

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА ТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА ПРИ УСТАНОВКЕ ВТУЛКИ В КОРПУС С ТОРЦЕВЫМ УПЛОТНЕНИЕМ МЕТОДОМ ДОРНОВАНИЯ

А.В. Алёшин, В.М. Роговой, В.А. Хоменко

Работа проведена в рамках проекта “Российский материаловедческий центр-форма интеграции высшего образования и фундаментальной науки” между Институтом физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской Академии наук, город Томск, и Алтайским государственным техническим университетом им. И.И. Ползунова, город Барнаул.

Процесс дорнования отверстий с малыми натягами хорошо изучен. Имеется большое количество рекомендаций по режимам деформирования. Достаточно хорошо изучен процесс свободного дорнования с малыми и большими натягами. Менее изучен процесс дорнования втулок в обойме. Практически нет данных по комбинированному дорнованию отверстия втулки, особенностью которого является упрочнение прессовой посадки или получение прессового соединения с одновременным уплотнением (герметизацией) втулки по торцу.

Особое место в конструкциях таких соединений занимают тонкостенные втулки ($D_{нар} / d_{вн} \leq 1,2$ мм), запрессованные в корпуса с прерывистыми отверстиями (схема представлена на рис. 1: 1 – инструмент – дорн; 2 – втулка; 3 – корпус с прерывистым отверстием).

Известно, что относительное смещение сопрягаемых поверхностей деталей в осевом и тангенциальном направлениях обеспечивается величиной радиального контактного давления. Однако распределение этого давления по площади сопрягаемых поверхностей дискретно, особенно при запрессовке тонкостенных втулок в корпуса с прерывистыми отверстиями, зависит от многих факторов: физико-механических, геометрических, технологических, эксплуатационных.

В случае получения прессового соединения напряженно-деформированное состояние (Н.Д.С.) сопрягаемых деталей играет главенствующую роль, а увеличить его можно, используя процесс дорнования. О степени Н.Д.С. деталей можно судить по

изменению микротвердости в сечении сопрягаемых деталей.

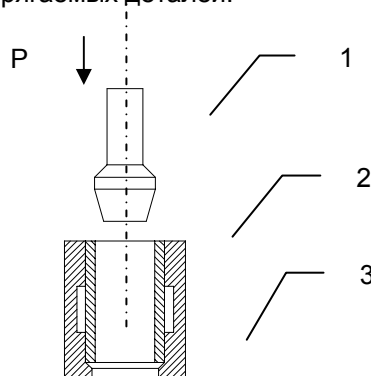


Рис. 1. Схема дорнования втулки в корпус.

В настоящей статье приведены результаты исследований процесса получения прессового соединения дорнованием отверстий установленной втулки в обойму с прерывистым отверстием и одновременным уплотнением (герметизацией) по торцу. Сделана попытка связать Н.Д.С. через микротвердость с течением металла при дорновании втулки, установленной с зазором в корпусе, в зависимости от геометрических параметров инструмента, а именно угла заборного конуса дорна.

Исследования проводились с использованием образцов втулок из стали 35 и корпуса стали 40Х. Натяг дорнования $i = 0,4$ мм, заборный конус имел $\alpha = 6^\circ$, $\alpha = 16^\circ$, $\alpha = 30^\circ$. Смазка – индустриальное масло. Материал инструмента сталь Р6М5, HRC 63.

В ходе проведения эксперимента установлено влияние величины угла заборного конуса дорна на величины составляющих усилия дорнования (рис. 2).

Анализ графика показывает что наименьшее усилие дорнования при $\alpha = 6^\circ$. С увеличением α растет и усилие, т.е. осевая составляющая, расходуемая на интенсивный изгиб волокон металла по заборному конусу дорна вызывает смещение значительной части металла в осевом направлении.

Радиальная составляющая усилия при этом снижается.

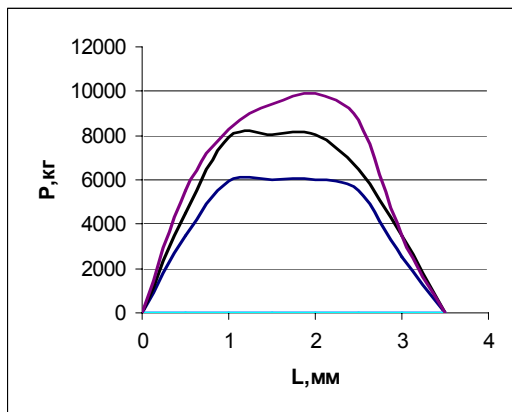


Рис. 2. Усилие дорнования при разных углах заборного конуса.

Усилие дорнования с дорном $\alpha=30^\circ$ имеет резкий подъем при входе дорна в отверстие, а при выходе его из отверстия – резкий спад. Такой характер кривой может быть объяснен тем, что при больших углах заборного конуса происходит не радиальное сжатие или осевое смещение металла, а резание инструментом с отрицательным передним углом с образованием стружки (рис. 3).



Рис. 3. Срез металла при дорновании дорном с $\alpha=30^\circ$.

При заборном угле $\alpha=16^\circ$ процесс дорнования идет более равномерно, срезания стружки не наблюдалось. Однако, большое усилие дорнования указывает на значительное пластическое перемещение металла в направлении движения дорна.

При $\alpha=6^\circ$ усилие наименьшее, так как уменьшаются объемы смещенного металла, таким образом наибольшее смещение металла происходит в направлении движения дорна при $\alpha=16^\circ$ (для наших условий).

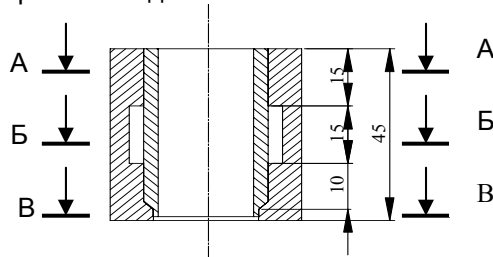
Это явление использовано для получения прессового соединения «втулка-корпус» методом дорнования отверстия установленной в корпус втулки с одновременным уплотнением (герметизацией) по торцу.

Характер изменения металла при дорновании в обойме изучался на разрезных образцах. Образцы исследовали на оптическом микроскопе NEOPHOT-21, оснащенном оптико-телевизионным комплексом TOMSK-2. Образцы выполнены из стали 35, 2520-2600 МПа.

Ранее проводимыми нами исследованиями установлено, что наилучшее соединение обеспечивается следующими параметрами:

1. Зазор между втулкой и корпусом $\delta = 0,03 \div 0,05$ мм.
2. Натяг дорнования $i = 0,35 \div 0,5$ мм.
3. Шероховатость сопрягаемых поверхностей $30 \div 50$ мкм.

Состояние металла втулки исследовалось в 3 зонах, представленных на рис. 4 в виде сечения.



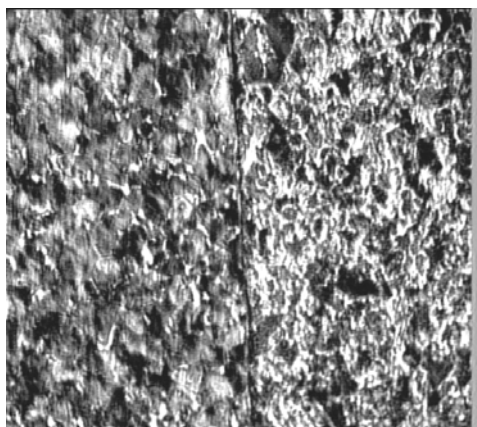
Сечение А-А – зона контакта втулки и обоймы
Сечение Б-Б – зона кольцевой канавки
Сечение В-В – зона торцевого уплотнения.

Рис. 4. Зоны исследования состояния металла после деформирования.

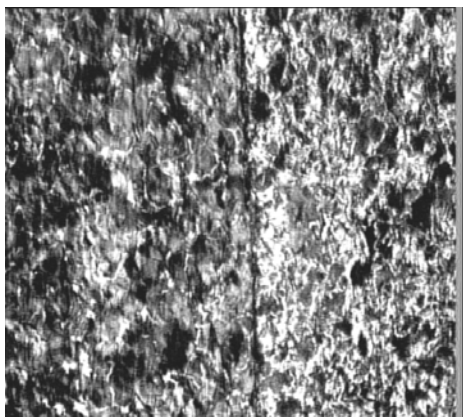
Анализ фотографий микроструктуры показывает, что качество соединения в зоне

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА ТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА ПРИ УСТАНОВКЕ ВТУЛКИ В КОРПУС С ТОРЦЕВЫМ УПЛОТНЕНИЕМ МЕТОДОМ ДОРНОВАНИЯ

контакта втулки и корпуса (сечение А-А) получилось несколько лучше при угле заборного конуса $\alpha = 6^\circ$. Однако при угле заборного конуса $\alpha = 16^\circ$ достигается необходимая плотность посадки втулки в корпус с одновременным уплотнением по торцу. Это подтверждает теоретическую предпосылку о том, что с увеличением угла заборного конуса дорна происходит увеличение осевой силы дорнования и уменьшение доли составляющей радиальной силы (рис. 5).



а



б

Рис. 5. Стыки сопрягаемых поверхностей после дорнования:
а – угол заборного конуса $\alpha = 6^\circ$,
б – угол заборного конуса $\alpha = 16^\circ$.

Таким образом, при увеличении угла поверхностный слой металла интенсивнее течет в направлении оси движения инструмента, что способствует качественному уплотнению (герметизации) втулки по торцу.

На основе измерения микротвердости образцов произведена оценка напряженно-

деформированного состояния соединения после дорнования.

Измерения проводили на этих же образцах и режимах деформирования. Измерение микротвердости производилось на микротвердомере ПМТ-3.

На рис. 6 изображены графики изменения микротвердости по сечению стенки втулки (рис.4) при дорновании дорном с $\alpha = 16^\circ$ и $\alpha = 6^\circ$. Из анализа графика (рис.5а) сечения А-А следует:

- максимальная твердость составляет 3050 МПа и находится на расстоянии примерно 25 мкм от поверхности дорнованного отверстия;
- затем твердость резко уменьшается до 2750 МПа на глубине примерно 200-220 мкм и остается постоянной;
- на глубине примерно 200-220 мкм (расстоянии) от стыка твердость начинает снова расти и на глубине 120 мкм резко возрастает до 2900 МПа.

В обоих случаях при дорновании дорном с $\alpha = 16^\circ$ и $\alpha = 6^\circ$ имеется два максимума твердости, которые зависят от степени деформации стенки втулки и величины угла заборного конуса дорна.

Наличие второго максимума объясняется упругими реакциями обоймы (при условии, если она находится в упругом режиме). Величины этих реакций значительны. Между максимальными значениями имеется зона пониженной твердости, однако она выше исходной твердости материала на 200 МПа при $\alpha = 16^\circ$ и на 50 МПа при $\alpha = 6^\circ$.

Таким образом, при дорновании отверстия установленной в обойму втулки стенка ее, при принятых режимах деформирования $\alpha = 6^\circ$, $\alpha = 16^\circ$, $i = 0,4$ мм, находится в периоде полной перегрузки, т.е. деформируется пластически по всему сечению, однако, степень деформации стенки больше при $\alpha = 16^\circ$, что связано со сдвигом металла в осевом направлении.

В зоне кольцевой канавки сечения Б-Б (рис. 4), где контакт втулки с обоймой отсутствует, твердость у отверстия составляет 2950 МПа при $\alpha = 16^\circ$ и 2850 МПа при $\alpha = 6^\circ$ (рис. 6).

Затем происходит снижение твердости до твердости исходного материала. Однако при дорновании с $\alpha = 16^\circ$ снижение твердости до исходной происходит на глубине 300 мкм, а при $\alpha = 6^\circ$ на глубине 150 мкм, причем в первом случае снижение более плавное. Все это объясняется разным Н.Д.С. металла. Так,

в первом случае ($\alpha=16^\circ$) область с остаточными деформациями в 2 раза больше, чем с $\alpha=6^\circ$, что еще раз подтверждает, что высказанное ранее предположение о больших осевых сдвигах металла (большой деформации, а значит и повышенной твердости) является правомерным. Твердость в этой зоне по всему сечению стенки втулки меньше, т.к. отсутствует упругое воздействие обоймы.

Наиболее характерным доказательством течения металла в осевом направлении является график на рисунке 6а сечения В-В в зоне торцевого уплотнения. Здесь максимальное повышение твердости достигает 4050 МПа ($\alpha=16^\circ$) и 3350 МПа ($\alpha=6^\circ$). Имеются 2 максимума твердости: у отверстия и несколько ниже 3100-2900 МПа у стыка. Характер распределения твердости по торцевому соединению аналогичен вышерассмотренному: спад твердости до 2550 МПа на глубине 2000 мкм ($\alpha=16^\circ$ и $\alpha=6^\circ$). Но при $\alpha=6^\circ$ спад твердости более плавный, аналогично зоне контакта втулки и корпуса.

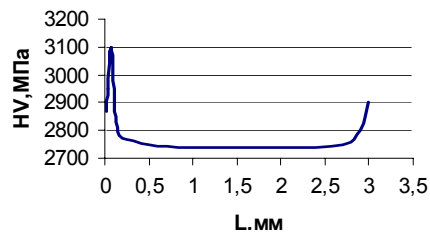
При дорновании дорном с $\alpha=16^\circ$ за счет осевого течения металла часть втулки вытягивается на величину 2 мм, а при $\alpha=6^\circ$ всего на 0,8 мм.

Заключение

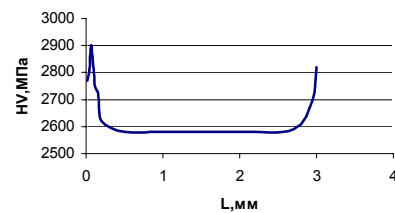
В зависимости от величины и направления главных напряжений металл может иметь разную степень пластичности. Состоянием степени пластичности металла можно управлять за счет конструктивных и геометрических параметров инструмента, обеспечивающего, например, прессовое соединение «втулка-корпус» с одновременным уплотнением втулки по торцу. При запрессовке втулки в корпус с прерывистым отверстием Н.Д.С. стенки втулки различное по ее длине, о чем свидетельствуют анализ графиков микротвердости стенки втулки, представленных на рис. 6. Наиболее целесообразным является применение дорна с углом заборного конуса $\alpha=16^\circ$, обеспечивающего наиболее интенсивный сдвиг металла по оси и высокую степень деформации опорного торца втулки.

Данная технология прошла производственное испытание на ОАО «Алтайдизель» при запрессовке втулки в головку блока цилиндров двигателя А-01. В настоящее время двигатели проходят полевые испытания.

Сечение А-А (рис.4)

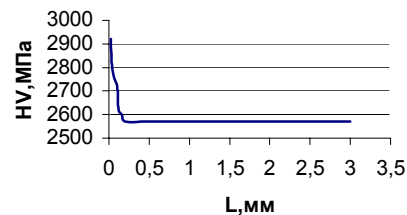


а

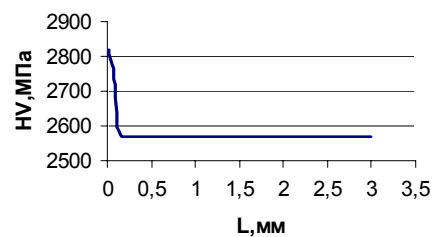


б

Сечение В-В (рис. 4)

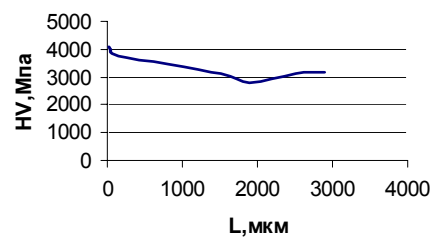


а



б

Сечение В-В (рис. 4)



а

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА ТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА ПРИ УСТАНОВКЕ ВТУЛКИ В КОРПУС
С ТОРЦЕВЫМ УПЛОТНЕНИЕМ МЕТОДОМ ДОРНОВАНИЯ

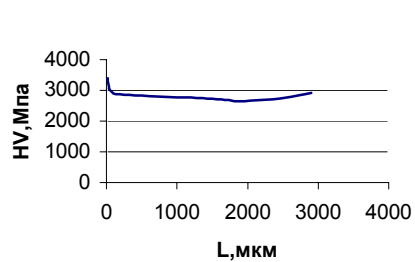


Рис. 6. График изменения микротвердости по сечению стенки втулки: а – при $\alpha = 16^\circ$, б – при $\alpha = 6^\circ$.