

Исследование влияния напряженного состояния и естественного старения литых заготовок тормозных барабанов на их геометрию и обрабатываемость режущим инструментом

Д. А. Болдырев

Описаны причины нарушения работоспособности тормозных барабанов при торможении автомобильных транспортных средств.

Выявлены факторы, вызывающие отклонение геометрических параметров от установленных значений. Исследованы остаточные напряжения в литых заготовках и изделиях после отжига и последующей лезвийной механической обработки, а также влияние естественного старения на обрабатываемость отливок тормозных барабанов.

Ключевые слова:

тормозные барабаны, работоспособность тормозных механизмов, остаточные напряжения, отклонение от круглости изделий, обрабатываемость, естественное старение

УДК 621.74 | ВАК 2.6.3

DOI: 10.22184/2499-9407.2023.33.4.60.64

В процессе эксплуатации автомобильных транспортных средств (АТС) работоспособность тормозных механизмов может характеризоваться неудовлетворительно, если при торможении возникают несвойственные их нормальному функционированию шумы и вибрации задней подвески, сопровождающие нестабильное торможение.

При анализе комплекса факторов, приводящих к повышенному уровню шума и вибраций, установлено, что их причинами являются завышенная некруглость рабочей поверхности тормозных барабанов (рис. 1) с максимально допустимой величиной шероховатости Ra. Такие

отклонения геометрических параметров приводят к снижению площади контакта рабочих поверхностей тормозных барабанов и колодок и, как следствие, нарушению работоспособности тормозной системы. При возникновении повышенной вибрации тормозные барабаны заменяются на новые, несмотря на то, что их износ не достиг критических значений.

Сделано предположение, что причиной ухода геометрических параметров тормозных барабанов за пределы допусков является напряженное состояние (технологические остаточные напряжения) и структурное состояние



Рис. 1. Литые заготовки «Барабан тормозной» различных моделей

(дисперсность перлита и количество, размеры пластинчатых графитовых включений) литых заготовок. По-видимому, перераспределение литейных остаточных напряжений при снятии технологического припуска в процессе механической обработки резанием приводит к деформации и недопустимому искажению формы (формированию некруглости) тормозных барабанов, а крупнодисперсная структура металлической основы чугуна – к повышенной шероховатости их рабочей поверхности. Кроме того, высокий уровень остаточных напряжений может привести к короблению тормозных барабанов в процессе эксплуатации АТС. Отсутствие данных о напряженном состоянии отливок и деталей после лезвийной механической обработки, а также недостаточность информации об их структурном состоянии не позволяют дать рекомендации по увеличению работоспособности тормозных барабанов.

Для экспериментального подтверждения факта значительного влияния остаточных напряжений на геометрические параметры тормозных барабанов исследовали четыре партии образцов соответственно после литья, растачивания литых заготовок в поставке, стабилизирующего отжига отливок и растачивания отожженных отливок. В качестве образцов использовались тормозные барабаны диаметром $D = 229,5$ мм (рис. 1в).

Остаточные напряжения I рода определялись по методу Н. Н. Давиденкова [2] путем измерения деформации образцов после их разрезки по образующей. Расчет средних остаточных напряжений в образцах производился на основе теории упругости [1, 3] согласно следующего алгоритма [4]:

1. с наружной стороны тормозного барабана (рис. 2а) наносятся друг против друга две риски на расстоянии 20 ± 1 мм;

2. определяется длина окружности, соответствующая максимальному диаметру тормозного барабана: $L = \pi D$;
3. измеряется расстояние l_0 между нанесенными рисками (рис. 2б);

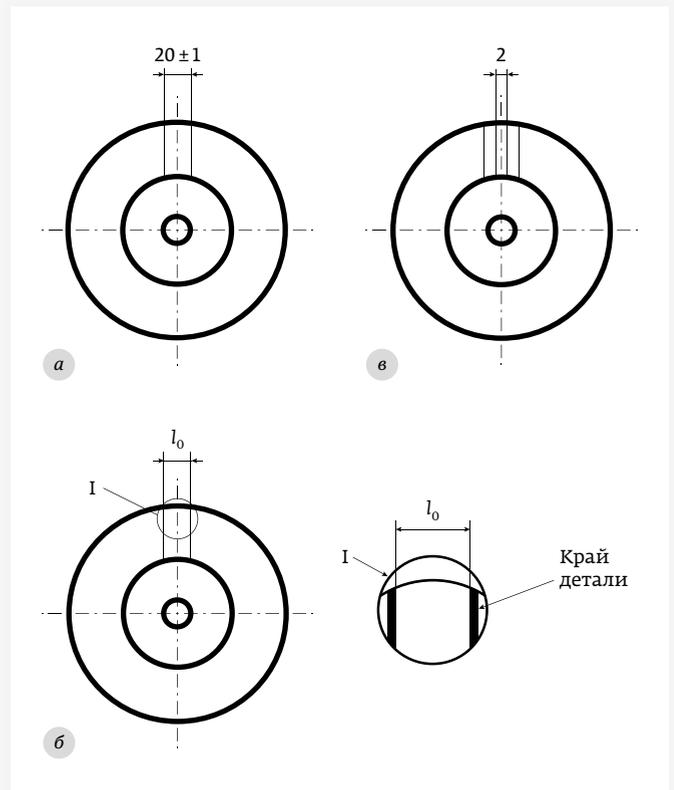


Рис. 2. Схема определения упругих деформаций тормозного барабана после его разрезки

4. производится разрез тормозного барабана по его образующей фрезой шириной 2 мм между рисками (рис. 2в);
5. производится измерение расстояния l_1 между рисками после разреза (рис. 2в);
6. определяется величина упругой деформации Δl_1 образца, как разность расстояний между рисками до l_0 и после l_1 разреза по формуле $\Delta l_1 = l_1 - l_0$;
7. определяется относительная упругая деформация ε образца по формуле $\varepsilon = \Delta l_1 / L$.

Определяется среднее значение остаточных напряжений σ по формуле $\sigma = \varepsilon \times E$, где E – модуль упругости (Юнга) серого чугуна $\sim 1,13 \cdot 10^5$ МПа.

После разрезки тормозного барабана по его образующей вследствие удаления материала с остаточными напряжениями происходит его упругая деформация Δl_1 . Деформация Δl_1 считается положительной, если расстояние l_1 больше, чем расстояние l_0 и наоборот.

Стабилизирующий отжиг для снижения, а главное для выравнивания литейных остаточных напряжений в объеме материала тормозных барабанов проводился в промышленной термической печи по следующему режиму:

1. нагрев пустой печи до температуры 380 °С;
2. загрузка литых заготовок в печь;
3. нагрев печи с заготовками до температуры 580 °С;
4. выдержка заготовок в печи при заданной температуре в течение 3 ч;
5. охлаждение заготовок вместе с печью до 60 °С;
6. выгрузка заготовок из печи и их охлаждение до комнатной температуры.

После стабилизирующего отжига проводилась лезвийная механическая обработка рабочей поверхности тормозных барабанов по серийной технологии и определялись остаточные напряжения в образцах по установленной программе, а также проводились замеры геометрических параметров тормозных барабанов на трехкоординатной измерительной машине DEA (Германия) с точностью измерения 0,005 мм.

Экспериментальные исследования показали, что в литой заготовке тормозного барабана после остывания в песчаной форме формируются остаточные напряжения растяжения $\sigma = +42,83$ МПа. Чистовое растачивание рабочей поверхности тормозных барабанов без применения смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ), используемое в качестве финишной механической

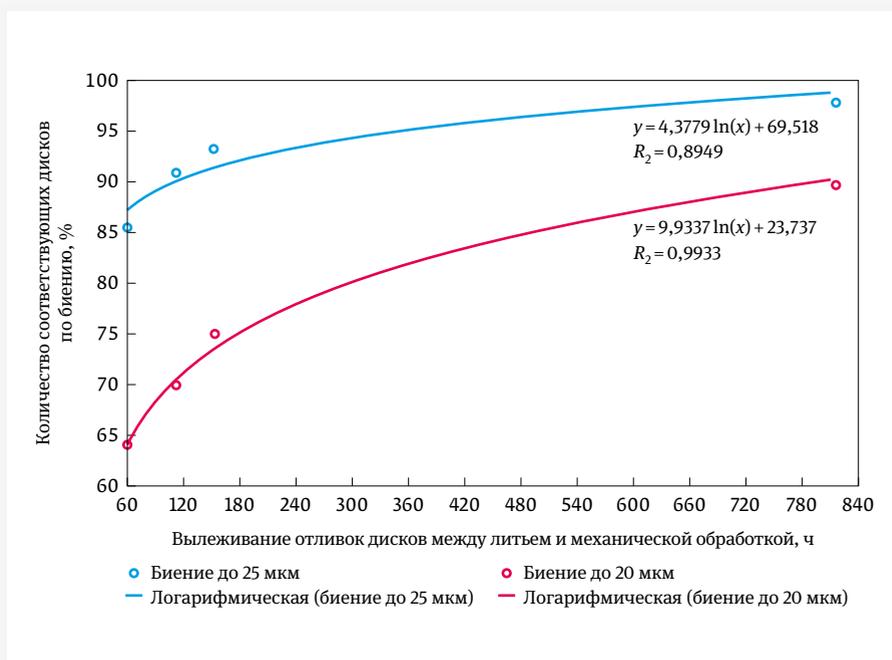


Рис. 3. Количество годных по биению дисков в зависимости от времени вылеживания отливок перед механической обработкой

обработки, повышает уровень остаточных напряжений до $\sigma = +53,54$ МПа. Стабилизирующий отжиг отливок при температуре 580 °С в течение 3 ч позволяет резко (на 50%) снизить литейные остаточные напряжения до $\sigma = +21,42$ МПа. Предписанная финишная лезвийная механическая обработка рабочей поверхности отожженных образцов формирует в них остаточные напряжения растяжения $\sigma = +26,73$ МПа.

До и после стабилизирующего отжига на образцах проводились замеры твердости по Бринеллю с помощью прибора ТБ-5004. Для этого образцы тормозных барабанов разрезались пополам в радиальном направлении. Замеры показали, что твердость материала образцов после отжига практически не изменилась. При этом металлографический анализ показал, что стабилизирующий отжиг практически не изменяет структуру металлической основы чугуна. По результатам замеров твердости также была определена толщина (1 мм) обезуглероженного слоя, учитываемая при назначении глубины резания при последующем растачивании рабочей поверхности тормозных барабанов.

В результате замеров геометрических параметров тормозных барабанов установлено, что некруглость рабочей поверхности после лезвийной механической обработки отожженных образцов не превышает допустимого значения 0,05 мм, однако шероховатость Ra по-прежнему осталась на верхнем пределе установленных значений (2,5 мкм). Экспериментальные данные позволяют

МЕТАЛЛООБРАБОТКА. ТЕХНОЛОГИИ. ОБОРУДОВАНИЕ



RIMTOS

20

23

Russian International
Machine-Tool and
Manufacturing Technology Show

Москва, МВЦ «Крокус-Экспо», павильон №2
24 — 26 октября 2023 г.

ОРГАНИЗАТОР:

Ассоциация «Станкоинструмент»

+7 (495) 650-58-04

+7 (495) 650-46-68

+7 (495) 650-38-11 (факс)

expo@stankoinstrument.ru

rimtos.ru



Ассоциация производителей
станкоинструментальной продукции
«СТАНКОИНСТРУМЕНТ»



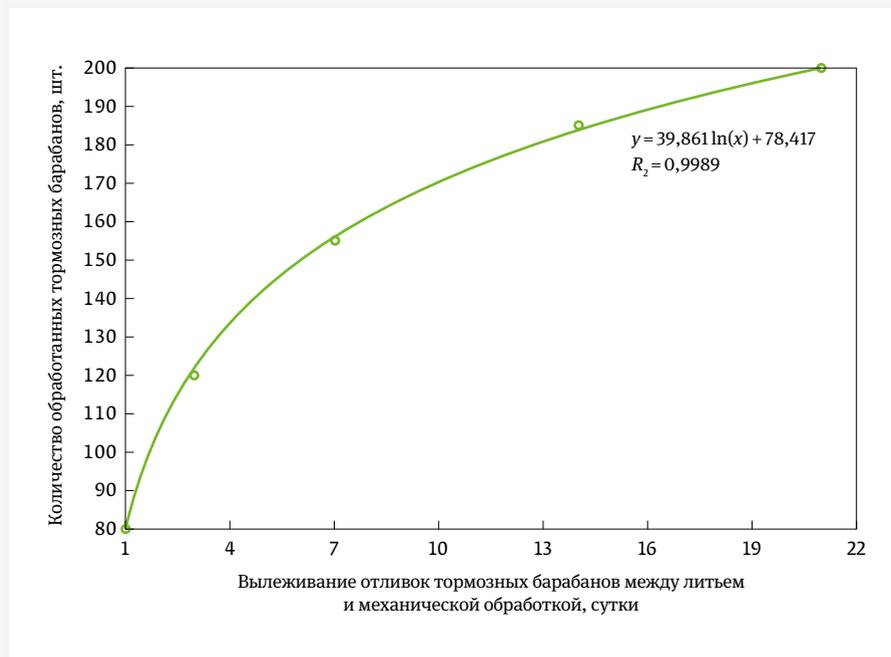


Рис. 4. Количество годных тормозных барабанов после механической обработки в зависимости от времени вылеживания отливок

сделать вывод о том, что для предотвращения искажения геометрии изделий необходимо сформировать минимально возможный уровень остаточных напряжений в материале.

Снизить шероховатость рабочей поверхности до $Ra = 2,0$ мкм удалось путем применения СОЖ при чистовом растачивании тормозных барабанов, которое также привело к некоторому снижению остаточных напряжений в изделиях: $\sigma = +18,68$ МПа.

В результате стендовых испытаний тормозных барабанов установлено, что из-за увеличения контактной площади рабочих поверхностей тормозных барабанов и колодок уровень вибраций снизился на 40% и, как следствие, повысилась эффективность торможения. На основе результатов проведенных экспериментальных исследований разработаны рекомендации по оптимизации технологического процесса изготовления тормозных барабанов, заключающиеся в обязательном проведении стабилизирующего низкотемпературного отжига литых заготовок и применении СОЖ при высокоскоростном растачивании рабочей поверхности тормозных барабанов.

Дополнительной мерой, помимо устранения уровня несоответствий геометрии и ужесточения технологических параметров шероховатости, проведено исследование влияния естественного старения на обрабатываемость.

В мировой практике к оценке качества механической обработки отливок в зависимости от времени их

вылеживания применяются различные подходы, в частности, на фирме Renault критерием качества механической обработки отливок является параметр биения (для деталей вращения – тормозные барабаны, диски и др.) (рис. 3). Из графиков, аппроксимируемых логарифмической зависимостью, следует, что через месяц вылеживания 90% отливок имеют биение не более 20 мкм и практически 100% – не более 25 мкм.

С вышеприведенной зависимостью коррелирует полученная в АО «АВТОВАЗ» зависимость количества годных тормозных барабанов после операции черновой механической обработки в зависимости от времени вылеживания отливок (рис. 4). Здесь в качестве критерия качества механической обработки отливок выступает стойкость инструмента, оцениваемая в количестве годных деталей. Из графика, также аппроксимируемого логарифмической

зависимостью, следует, что через три недели вылеживания количество годных деталей возрастает в два раза (со 100 до 200 деталей).

Таким образом, на практике установлен минимальный эффективный срок вылеживания отливок – 3–4 недели, обеспечивающий приемлемое качество механической обработки с точки зрения стабильности получаемых геометрических параметров и шероховатости обработанной поверхности.

Литература

1. Подзей А. В., Сулима А. М., Евстигнеев М. И. и др. Технологические остаточные напряжения / Под ред. А. В. Подзея. М.: Машиностроение, 1973. 216 с.
2. Давиденков Н. Н. Об остаточных напряжениях // Заводская лаборатория. 1935. Т. 4. № 6. С. 688–698.
3. Биргер И. А. Остаточные напряжения. М.: Машгиз, 1963. 232 с.
4. Выбойщик М. А., Болдырев Д. А., Волков А. И., Кристал М. М. Оценка уровня остаточных напряжений в тормозных дисках // Всероссийская научно-техническая конференция «Современные тенденции развития автомобилестроения в России»: Сб. трудов. Тольятти: ТГУ, 2003. С. 422–427.

Автор

Болдырев Денис Алексеевич – доктор технических наук, профессор Тольяттинского государственного университета

ИНФОПРОСТРАНСТВО ФЕССИОНАЛОВ



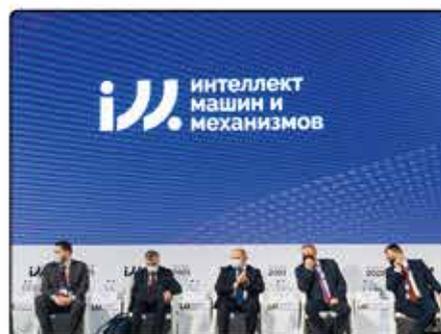
ТЕХНОСФЕРА

Мы на YouTube

Подписывайтесь



ГЛАВНАЯ



Пленарное заседание промышленного форума «Интеллект машин и механизмов 2021» в Севастополе



ООО НПП «Прима»: как достичь высокого качества при сборке, влагозащите и удалении покрытий



Аппаратно-программные решения для систем искусственного интеллекта и другие разработки НТЦ «Модуль»



Завод «Элеконд» для коллектива – второй дом



Российское оборудование для изготовления микросхем (НТО)