

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПЛАСТИЧНОСТЬ СТАЛИ X12 С ДИФфуЗИОННО-УПРОЧНЕННЫМ СЛОЕМ

УО «Гомельский государственный технический университет имени П.О.Сухого»,
г.Гомель

Введение

Для увеличения срока службы деталей машин и оснастки используются различные виды обработки. Некоторые из видов имеют узкую направленность, повышая один параметр, другие оказывают комплексное воздействие на деталь. Один из видов обработки, с помощью которого можно в широком диапазоне изменять эксплуатационные характеристики поверхностного слоя металла является химико-термическая обработка [1].

В работе исследована возможность достижения повышенной технологической пластичности на образцах из стали X12 с диффузионно-упрочненным борированным слоем, полученным посредством химико-термической обработки с циклическим изменением температуры (ХТЦО) и термообработки (ТО).

Объект и методика исследования

Объектом исследования являлась сталь X12. Упрочнение поверхности производили борированием в порошковой среде с циклическим изменением температуры в области полиморфного превращения. Максимальная температура в период насыщения достигала 950°C . Суммарное время выдержки при указанной температуре составило 4 часа. Скорость нагрева рабочего пространства печи на стадии повышения температуры цикла составляла 30°C в минуту. В период охлаждения $-0,5^{\circ}/\text{мин}$.

Ориентация карбидных строчек по отношению к направлению диффузии и линии приложения нагрузки составляла 0° , 45° , 90° . (рис. 1)

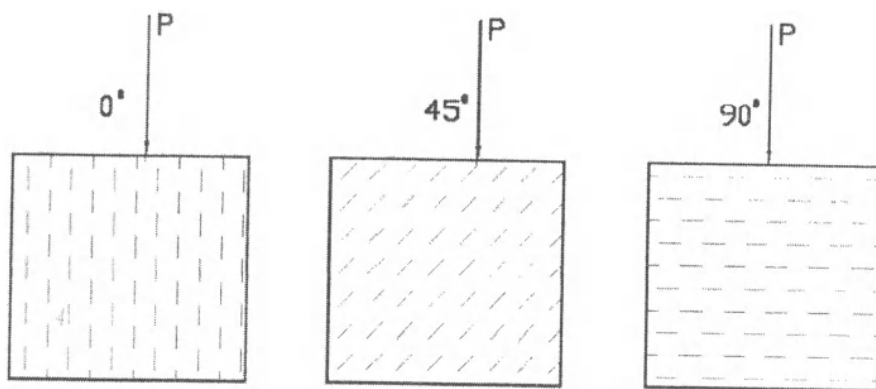


Рис. 1 — Ориентация текстуры в исследованных образцах из стали X12 по отношению к направлению диффузии и линии приложения внешней нагрузки.

Окончательную термообработку образцов проводили по следующим режимам: закалка от температуры 970°C , охлаждение в масле, отпуск при температуре 180°C в течение 1,5 ч.

Исследовали влияние ХТЦО на деформированное состояние образцов. Для этого

перед термообработкой образцы подвергались деформации с предельной величиной. Нагружение кубических заготовок осуществляли на гидравлическом прессе ПСУ-10.

Результаты экспериментов и их обсуждение

Проведение насыщения с циклическим изменением температуры позволило задействовать эффект маятникового отжига, который обычно осуществляется для высоколегированных сталей с целью подготовки их структуры к пластической деформации. В этом случае [1] в заготовке должна быть сформирована структура - зернистый перлит, и достигается минимальная твердость металла.

Применение указанной термообработки, совмещенной с процессом борирования стали X12 позволило получить указанную структуру и довольно низкую твердость (рис. 2). Наименьшая твердость достигнута на образцах, контактная поверхность которых представляла собой поперечный разрез заготовки. Угол между линией карбидных строчек и направлением приложения нагрузки составил 0° (рис. 1). Карбидная фаза оказывала минимальное сопротивление внедрению индентора, поскольку карбиды располагались вертикально. Очевидно, что сопротивление внедрению индентора в основном оказывала металлическая матрица, пластичность которой и определила в итоге интегральное значение твердости двухфазной системы первичные карбиды-матрица. Различия в свойствах карбидных включений и металлической матрицы должны приводить к наиболее быстрому зарождению трещиноподобных дефектов на границе карбид-металлическая матрица из-за расклинивающего действия включения на материал матрицы.

Значения твердости после ХТЦО



Рис. 2 – Результаты оценки твердости (НВ) образцов в зависимости от расположения их текстуры по отношению к линии приложения внешних сил.

Твердость образцов с ориентацией структуры 45° и 90° по отношению к линии приложения силы оказалась выше. Этот эффект, по-видимому, обусловлен тем, что ориентация карбидного включения по отношению к линии приложения нагрузки позволила в большей степени перераспределить нагрузку от внедрения индентора на совокупность включений, оказавшихся в контакте с индентором. Максимальная твердость достигнута в случае, когда площадь совокупности включений по отношению к поверхности индентора максимальна и определяется поперечным расположением включений к линии

приложения нагрузки на индентор.

Перед окончательной термообработкой была проведена деформация образцов, результаты которой представлены в таблице 1.

Значения деформации

Таблица 1

Ориентация текстуры по отношению к линии приложения внешней силы, градус	деформация, %	напряжения, МПа
0	20	999
45	30	985
90	25	999

Степень деформации образцов с включениями, ориентированными к линии приложения нагрузки под углом 0° , составила 20%. Это максимальная величина деформации, при которой образец сохраняет свою целостность без возникновения начальных трещин. Дальнейшее увеличение величины деформации сопровождается постепенным разрушением образца, которое регистрируется на диаграмме деформация-напряжение площадкой текучести (рис. 3). Одновременно с этим на боковой поверхности образца начинают появляться микротрещины, которые при более высоких уровнях деформации практически без увеличения напряжения, растут и объединяются в сетку крупных трещин. Отмеченный порог начала трещинообразования является минимальным. На образцах с другой ориентацией текстуры по отношению к линии приложения нагрузки (45° , 90°) зарождение начальных трещин происходит при более высоких степенях деформации 30 и 25% соответственно. Во всех рассмотренных случаях начальное зарождение трещин происходит при близких по величине напряжениях порядка 1000 МПа. Таким образом, можно сделать вывод, что механизм зарождения микротрещин в процессе предварительного деформирования определяется направлением текстуры материала.

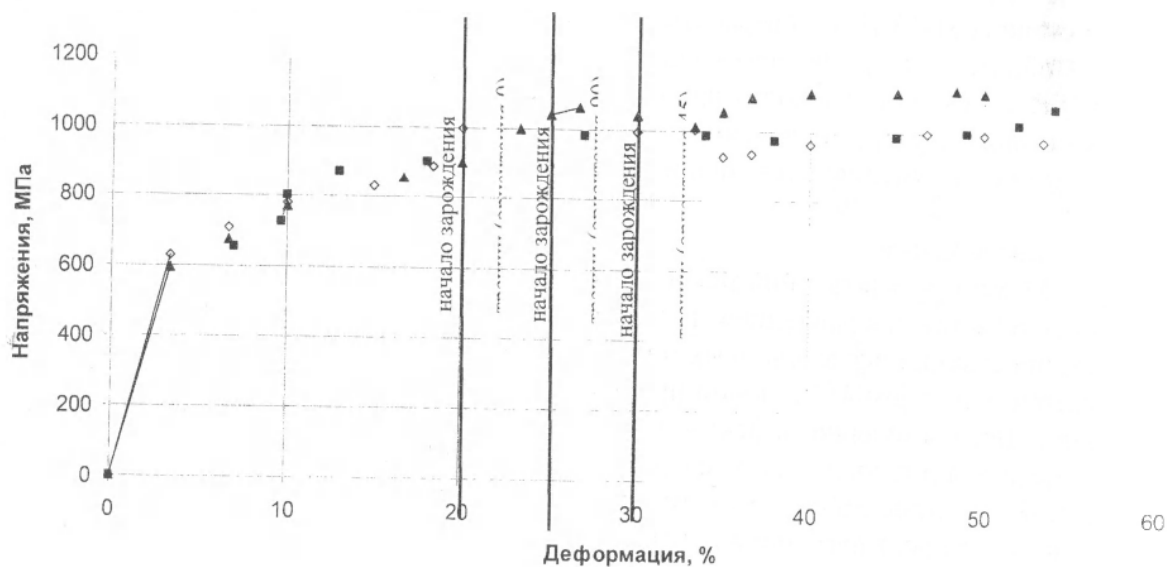


Рис. 3. — Результаты исследования деформированного состояния образцов из стали X12, подвергнутых ХТЦО. Ориентация структуры $\diamond$ - 0° , $\blacksquare$ - 45° , $\blacktriangle$ - 90° .

Результаты измерения твердости коррелируют с оценкой момента начала зарожде-

ния трещин. Наиболее низкой твердостью обладают образцы, в которых карбидные строчки располагаются параллельно линии приложения внешней нагрузки. Можно предположить, что именно расклинивающее действие карбидных частиц не только в момент деформации материала индентором, но и при объемной деформации всего образца определяет момент зарождения трещин. Карбидные частицы внедряясь в матричный материал смещаются относительно него, в результате своей более высокой жесткости. Как следствие, продольная граница карбидного включения является зоной первоочередного зарождения дефектов. То есть технологическая пластичность стали X12 в случае совпадения направления внешней деформирующей силы с ориентацией карбидных строчек не может превышать 20%.

Порог технологической пластичности для других случаев ориентации текстур составляет 30 и 25% для случаев 45 и 90° соответственно (табл. 1). Максимальная степень деформации до начала образования первых микротрещин для образца, карбидные строчки которого располагаются под углом 45° к линии приложения внешней силы, составляет 30%. Повышенную пластичность материала можно объяснить благоприятным расположением прослоек материала матрицы. Направление максимального касательного напряжения совпадает с направлением ориентации включений и локальных прослоек матричного материала между включениями что, по-видимому, локализует процесс скольжения в указанных зонах без значительного сопротивления со стороны карбидных включений.

Поперечное расположение карбидных включений по отношению к линии приложения внешней силы сопровождается снижением порогового значения деформации, что, по-видимому, объясняется проявлением прочностных характеристик включения при его нагружении поперек продольной оси. Как правило, что в этом случае начало зарождения трещин будет проходить как в окрестности краев включения, так и в центральной части включения в случае его разрушения.

Во всех исследованных случаях зарождение трещин происходило вне упрочненного слоя во внутренних объемах металла.

После окончательной термообработки твердость сердцевины материала образцов составила 51-53 HRC. Твердость упрочненного слоя – 18 ГПа. Испытания с нагружением образцов до разрушения показали, что окончательное разрушение по механизму хрупкого скола происходит при напряжениях 1900-2100 МПа. Существенных различий в механизме разрушения закаленных образцов для различной ориентации текстуры металла по отношению к линии приложения внешней силы не выявлено.

Заключение

Механизм зарождения микротрещин в процессе предварительного деформирования определяется направлением текстуры материала. Наибольшей технологической пластичностью из исследованных образцов обладают образцы, текстура которых располагается под углом 45° к линии приложения внешней силы и степень деформации равна 30%. Возникновение дефектов на стадии предварительной пластической деформации отмечается под упрочненным слоем. Это создает благоприятные условия для формирования инструмента со сложным профилем формообразующей кромки методом выдавливания с предварительным диффузионным упрочнением. В качестве технологического параметра в этом случае следует учитывать пороговое значение пластической деформации. Оно не должно превышать величины 20%.