

## Особенности технологии термической обработки отливок

По сравнению с деформированным металлом отливки имеют следующие особенности:

- 1) химическая неоднородность, особенно ликвируют S, P, C и карбидообразующие элементы. Дендритная ликвация тем сильнее, чем крупнее дендриты, т.е. Их измельчение при кристаллизации – наиболее эффективный способ повышения химической однородности;
- 2) структурная неоднородность, которая проявляется в неодинаковости размеров и формы зерен. В тонких отливках зона столбчатых кристаллов распространяется на все сечение. Размеры кристаллов зависят от химического состава, скорости охлаждения и модифицирования;
- 3) физическая неоднородность, т.е. нарушение сплошности отливки в виде раковин, пористости и трещин.

Кроме того, наличие напряжений, возникших при неравномерности охлаждения, может приводить к короблению деталей и появлению горячих или холодных трещин.

В зависимости от назначения и требований, предъявляемых к литым деталям, отливки из углеродистых и легированных сталей делят на 3 группы:

- 1) отливки общего назначения для деталей, не рассчитанные на прочность. Конфигурация и размеры таких деталей определяются только конструктивными и технологическими соображениями. Такие отливки подвергают контролю по внешнему виду, химическому составу и размерам.
- 2) отливки, работающие при статических нагрузках и рассчитанные на прочность. Для них дополнительно контролируются механические свойства (кроме ударной вязкости).
- 3) отливки ответственного назначения, работающие при динамических и циклических нагрузках. Дополнительно контролируется ударная вязкость.

Для отливок из хладостойких сталей определяется ударная вязкость при 20 °С и – 60 °С. Для отливок из специальных сталей могут дополнительно контролироваться микроструктура, жаропрочность, стойкость к межкристаллитной коррозии

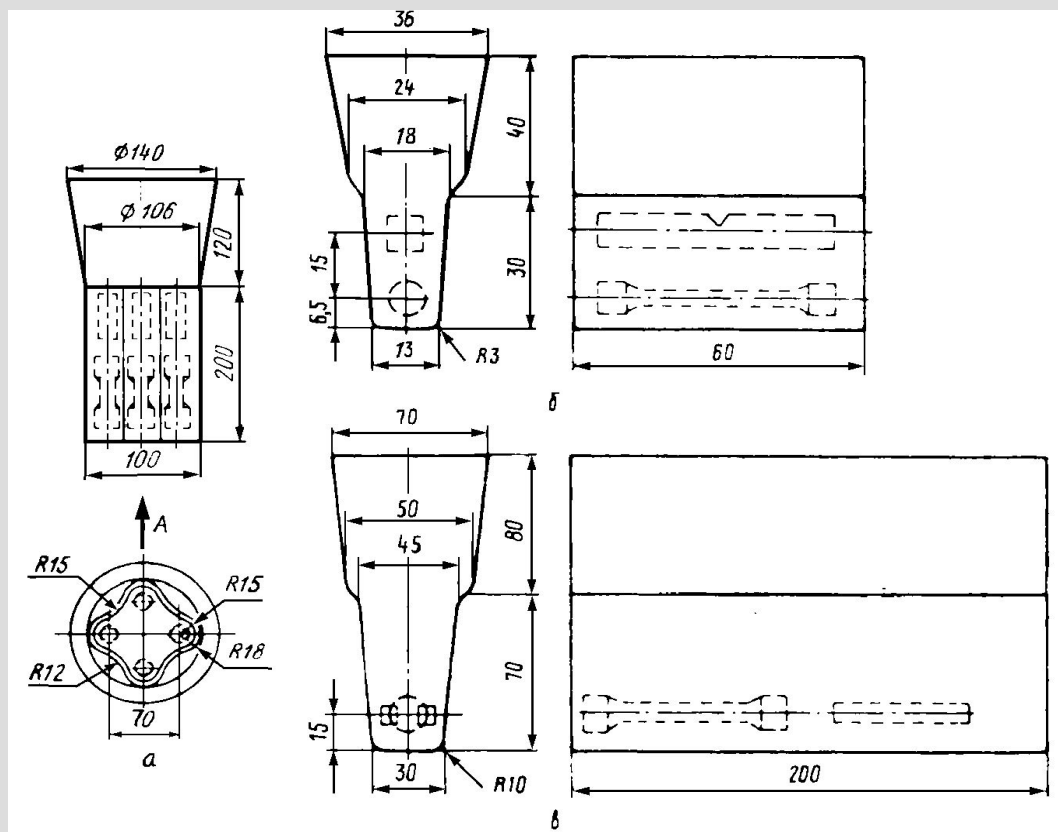


Рис. 1. Конфигурация и размеры пробных брусков и схема вырезки образцов

Но механические свойства металла в отливках могут отличаться от свойств, полученных на пробах, что связано с разными условиями кристаллизации и развитием неоднородностей. При одинаковом химическом составе и прочности, литая сталь, по сравнению с деформированной, имеет пониженную пластичность и вязкость и более анизотропна.

Отливки общего назначения могут поставляться без термической обработки или после отжига для снятия напряжений ( $650\text{--}700\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Обработку прибылей, летников, очистку отливок проводят до термической обработки. Отливки ответственного назначения подвергают термической обработке, виды которой и гарантируемые свойства определяются ГОСТ 977–75 для углеродистых сталей, ГОСТ 2176–77 для высоколегированных сталей и ГОСТ 21357–75 для износостойких и хладостойких сталей.

В зависимости от марки стали и требуемых свойств проводят, главным образом, отжиг, нормализацию, иногда с отпуском и улучшение. Отливки из сталей 15Л–55Л подвергают предварительной и окончательной термической обработке.

Предварительная – отжиг или нормализация с отпуском. Она проводится для улучшения обрабатываемости резанием, снятия напряжений и подготовки структуры. Поскольку различие структуры в отливках гораздо больше, чем в деформированных деталях, то и режимы нагрева могут меняться в широких пределах. Для крупных отливок температура нагрева может значительно превышать значения, принятые для деформированного металла. Иногда для измельчения зерна применяют двойную и фазовую перекристаллизацию. Для отливок из стали 45Л со стенкой >25 мм проводят нормализацию от 860°C, а затем закалку от 840°C и отпуск при 600°C.

Исправить структуру в легированных литых сталях сложнее, поэтому обычно применяют двойную обработку, т.е. высокотемпературный отжиг или нормализацию в сочетании с обычной нормализацией, отжиг или закалку по стандартному режиму. В особо крупных отливках из сталей сильно развивается дендритная ликвация и для ее уменьшения применяют гомогенизирующий отжиг (1100–1150°C, 10–15 часов). Так как при этом происходит сильный рост зерна, то затем требуется обработка для его измельчения.

Оборудование, применяемое для термической обработки, стандартное. Но укладку отливок нужно проводить так, чтобы обеспечить равномерный нагрев и исключить коробление. Для исключения образования трещин сразу после закалки проводят отпуск, длительность которого зависит от толщины стенки отливки.

Термическая обработка отливок из высоколегированных сталей, применяемых в машиностроении и авиастроении, весьма разнообразна. Для сталей мартенситного класса применяют нормализацию или закалку с высоким отпуском, перед которыми иногда проводят отжиг для измельчения зерна и снятия напряжений. Для отливок из аустенитных сталей проводят закалку от высоких температур 1050–1180°C. При этом обеспечивается растворение избыточных фаз и гомогенность аустенита. Так как стали обладают низкой теплопроводностью и высоким коэффициентом линейного расширения, то при нагреве возникают большие напряжения, поэтому используют посадку в холодную печь или ступенчатый нагрев.

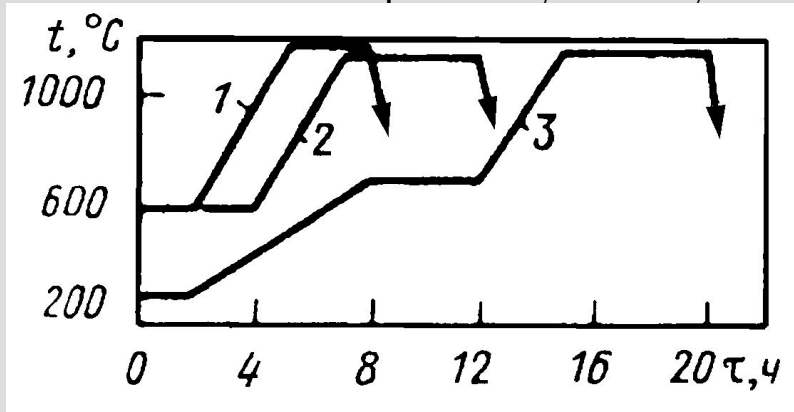


Рис. 34. Графики режимов термической обработки отливок из стали 110Г13Л.

Толщина стенок, мм:

- 1 – не более 50;
- 2 – от 50 до 100;
- 3 – свыше 100

Последнее время широко применяют отливки из модифицированных сталей в которые вводят ванадий (0,1%) и азот. За счет образования мелкозернистой структуры прокаливаемость таких сталей (типа 40РЛ) при закалке от обычных температур (830–860°C) ниже, чем у не модифицированных. Но при закалке от температур 920–960°C ее прокаливаемость будет больше.

Модифицированные стали также характеризуются более высокой устойчивостью к отпуску. Поэтому температуру отпуска для них следует повышать на 50–100 ОС. Так как при модифицировании значительно снижается химическая и структурная неоднородность в отливках, то существенно повышается пластичность и вязкость. При модифицировании также повышаются прочностные свойства сталей ферритно–перлитного классов как в нормализованном, так и в улучшенном состоянии. Типичные режимы термической обработки и свойства литых сталей представлены в следующей таблице.

Марка стали	Операции термической обработки и температура нагрева, °С	Механические свойства (не менее)				
		$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta_5$ , %	$\psi$ , %	КСУ, кДж/м <sup>2</sup>
Углеродистая сталь 45Л	Нормализация 910–930, отпуск 670–690.	220	420	22	35	500
	Нормализация 860–880, отпуск 600–630.	320	550	12	20	300
	Закалка 860–880, отпуск 550–600.	400	600	10	20	250
Легированная сталь 30ГСЛ	Нормализация 870–980, отпуск 570–600.	350	600	14	25	300
	Закалка 920–950, отпуск 570–650.	400	650	12	30	500
35ХМЛ	Нормализация 860–880, отпуск 600–650.	400	600	12	20	300
	Закалка 860–870, отпуск 600–650	550	650	12	20	400
20ХГСНДМЛ	Закалка 910–930, отпуск 640–660.	500	650	12	20	400
Высоколегированная сталь 20Х5МЛ*1	Отжиг 950, нормализация 950, отпуск 680–720	400	600	16	30	400
	Отжиг 950, закалка 1050, отпуск 750.	400	550	16	45	500
12Х18Н9ТЛ*3	Закалка 1050–1100, отпуск 860–880.	200	450	25	32	600
120Г13Х2БЛ*3	Закалка 1050–1100	480	750	20	30	1800
110Г13Л*3	Закалка 1050–1100		По соглашению с потребителем			

\*1 – мартенситный класс; \*2 – мартенситно–ферритный класс; \*3 – аустенитный класс.

## Очистка заготовок от окалины

Очистку поверхности поковок и отливок проводят обычно после термической обработки. Используют очистку дробью, галтовку и травление. При галтовке отливки загружают в специальные цилиндрические барабаны, засыпают абразивный материал и вращают. В качестве абразива используют песок, бой наждачных кругов и т.п. Обычно галтовке подвергают заготовки простой формы и небольшой массы (до 15 кг). Иногда применяют мокрую галтовку, когда к абразиву добавляют органические растворители, водные растворы щелочей или кислот. Если поверхностное упрочнение нежелательно, то применяют сухую галтовку. При этом в смесь добавляют до 25 % древесных опилок. Продолжительность обработки составляет от 20 минут до 2 часов.

Травление применяют для ответственных деталей сложной конфигурации. Его проводят в растворе серной кислоты (5–20 %) в течение 10–40 мин. Для предотвращения растворения металла в раствор добавляют ингибиторы, но при травлении может происходить растворение водорода в металле, что вызывает охрупчивание.

При очистке дробью применяют дробеметные и дробеструйные установки. Дробеметом поверхность очищают стальной или чугунной дробью, которая выбрасывается с большой скоростью лопатками быстровращающегося рабочего колеса. Диаметр дроби 0,5–2 мм, причем стальная дробь применяется для очистки отливок высокой твердости. Дробеструйные установки менее производительны и более дорогие. При этом способе дробь увлекается интенсивным воздушным потоком и с помощью сопла направляется на поверхность.

## Термическая обработка коленчатых валов

Работоспособность коленчатых валов определяется износостойкостью шатунных и коренных шеек и способностью противостоять усталостным разрушениям при циклических изгибающих нагрузках.

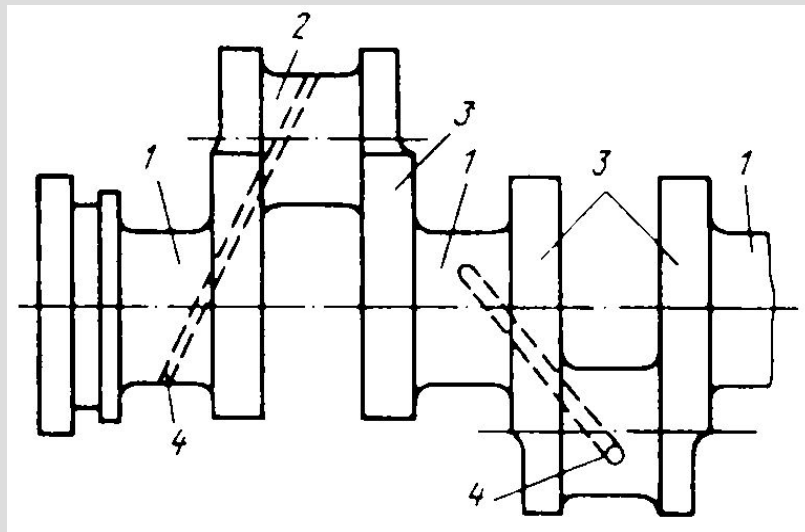


Схема элемента коленчатого вала многоцилиндрового двигателя:

1 – коренные шейки; 2 – шатунные шейки; 3 – щеки; 4 – маслоподводящие отверстия

Коленчатые валы выпускают из среднеуглеродистых сталей с упрочнением шеек поверхностной закалкой при индукционном нагреве. Для изготовления валов используют стали 45, 50, 45Г2, 45ХН и т.п. Заготовки получают путем горячей штамповки, что обеспечивает благоприятное расположение волокон металла.

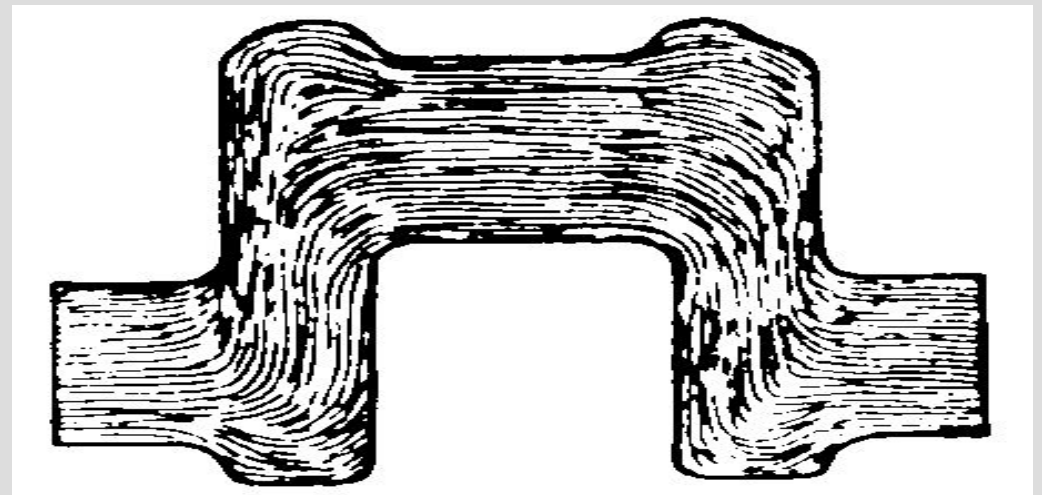
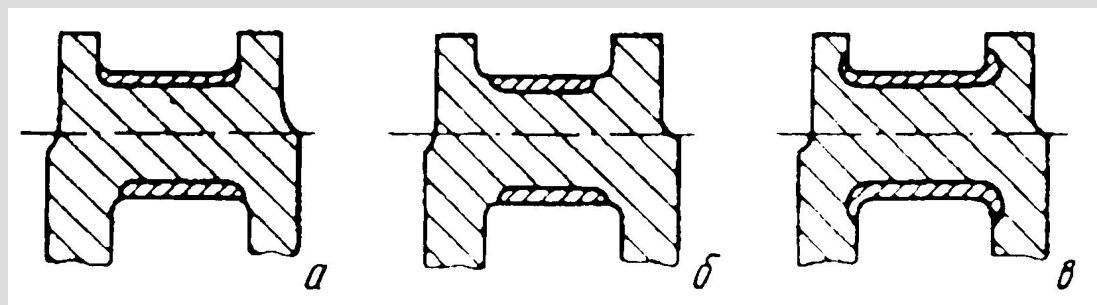


Схема макроструктуры штампованной заготовки коленчатого вала

После штамповки для улучшения обрабатываемости резанием и подготовки структуры к закалке ТВЧ проводят нормализацию. Режимы нагрева выбираются в зависимости от марки. Твердость после нормализации не должна превышать 163–197НВ. Качество нормализации контролируется по твердости и выборочно по микроструктуре. Для устранения деформации при нагреве коленчатые валы устанавливают в подвешенном состоянии в шахтные печи или в агрегаты с подвесной садкой.

Целесообразно использование тепла от ковочного нагрева, но для измельчения зерна от температур штамповки (1050–1100°С) их нужно охлаждать до 600°С, чтобы обеспечить распад аустенита по перлитному механизму.

После механической обработки шейки валов упрочняют поверхностной закалкой ТВЧ либо поочередно, либо одновременно. Так как при поверхностной закалке в переходной зоне от закаленного слоя возникают растягивающие напряжения, то нужно чтобы максимум этих напряжений не совпадал с галтелью коленчатого вала. На рисунке представлены 3 вида закаленного слоя.



Различные виды переходной зоны при поверхностной закалке ТВЧ

На рисунке (в) указана наиболее благоприятная форма закаленного слоя. Случай, когда закаленный слой охватывает галтель (в) повышает усталостную прочность в 1,5–2 раза. Вариант, приведенный на схеме (а), является недопустимым.



Для закалки применяют установки различных конструкций. Более перспективными являются станки в которых производится нагрев вращающихся шеек в петлевых индукторах. Нагрев с вращением вала обеспечивает большую однородность по глубине слоя. Обычно глубина слоя составляет 3–5 мм. Частота генератора 8–10 кГц. Мощность зависит от количества индукторов. Для получения высокой износостойкости шеек требуется обеспечить получение в поверхностном слое мартенситной структуры, но на практике из-за опасности появления трещин и коробления условия охлаждения смягчают, получая твердость поверхности 52–54 HRC. Большую опасность представляет образование трещин у маслоподводящих отверстий. Они возникают в следствие перегрева кромок из-за повышения плотности тока около отверстий. Для исключения чего используют снятие фасок или сталебронзовых заглушек, вставляемых в отверстия.

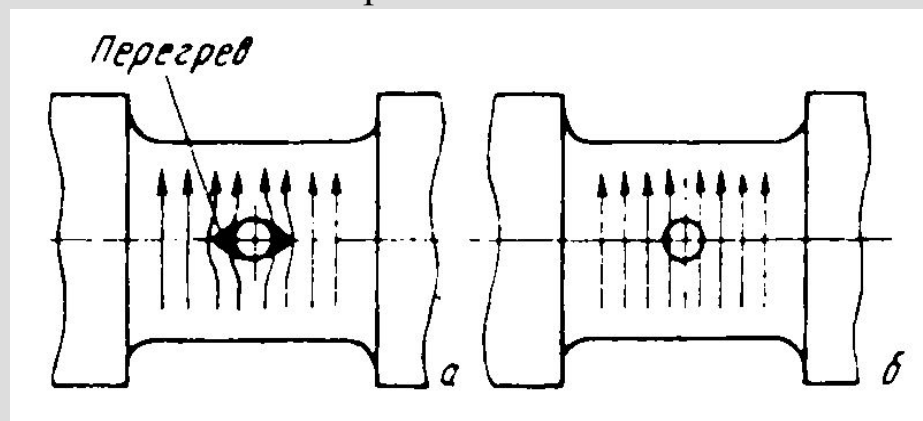


Схема распределения тока в шейке коленчатого вала:  
 а – при открытом маслоподводящем отверстии; б – при применении стальных заглушек.

При термической обработке с закалкой коленчатых валов наблюдается деформация и последующая правка не всегда обеспечивает размерную стабильность как при хранении, так и при эксплуатации.

Для упрочнения крупных валов с диаметром шейки 150–300 мм, которые изготавливают из сталей типа 18Х2Н4ВА, 38ХН3ВА или 38ХН3МА, применяют азотирование. Азотирование имеет следующее преимущество: высокая износостойкость и усталостная прочность. Недостаток – высокая стоимость и большая длительность процесса.

## Коленчатые валы из чугуна

Номенклатура чугунных валов разнообразна – от малых (ДВС автомобилей) до весьма крупных, массой 700–1300 кг, длиной до 2–3,5 м и диаметром шеек 200–250 мм. Их изготавливают из высокопрочного чугуна типа ВЧ50–2 или легированного серого чугуна. Эти чугуны не регламентированы по легирующим элементам и содержат, примерно, 3,4–3,6 %С, 1,9–2,2 %Si, 0,7–1,0 %Mn, 0,04–0,08 %Mg, <0,03 %S и <0,1 %P.

Основные преимущества – литье в оболочковые формы и возможности повышения их прочности за счет придания форм, благоприятной по распределению напряжений. Наличие графита обеспечивает высокую износостойкость при более низкой твердости, чем у стальных валов. Крупные валы подвергают нормализации при 880–900°C. Иногда с последующим высоким отпуском 720–740°C. После такой обработки получаем зернистый перлит и шаровидный графит. Шейки чугунных коленчатых валов автомобильных двигателей подвергают поверхностной закалке путем индукционного нагрева. После закалки проводят низкий отпуск при 180–200°C. Затем проводят 100 % контроль валов на наличие трещин.

## Термическая обработка распределительных валов.

Распределительные валы двигателей служат для привода клапанов. Кулачки распределительных валов взаимодействуют с толкателями клапанов, а опорные шейки вращаются в подшипниках скольжения.

Для изготовления валов применяют:

1) Среднеуглеродистые стали типа 40, 45, которые изготавливают штамповкой, а кулачки и опорные шейки упрочняют поверхностной закалкой ТВЧ.

2) Цементуемые стали 15Х, 15ХН, 18ХГТ упрочняют цементацией с последующей поверхностной закалкой ТВЧ.

3) Литые валы из перлитного высокопрочного или серого модифицированного чугуна упрочняют путем поверхностной закалки ТВЧ или отбелом носиков кулачков. Глубина упрочненного слоя должна составлять 2–5 мм, частота генератора равна 8–10 кГц, т.к. при меньшей частоте увеличивается глубина нагрева и деформация вала при закалке.

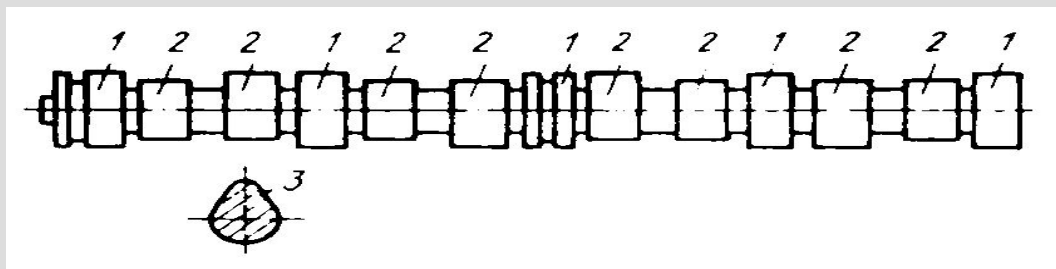


Схема распределительного вала четырехцилиндрового двигателя:  
1 – опорные шейки, 2 – кулачки, 3 – носик кулачка

Для повышения качества индукционного нагрева используют разнообразные конструкции индукторов. В виду большой длины валы склонны к искривлению при закалке, поэтому перед закалкой их правят, а при закалке принимают меры по ограничению деформации. При не большом объеме производства используют установки с вертикальным расположением вала. Поочередное закаливание шейки и кулачков происходит путем прохождения через индуктор и спрейер.