

ПОВЕРХНОСТНОЕ УПРОЧНЕНИЕ СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ЛИТЬЕ ПО ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ

М. А. Гурьев, Г. А. Околович

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

Одним из важнейших эксплуатационных качеств деталей машин и инструмента является износостойкость, так как более 70 % из них выходят из строя по причине износа. Методы улучшения эксплуатационных свойств за счет объемного легирования сталей дает возможность получать стали с заданными свойствами. Однако, объемное легирование, как правило, позволяет в значительной степени повысить эксплуатационные свойства, является не экономичным, а во многих случаях неосуществимым из-за почти полной потери сталями таких свойств, как пластичность и вязкость. Поэтому в последнее время все большее внимание уделяется методам поверхностного упрочнения сталей.

Структура и свойства поверхностных слоев деталей машин и инструмента оказывают важное влияние на их работоспособность, так как в процессе эксплуатации именно поверхностные слои наиболее интенсивно подвергаются температурно-силовым воздействиям. Существует множество способов упрочнения поверхности: лазерное упрочнение, наплавка, накатка, применение различных технологий нанесения покрытий. Однако применение данных технологий требует использования сложного, часто уникального, дорогостоящего и энергоёмкого оборудования, дорогостоящих упрочняющих сплавов, высококвалифицированного персонала, проведения повторного процесса упрочнения после шлифовки при износе инструмента.

Поэтому особый интерес представляет разработка новых высокоэффективных методов упрочнения деталей машин и инструмента за счет диффузионного насыщения поверхности металлов и сплавов различными химическими элементами, метод химико-термической обработки (ХТО). Широко используемая традиционная химико-термическая обработка хотя и повышает износостойкость инструмента, но кроме выше перечисленных недостатков требует большого расхода электроэнергии в связи с длительностью высокотемпературных диффузионных процессов. Всё это приводит к повышению стоимости инструмента.

Борирование является одним из наиболее перспективных методов ХТО, так как

среди известных диффузионных покрытий лидерство в плане повышения таких параметров как износостойкость, теплостойкость и поверхностная твердость принадлежит покрытиям на основе бора.

Традиционно диффузионное борирование используется для готовых изделий, когда операция упрочнения является окончательной. Однако в этом случае приходится учитывать влияние таких последствий как изменение геометрических размеров упрочненных деталей, которое неприемлемо для прецизионных изделий, а так же относительно высокую хрупкость получаемого диффузионного слоя при размерах самого слоя, не превышающих 250 мкм.

Указанных недостатков лишен способ поверхностного упрочнения, когда упрочнение поверхности и процесс изготовления совмещены в единый процесс. Такая комбинация возможна только при изготовлении деталей машин и инструмента методами литья. В этом случае образование упрочненного слоя происходит в результате взаимодействия горячего материала отливки с легирующим облицовочным слоем, нанесенным на поверхность литейной формы.

Изготовление инструмента различными методами литья приводит к сокращению расхода дорогостоящей инструментальной стали, снижению расходов на изготовление инструмента и повышению его стойкости. При использовании литейных технологий появляется возможность в широких пределах использовать дополнительное легирование, микролегирование и модифицирование стали для повышения работоспособности инструмента исходя из конкретных условий его эксплуатации.

Большой практический интерес представляет получение в процессе литья диффузионных слоев на основе боридов железа, обладающих, как известно, высокой твердостью и износостойкостью [1].

Известные в настоящее время методы поверхностного легирования отливок можно подразделить на три группы в зависимости от того, как происходит упрочнение: 1) в результате сваривания легирующего материала с

ПОВЕРХНОСТНОЕ УПРОЧНЕНИЕ СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ЛИТЬЕ ПО ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ

поверхностью отливки; 2) пропитки жидким металлическим сплавом облицовочного легирующего покрытия; 3) диффузии легирующих элементов из облицовочного слоя формы в отливку. В основе каждого из них лежит свой механизм упрочнения поверхности слоя.

В первом случае легирующая паста расплавляется за счет тепла жидкого металла и сваривается с кристаллизующейся поверхностью отливки, что позволяет получать сравнительно толстые слои с высоким содержанием легирующих элементов. Однако при этом возникают трудности в легировании тугоплавкими элементами. Недостатком метода является также и то, что вследствие растворения легирующей пасты не представляется возможным получить достаточно точные изделия с хорошим качеством поверхности.

Применение второго метода позволяет получить упрочненные слои значительной толщины. Для образования бездефектного слоя необходимо, чтобы жидкий металл пропитал легирующую пасту на всю толщину ее слоя. При этом значительную роль играет соотношение между толщиной слоя пасты, размерами отливки и температурой заливаемого сплава. Получение упрочненного слоя значительной протяженности возможно лишь, если температура в зоне касания выше температуры кристаллизации металла, а длительность фильтрации расплава в порах пасты больше продолжительности нагрева всего материала до температуры смачивания и меньше времени охлаждения сплава до кристаллизации. Недостатком метода являются сложность определения оптимальной температуры заливки и поддержание ее на данном уровне в каждом конкретном случае. Кроме того, чрезвычайно затруднительно получение хорошего качества поверхности отливок.

В случае образования упрочненного слоя за счет диффузии легирующих элементов из облицовочного покрытия формы без его расплавления насыщение происходит как в процессе кристаллизации, так и в процессе последующего охлаждения затвердевших отливок. Такой механизм образования легированного слоя позволяет получать отливки со сравнительно хорошим качеством поверхности. В отличие от предыдущих методов диффузионные слои образуются даже при минимально возможных температурах заливки жидкого сплава. При этом получают упрочненные слои, имеющие толщину до 5 мм, обладающие высокими износостойкостью и пластичностью слоя. Именно этому методу поверхностного легирования в данной работе уделено первоочередное внимание.

Среди возможных методов получения отливок с упрочненной поверхностью наиболее перспективным является метод получения отливок по газифицируемым (ЛГМ) [2] или выжигаемым моделям. Метод ЛГМ основан на деструкции одноразовой модели в форме во время заполнения ее жидким расплавом. Такой метод позволяет получать отливку наиболее высокой размерной точностью и с достаточно хорошей частотой поверхности (от 3 до 6 класса шероховатости), так как насыщающая смесь наносится непосредственно на модель. Нанесение же насыщающей смеси на внутреннюю поверхность литейной формы при других методах требует корректировки размеров модельной оснастки, что значительно усложняет технологический процесс изготовления форм и снижает размерную точность отливки.

Целью данной работы являлось повышение износостойкости деталей и литого инструмента за счет поверхностного легирования при литье по газифицируемым моделям.

На газифицируемую модель наносилась насыщающая обмазка в пастообразном состоянии толщиной 0,5–1,5 мм, после чего модель просушивалась и при последующей сборке с литниковой системой окрашивалась огнеупорной краской. В результате взаимодействия жидкого сплава отливки (сталь 30) с легирующим облицовочным слоем, при кристаллизации и последующем охлаждении на поверхности отливки получали упрочненный слой (рисунок 2). После охлаждения и очистки из отливок вырезались образцы для исследования структуры (рисунок 1, 2) и физико-механических свойств упрочненных отливок (рисунок 3). Проводились испытания на износостойкость.

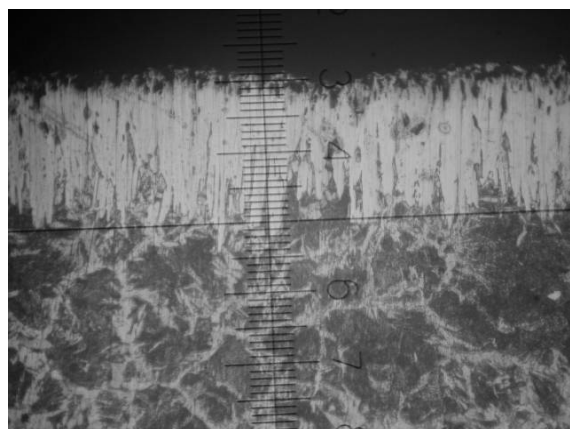


Рисунок 1 – Структура борированной Стали 30, цена деления шкалы 10 мкм

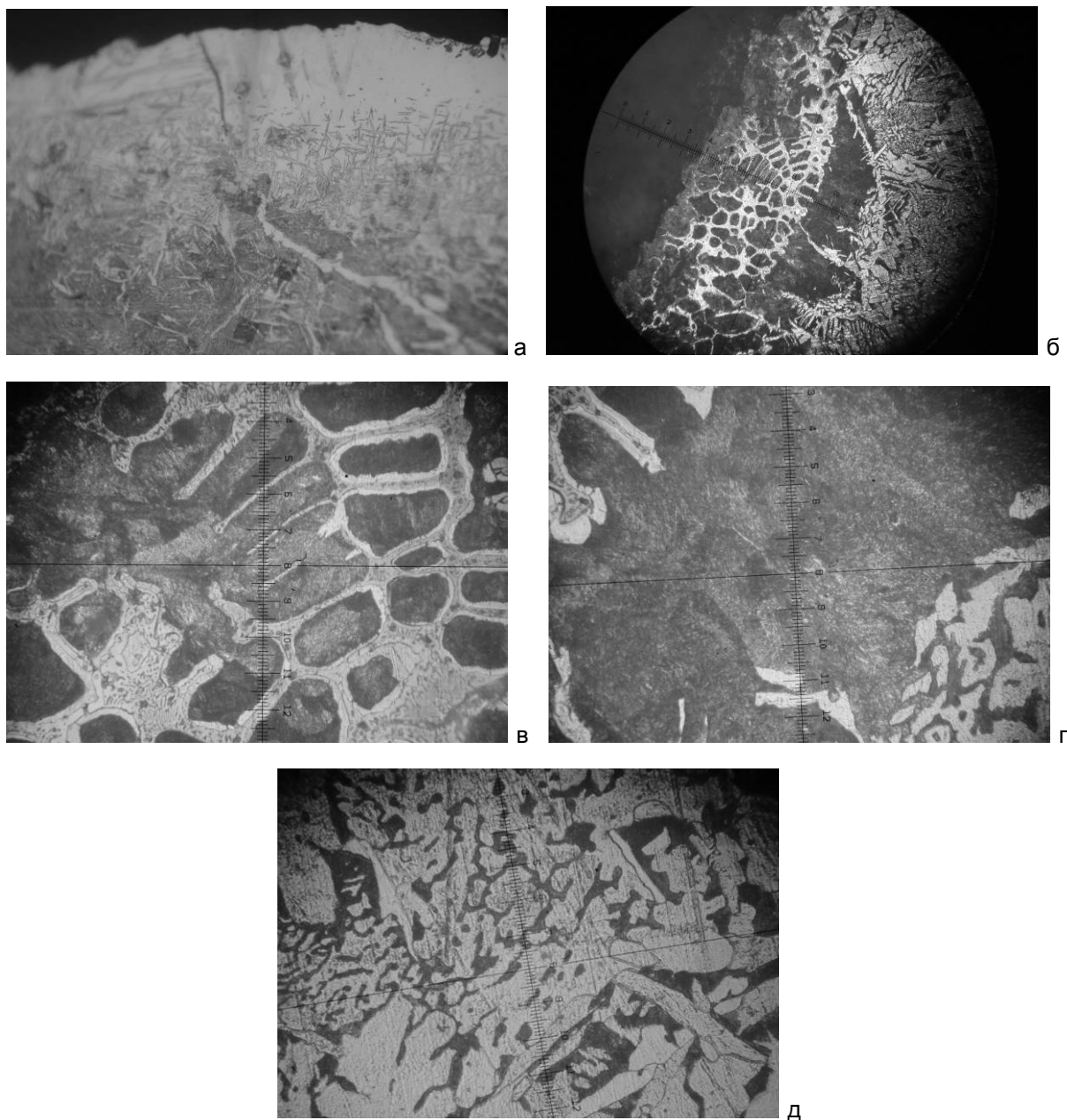


Рисунок 2 – Сталь 30 Л, поверхностное легирование при литье; а (х100), б, в, г, д – цена деления шкалы 10 мкм

Из рисунков видно, что упрочненный слой полученный при поверхностном легировании из облицовочной обмазки имеет на порядок большую глубину (примерно 2,5–3,0 мм против 210–250 мкм) при несколько меньшей твердости. Структура упрочненного при литье слоя значительно отличается от боридного слоя полученного классическим способом. При таком способе упрочнения на поверхности отливок образуется эвтектический слой (литая боридная эвтектика) в котором не наблюдается ярко выраженной зоны столбчатых боридов. Следует отметить, что такая структура определяет более высокий ком-

плекс механических свойств упрочненного слоя за счет снижения уровня внутренних напряжений и более благоприятного сочетания твердости и пластичности. Микротвердость диффузионных слоев, получаемых в процессе литья несколько ниже, чем у слоев, получаемых методами ХТО (11000–16000 МПа у литых и 16500–21000 МПа при ХТО), однако это компенсируется увеличением пластичности. Значительно возросшая пластичность диффузионного слоя дает возможность использовать литые диффузионно-упрочненные детали при повышенных ударных нагрузках без опасности скалывания слоя.

ПОВЕРХНОСТНОЕ УПРОЧНЕНИЕ СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ЛИТЬЕ ПО ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ

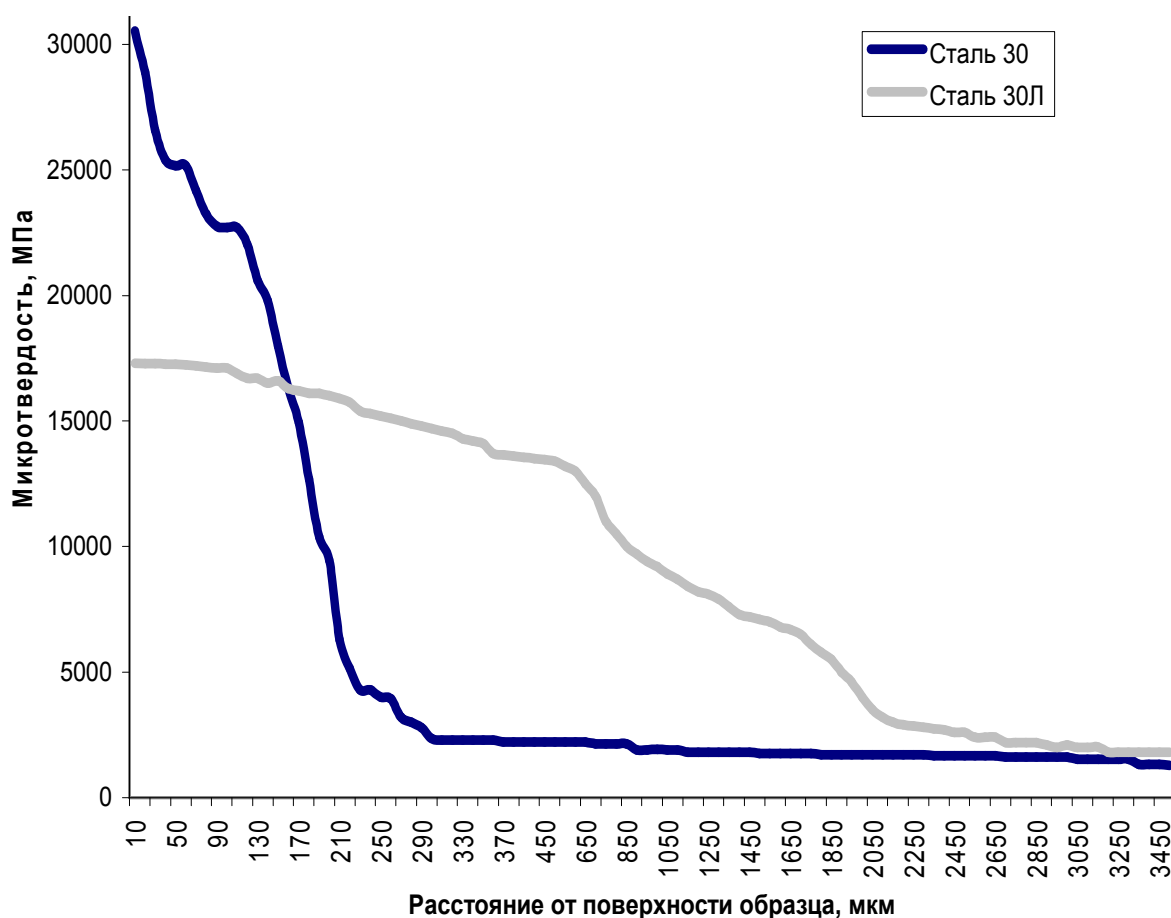


Рисунок 3 – Распределение значений микротвердости в упрочненном слое углеродистой стали (0,3 % углерода): Сталь 30 – твердофазное борирование из обмазки, Сталь 30Л – насыщение поверхности при получении отливки по газифицируемой модели

Проведены комплексные исследования структуры и свойств упрочненных образцов и отливок из стали 110Г13Л. Изучали кинетику формирования окончательной структуры основного металла и упрочненных слоев. Структуру, фазовый и химический состав упрочненных слоев изучали металлографическим и микрорентгеноспектральными методами. Металлографическое исследование проводили на оптических микроскопах (МИМ-10, Neophot-21) и электронном растровом микроскопе BS-300 «Tesla». Для просмотра в оптическом микроскопе шлифы готовились методами химического и электрохимического травления. С помощью растрового микроскопа был проведен фрактографический анализ поверхности разрушения и состояние изношенной поверхности. Рентгеноструктурный фазовый анализ проводили с помощью дифрактометра ДРОН-1,5 в монохроматическом Fe-K α излучении. Механические свойства (твердость, прочность, пластичность, ударная вязкость) определяли по стандартным мето-

дикам. На универсальной испытательной машине «Instron» с максимальным усилием 50 кН определяли прочность и пластичность. Ударную вязкость определяли при испытании образцов без надреза на маятниковом копре типа 2130KM-03. ДюрOMETрические исследования осуществляли на приборе ПМТ-3 по ГОСТ 9450-76.

В результате проведенных исследований была показана принципиальная возможность комплексного многокомпонентного диффузионного упрочнения поверхностностей сталей различного химического состава из насыщающих обмазок на основе карбида бора.

Установлено, что диффузионный слой, полученный при литье имеет на порядок большую толщину по сравнению с диффузионными слоями, полученными методами химико-термической обработки (ХТО) из насыщающей смеси того же состава. Строение такого слоя также принципиально изменяется по сравнению со слоем после химико-термической обработки. Игольчатое строение, присущее борид-

ным слоям полученным методами ХТО исчезает, переходя в литую боридную эвтектику. Микротвердость слоев, получаемых в процессе литья несколько ниже, чем у слоев, получаемых методами ХТО (11000–16000 МПа у литых сталей и 16500–21000 МПа при ХТО), однако это компенсируется их значительно возросшей пластичностью, что позволяет использовать литые диффузионно-упрочненные детали при повышенных ударных нагрузках без опасности скалывания слоя.

Исследования показали, что толщина слоя полученного поверхностным легированием сталей различного химического состава слабо зависит от марки стали в отличие от диффузионного упрочнения в твердой фазе. При этом структура слоя, получившийся на стали 110Г13Л все же значительно отличается от слоя на стали 35Л: полученный слой имеет четкую границу, делящую его на два подслоя, четко разграниченные по цветам. Более темный цвет верхнего подслоя обусловлен выделениями пластинчатого углерода вследствие вытеснения его бором из карбидов. Так как данная марка стали содержит довольно много углерода, то бор, диффундирующий с поверхности изделия в процессе охлаждения отливки, вытесняет углерод из растворов и соединений. Светлый подслей представляет собой боридную эвтектику. Выделение углерода в данном случае не происходит, так как диффузия бора на глубине около 1 мм от поверхности происходит довольно слабо и новые атомы бора практически не поступают. Данный слой представляет собой структуру, сформировавшуюся в результате взаимодействия расплавленного металла с насыщающей обмазкой, при кристаллизации и последующего охлаждения.

Испытания на износостойкость при абразивном износе о жестко закрепленные частицы диффузионных слоев, полученных поверхностным легированием в процессе литья по газифицируемым моделям, показали многократный рост ресурса работы упрочненного изделия по сравнению с не упрочненной сталью. Относительная износостойкость диффузионных слоев, полученных поверхностным легированием стали бором возросла в 14 раз. При насыщении поверхности бором и титаном по разработанной авторами технологии на стали образуется слой, износостойкость которого более чем в 25 раз выше, по сравнению с не упрочненной сталью 110Г13Л.

Процессы многокомпонентного насыщения позволяют сформировать многофазную структуру поверхностного слоя, обладающего

комплексом полезных свойств. Многокомпонентное насыщение разными элементами наружной и внутренней поверхности изделия дает возможность создавать многослойные композиционные материалы с уникальными свойствами. Более того, поверхностным легированием можно получать такое сочетание свойств упрочненного изделия, которое другими методами получить невозможно. В этом случае поверхностное упрочнение можно рассматривать не как определенную операцию изготовления детали, а как метод получения принципиально нового конструкционного материала.

Применение упрочняющих защитных покрытий позволяет существенно снизить затраты на изготовление и улучшить эксплуатационные свойства создаваемых изделий.

По результатам проведенных исследований разработан новый способ упрочнения поверхностей деталей машин и инструмента. Получено 3 патента РФ на изобретение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ворошнин Л. Г. Боромирование промышленных сталей и чугунов. Минск: Беларусь, 1981.- 205с.
2. Шуляк В. С. Литье по газифицируемым моделям. – СПб.: НПО «Профессионал», 2007. – 408 с.
3. Иванов С. Г., Гурьев М. А., Власова О. А. Поверхностное легирование стали 25Л бором// Новые материалы. Создание, структура свойства-2008: Труды VIII Всероссийской школы-семинара.- Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008.- С. 141- 143.
4. Гурьев М. А., Власова О. А., Гурьев А. М. Упрочнение литых деталей поверхностным легированием// Современные металлические материалы и технологии (СММТ, 2009): Труды международной научно-технической конференции.- СПб.: Изд-во СПб. Политехн. ун-та. 2009. - С.163-166.
5. Гурьев М. А., Иванов С. Г., Гурьев А. М. Поверхностное легирование бором и титаном литой стали 110Г13// XIX Петербургские чтения по проблемам прочности, посвященные 130-летию со дня рождения академика АН УССР Н. Н. Давиденкова 13–15 апреля 2010 г., Санкт-Петербург, Изд-во СПб. Политехн. ун-та. 2010. - С.180-182.
6. Гурьев М. А., Иванов С. Г., Кошелева Е. А., Иванов А. Г., Грешилов А. Д., Гурьев А. М., Лыгденов Б. Д., Околович Г. А. Комплексное диффузионное упрочнение тяжелонагруженных деталей машин и инструмента // Ползуновский вестник, № 1, 2010.- С. 76-84.
7. Гурьев А. М., Иванов С. Г., Власова О. А., Кошелева Е. А., Гурьев М. А., Лыгденов Б. Д. Способ упрочнения стальных деталей // Патент РФ №2381299 на изобретение.- Опубликовано 10.02.2010, бюл. №4, заявка №2008118705/ 02 от 12.05.2008.