

УДК 621.791

Гринь А. Г., Бойко И. А.

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХРОМА И УГЛЕРОДА В НАПЛАВЛЕННОМ МЕТАЛЛЕ НА ПРОЧНОСТЬ СХВАТЫВАНИЯ С МЕДНЫМ СПЛАВОМ ПРИ ГОРЯЧЕМ ПРЕССОВАНИИ**

Теория трения, описанная в работе [1], объясняет сущность процесса схватывания. Автор считает, что причиной сил трения является молекулярная шероховатость трущихся поверхностей. Скольжение одного тела по другому возможно только в том случае, когда разделяющая их поверхность является поверхностью наименьшего сопротивления. Чем чище поверхности и пластичнее контактируемые металлы, тем интенсивнее проявляются силы молекулярного сцепления. Скольжение совершенно чистых металлических поверхностей невозможно, так как они под влиянием сил молекулярного взаимодействия схватываются. Анализ литературных данных о влиянии легирующих элементов на свойства металла для горячей обработки [2, 3] показал, что содержание углерода в сталях для прессового инструмента обычно ограничивается в пределах 0,3...0,5 %. Однако для инструмента, работающего при динамических нагрузках и соприкасающегося в процессе работы с повышенными температурами, для обеспечения достаточной устойчивости против отпуски содержание углерода может быть в пределах до 0,2...0,4 %. Широкое применение получили стали, легированные хромом и вольфрамом.

Применение хрома в инструментальных сталях основывается на способности этого элемента хорошо растворяться в железе, образовывать прочные карбиды, реагируя с углеродом, при содержании до 8–9 % повышать прочность ферритной составляющей стали. Наличие в структуре карбидов хрома способствует увеличению красностойкости, износостойкости и повышению прочности сталей при высоких температурах.

Целью работы является определение влияния хрома и углерода в наплавленном металле на схватываемость инструмента с обрабатываемым медным сплавом, в частности МНЖМц-30-1-1, а также других труднодеформируемых сплавов на медной основе при горячем прессовании.

Известно, что окисная пленка  $Cr_2O_3$  оказывает одно из наиболее сильных влияний на сопротивляемость против создания ювинильных участков и противодействует схватыванию [4]. В то же время введение углерода в раствор приводит к выпадению карбидов, а также снижает чистоту поверхностей контактируемых металлов. Для исследования оптимального содержания хрома и углерода и их соотношения в наплавленном металле относительно наименьшего схватывания был проведен ряд опытов.

Для проведения исследований было изготовлено 10 составов порошковых проволок, обеспечивающих различное содержание углерода и хрома в наплавленном металле. Наплавку стержней выполняли на полуавтомате ПДГО-510 в медный водоохлаждаемый кольцевой кристаллизатор на постоянном токе обратной полярности при следующих режимах: сварочный ток 260 А, напряжение дуги 26–27 В. В качестве источника питания применяли выпрямитель ВДУ-506.

Для оценки стойкости наплавленного металла против схватывания разработана установка на базе токарного станка ОТ-5, к задней бабке которого дополнительно установлен пневмоцилиндр, обеспечивающий усилие поджатия стержня не менее 2 кН. Установка предназначена для получения образцов для испытания на разрыв, на которых определяют силы сцепления образцов на границе раздела силы испытываемых материалов.

Образец представляет собой соединенные при помощи сварки трением стержни: один изготовлен из материала прессуемого сплава (МНЖМц-30-1-1), а другой – из многослойной наплавки порошковой проволокой, обеспечивающей получение исследуемого состава наплавленного металла. Размер стержней  $5 \times 50$  мм.

Схема установки представлена на рис. 1. Работа установки осуществляется следующим образом. В патрон 1 токарного станка устанавливается стержень наплавленного металла 2 и зажимается при помощи губок 3. Стержень из медного сплава 4 зажимается в трехкулачковый самоцентрирующийся патрон 5, установленный в заднюю бабку 6, свободно перемещающуюся по направляющим станины. Поджатие образцов друг к другу обеспечивается пневмоцилиндром 7, закрепленным на станине, шток которого упирается в заднюю бабку. Для обеспечения плавного хода бабки на входе сжатого воздуха в цилиндр установлен дроссель. Включение совместного вращения образцов после нагрева происходит после переключения рычага 8, приводящегося в движение электромагнитным двигателем 9. Температура нагрева образцов контролируется пирометром 10.

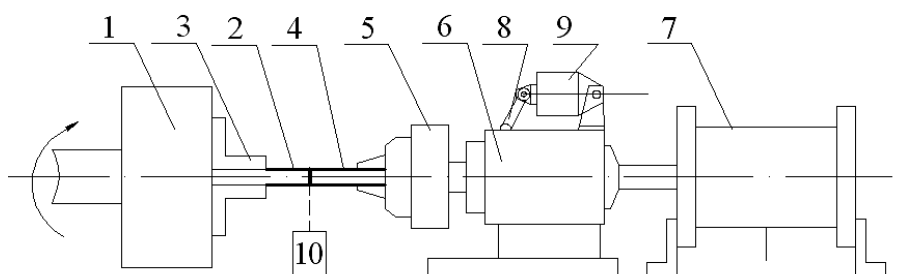


Рис. 1. Схема установки для получения образцов для исследования стойкости наплавленного металла против схватывания:

1 – патрон; 2 – наплавленный стержень; 3 – губки; 4 – стержень из обрабатываемого материала; 5 – патрон; 6 – задняя бабка; 7 – пневмоцилиндр; 8 – рычаг; 9 – электромагнитный двигатель; 10 – пирометр

Включение установки осуществляется нажатием кнопки «Пуск», после чего начинает вращаться двигатель установки и подается воздух в пневмоцилиндр. Происходит трение образцов, в результате чего они нагреваются. После нагрева до заданной температуры ( $750\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) пирометр подает одиночный звуковой сигнал. Параллельно звуковому динамиком пирометра через диод сигнал подается на реле, производящее включение электромагнитного двигателя. При втягивании его сердечника срабатывает рычаг, разблокирующий вал задней бабки, после чего образцы начинают вращаться с одинаковой скоростью. По истечению 20 секунд срабатывает реле времени, выключается вращение патрона и сбрасывается давление с пневмоцилиндра. После остывания образца производится снятие грата заподлицо с основной поверхностью токарным резцом с закругленной режущей кромкой, во избежание образования концентраторов напряжений на поверхности образца.

Изменение содержания вводимых легирующих элементов производилось при соответствующем уменьшении концентрации железного порошка в составе сердечника порошковой проволоки. В соответствии с анализом порошковых проволок, применяемых на современном этапе для наплавки инструмента горячего прессования, содержание углерода было выбрано в диапазоне  $0,1\text{--}0,5\%$ , а хрома от  $0$  до  $15\%$ . Содержание остальных легирующих элементов выбрано постоянным, а именно:  $\text{Si} = 0,5\%$ ,  $\text{Mn} = 0,6\%$ ,  $\text{W} = 3\%$ ,  $\text{V} = 0,5\%$ .

Для оптимизации химического состава наплавленного металла выбран центральный ортогональный план второго порядка. Варьирование химического состава наплавленного металла показано в табл. 1.

Таблица 1

Варьирование химического состава наплавленного металла

Изучаемые факторы	Содержание элементов, %	
	C	Cr
Основной уровень $X_0 = 0$	0,3	10
Интервал варьирования	0,2	5
Верхний уровень $X_i = +1$	0,5	15
Нижний уровень $X_i = -1$	0,1	5
Кодовое обозначение переменных	$X_1$	$X_2$

Исследуемые образцы подвергались испытанию на разрывной машине ОММ-5.

Матрица планирования эксперимента, включая звездные точки, была построена в пакете Statistica 6.0. Результаты эксперимента представлены в табл. 2, в качестве отклика  $Y$  принято усилие разрыва образца ( $H$ ).

Таблица 2

Матрица планирования и результаты эксперимента

№ опыта	$X_1$	$X_2$	$Y$
1	0,1	5,0	420
2	0,1	15,0	380
3	0,5	5,0	390
4	0,5	15,0	280
5	0,017157	10,0	400
6	0,582843	10,0	250
7	0,3	2,92893	460
8	0,3	17,07107	300
9	0,3	10,0	220
10	0,3	10,0	220

По результатам эксперимента строится поверхность отклика от факторов  $X_1$  и  $X_2$  (рис. 2).

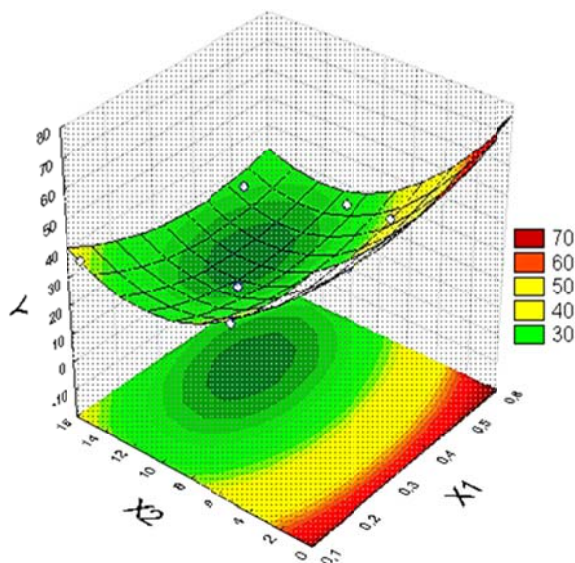


Рис. 2. Зависимость формы поверхности отклика от факторов  $X_1$  и  $X_2$

Получено уравнение регрессии:

$$Y = 78,72 - 88,258 \cdot X_1 + 140,625 \cdot X_1^2 - 7,11 \cdot X_2 + 0,335 X_2^2 - 1,75 X_1 \cdot X_2. \quad (1)$$

Проверка адекватности модели выполнялась по критерию Стьюдента, составившего 95 %.

Исследование влияния композиции легирующих элементов (хрома и углерода) на схватываемость металла наплавки с прессуемым металлом показало, что оптимальное содержание углерода находится в пределах 0,3–0,5 %, а хрома 11–13 %. Рост сопротивляемости схватыванию при увеличении хрома в стали объясняется его способностью образовывать прочную пленку окислов. Увеличение содержания углерода снижает количество хрома в растворе, связывая его в карбиды. Влияние карбидов хрома на износостойкость проявляется двояко: увеличение их количества снижает площадь и толщину окисной пленки, однако при скольжении прессуемого металла по инструменту они препятствуют созданию идеально гладких «ювинильных» поверхностей, позволяя кислороду проникать на границу скольжения и восстанавливать защитную пленку оксида хрома. Анализ экспериментальных результатов показал, что поверхность отклика имеет ярко выраженный минимум силы схватывания, соответствующий стали типа 40X12B3Ф. Было выдвинуто предположение, что увеличение количества карбидообразующих компонентов (W и V) в матричном растворе типа 40X12 должно повысить сопротивляемость схватыванию ввиду высвобождения свободного хрома и переходом его в раствор. Однако при этом снижение содержания углерода в мартенситном растворе может не повысить, а наоборот понизить эксплуатационную стойкость инструмента, снизив его твердость. Во избежание этого явления предложено легировать сталь кобальтом, вольфрамом и ванадием. При этом уменьшение растворимости вольфрама в мартенсите при легировании кобальтом должно привести не только к увеличению объемной доли выделений, но и к значительному повышению их дисперсности, в то время как нитриды ванадия позволяют дополнительно стабилизировать структуру стали при температурах инструмента, близких к критическим.

## ВЫВОДЫ

Соотношение хрома и углерода в наплавленном металле оказывает существенное влияние на образование очагов схватывания с прессуемым металлом, минимизация сил схватывания возможна при соотношении C и Cr 1:30.

Для повышения стойкости стального инструмента с матрицей типа 40X12 необходимо дополнительно легировать сталь вольфрамом, кобальтом и ванадием.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дерягин Б. В. *Что такое трение* / Б. В. Дерягин. – М.: АН СССР, 1963. – 230 с.
2. Костецкий Б. И. *Трение, смазка и износ в машинах* / Б. И. Костецкий. – Киев: Техника, 1970. – 396 с.
3. *Выбор способа реставрации рабочих втулок контейнера гидравлического пресса* / А. Г. Гринь, В. А. Пресняков, И. А. Бойко, С. М. Волков // *Обработка материалов давлением: сб. науч. тр.* – Краматорск: ДГМА. – 2012. – № 2(31). – С. 227–231.
4. Кошевой А. Д. *Динамика и характер износа рабочих втулок контейнеров горизонтальных гидравлических прессов* / А. Д. Кошевой, В. А. Пресняков // *Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском у машинобудуванні та металургії: зб. наук. праць.* – Краматорськ: ДДМА, 2001. – № 2. – С. 80–82.
5. Кремнев Л. С. *Штамповая сталь повышенной теплостойкости для деформирования жаропрочных материалов* / Л. С. Кремнев, Ю. А. Геллер, Т. Г. Сагадеева // *Сталь.* – 1970. – № 12. – С. 118–121.
6. *Разработка высокотеплостойкой инструментальной стали* / В. Н. Терехов, В. И. Канюка, А. Н. Мороз, Н. А. Рябухина // *Металлургия: сб. науч. тр. / гл. ред. В. И. Пожухев; М-во образования и науки Украины.* – Запорожье: Запорож. гос. инж. акад., 2011. – Вып. 25. – С. 16–21.
7. Путинцева М. Н. *Исследование процесса электроэрозионного диспергирования вольфрамкобальтовых твердых сплавов: дис. канд. техн. наук* / М. Н. Путинцева. – Курск, 2002. – 158 с.
8. *Разгаростойкость инструментальных сталей при циклических температурно-силовых воздействиях* / В. В. Бучинский, Г. А. Котельников, В. П. Бундин, А. Ф. Федотов // *Вопросы металловедения и физики металлов: сб. ст.* – Тула: Тульск. политехн. ин-т., 1977. – С. 121–123.
9. *Штампы для горячего деформирования металлов: учеб. пос. для вузов / под. ред. М. А. Тылкина.* – М.: Высш. школа, 1977. – 496 с.