и с предварительным подогревом до 300°C (б)

УДК 621.791

**Моделирование процесса подогрева металла электронным лучом при сварке**

Магистрант Юревич С.В., студент группы 304815 Поболь А.И.

Научный руководитель – Горанский Г.Г.

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Одним из наиболее эффективных вариантов повышения долговечности инструмента, в том числе деформирующего, является использование разнородных материалов с применением вставок, выполненных из сталей с высокой термо- и износостойкостью. Использование в таких случаях сварных соединений во многих случаях затрудняется необходимостью проведения дополнительных мероприятий. Довольно часто использование в сварных соединениях высоколегированных сталей требует выполнения предварительного подогрева металла. При этом габариты свариваемой конструкция или условия сварки могут затруднять либо делать невозможным его выполнение. Целью работы является разработка метода получения надежных высокопрочных соединений разнородных материалов (высоколегированной инструментальной и теплостойкой сталей) с использованием электроно-лучевой