

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
КАЧЕСТВА ДЕФОРМИРУЕМЫХ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

Шibaков В.Г., Швеёва Т.В., Астащенко В.И., Швеёв А.И.
(Камская государственная инженерно-экономическая академия,
г. Набережные Челны, Россия)

Аннотация. Показано влияние волокнистого строения и неметаллических включений на механические свойства стальных изделий. Исследована макроструктура поковки коленчатого вала и установлены места выхода ликвационных зон на поверхность детали. Предложены пути повышения качества деформируемых стальных изделий

Ключевые слова: макроструктура, оксиды, сульфиды, коленчатый вал, ликвационный квадрат, механические свойства

Введение. Одним из характерных недостатков тяжело нагруженных деталей автомобиля, таких как зубчатые колеса, валы и др., является дисперсия их прочности и долговечности. Продолжительность работы однотипных деталей, изготовленных из одной марки стали, обработанных и упрочненных в одинаковых условиях производства отличается в несколько раз. Причины значительной дисперсии по стойкости деталей разнообразны: они могут быть следствием присутствия металлургических дефектов в сплаве, конструкторско-технологических особенностей и условий эксплуатации. Поэтому решения вопросов стабилизации прочности и долговечности различных деталей на предельном уровне может быть достигнуто только на основе комплексного инженерного подхода, увязывающего в единую систему показатели и критерии металлургического, конструкторского, технологического и эксплуатационного характера.

Цель и результаты исследования. В работе рассмотрены некоторые причины, вызывающие дестабилизацию свойств готовых изделий. Затронута эволюция металлургических дефектов стали при технологическом переделе металла в машиностроительном производстве и показана возможность повышения свойств деталей за счет формирования благоприятного макро- и микростроения по сечению металлоизделия [1,2].

На этапе конструирования детали первоочередное внимание специалистов уделяется выбору материала и исходному состоянию полуфабриката, используемого для изготовления металлоизделия.

Физико-механические свойства изделий в значительной степени зависят от технологической схемы изготовления деталей, так как они решающим образом влияют на процесс формирования структуры металла. В таблице 1 приведено сопоставление механических свойств широкоприменяемой конструкционной стали 40Х для деталей изготовленных по различным технологическим структурам.

Видно, что более высокий уровень свойств деталей достигается в случае использования в технологическом цикле пластической деформации. Такая операция оказывает благоприятное влияние на макро- и микроструктуру стали. Кристаллическое дендритное строение литой стальной заготовки во время пластической деформации подвергается значительным изменениям. Правильно назначенные и выполненные режимы пластического деформирования способствуют устранению пористости, заварке микродефектов, дроблению и рациональной ориентации неметаллических включений и карбидов, измельчению зерна и формированию оптимального расположения

волокнистой структуры и текстуры деформации. Комплексное воздействие технологических параметров обработки при горячей пластической деформации (температура, скорость и степень деформации и т.д.) оказывают существенное влияние на морфологию структурных составляющих, что вызывает повышение всех показателей механических свойств металла.

Таблица 1. Механические свойства стали 40Х

№ п/п	Вид заготовки для изготовления детали	Механические свойства детали					
		σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_{-1} , МПа	KCU, МДж/м ²	δ , %	ψ , %
1	Отливка (литье в песчано-глинистую форму)	620	290	186	55,0	11,0	20
2	Сортовой прокат (после нормализации)	690	320	303	75,0	20,0	52
3	Поковка из литой заготовки (после нормализации)	685	320	260	75,5	17,6	36
4	Поковка из сортового проката (после нормализации)	866	455	379	83,0	20,9	54

Направление волокон, или макроструктура металлоизделий оказывает существенное влияние на прочность стальных деталей, так как механические свойства стали при испытаниях вдоль или поперек волокон резко различаются. В продольном направлении прочность и пластичность стали выше, чем в поперечном направлении (табл. 2).

Таблица 2. Свойства продольных и поперечных образцов из стали 45 (нормализация 860°C, отпуск 640°C)

Направления волокон	σ_B , МПа	ϵ , %	ψ , %	KCU, МДж/м ²
Продольное	715	17,5	62,8	62
Поперечное	672	10,0	31,0	30
Различие, %	6	43	50	52

Чтобы деталь, изготовленная ковкой или горячей штамповкой из проката, была прочной, нужно использовать повышенную прочность проката в продольном направлении. В готовой детали волокна должны быть направлены вдоль оси и огибать ее контур так, чтобы не было мест разрыва или перерезание волокон при последующей механической обработке.

Неправильное направление волокна по основным рабочим сечениям детали вызывает снижение механической прочности и преждевременное разрушение готовых изделий в работе. На этапе конструирования также необходимо учитывать и возможность радиального расположения волокон, которое по ряду обстоятельств неизбежно может быть получено на детали.

Особое внимание заслуживает центральная зона проката, так как в ней сконцентрированы неметаллические включения, присутствует пористость и другие,

неблагоприятно влияющие на свойства металла, несовершенства. Этот факт является причиной более низких механических свойств центральной зоны по отношению к периферийной. При смещении такой зоны к наиболее нагруженным сечениям детали, как показывает практика, наблюдается преждевременное разрушение изделия в эксплуатации. Наглядным примером служит поломка зуба шестерни, в основании которого присутствует ликвационный квадрат, смещенный из центральной зоны во время пластической деформации металла на этапе изготовления поковки (рис. 1а).



Рис. 1. Макроструктура сечения деталей с расположением ликвационного квадрата у основания зуба (а) и в центральной части (б) шестерни

Кроме того, выход ликвационных зон на поверхность может служить причиной «пятнистой» твердости и образования закалочных трещин на поковках и деталях при термической обработке (рис. 2) и после шлифовки.



Рис. 2. Ликвационный квадрат в сечении макрошлифа детали

В результате экспериментальных исследований на специально подготовленной заготовке, подвергнутой горячей объемной штамповке на КГШП, наглядно убедились о возможности выхода внутренних слоев металла на поверхность поковки (рис. 3). Заготовка представляла собой квадрат 150×150 мм, в которой сверлением был удален металл из центральной зоны и на это место установлен стержень Ø50 мм из другой

марки стали, отличающейся по степени травимости от металла исходной заготовки. Таким способом была имитирована загрязненная зона проката, а таковыми в нем являются ликвационный квадрат, центральная пористость и др. несовершенства, снижающие механические свойства стали. После нагрева до $1230 \pm 10^\circ\text{C}$ комбинированной заготовки выполнена объемная штамповка. Из различных участков полученной поковки проведен отбор проб и изготовлены темплеты, которые соответствовали поперечному или продольному сечениям детали.

В результате горячего макротравления темплетов в 50% -ном растворе соляной кислоты выявлено месторасположение разнородных материалов (рис. 3). В отдельных поперечных сечениях выхода на поверхность центральной зоны не наблюдается (рис. 3а). Однако в большинстве случаев такая зона выходит или приближена к поверхности, в том числе она присутствует в районе галтелей и масляных каналов. На темплетах продольного сечения также отчетливо проявляется металл прутка на поверхности поковки (рис. 3б).

Выход на поверхность ликвационной зоны (квадрата), которая представляет собой скопление неметаллических включений и других соединений несомненно приводит к снижению показателей механических свойств и увеличению степени анизотропности. Следует упомянуть, что ликвационный квадрат – это контур зональной ликвации, полученный в процессе кристаллизации стали, между зонами столбчатых и равноосных кристаллов. В нем сконцентрированы сульфиды и оксиды, так как растворимость серы и кислорода в твердой фазе ниже чем в жидкой и поэтому они вытесняются от поверхности литого изделия, где и образуют соединения.

Сера в стали частично (до 0,005%) находится в твердом растворе, а основная ее часть присутствует в виде сульфидов. Эти соединения снижают механические свойства стали, как в деформированном, так и в литом состоянии, и особенно пластические характеристики (табл. 3).

Таблица 3. Свойства сталей с различным содержанием серы

Марка стали	Содержание серы, %	Показатели свойств		
		σ_B , МПа	ϵ , %	Ψ , %
Сталь 20 (горячекатаная ГОСТ 1050)	$\leq 0,040$	450	31,0	55,0
A20 (горячекатаная ГОСТ 1414)	0,08-0,15	450	20,0	30,0
40Г (закалка+отпуск 600°C ГОСТ 4543)	$\leq 0,040$	600	17,0	45,0
A40Г (закалка+отпуск 600°C ГОСТ 1414)	0,18-0,30	600	14,0	20,0
20ГЛ (ГОСТ 977-88)	0,040	540	18,0	25,0
20ГЛ (ГОСТ 21357-87)	0,020	600	22,0	30,0

В значительной степени вязкость стали зависит от содержания серы: температурный порог хладноломкости у сталей с содержанием серы 0,005% и 0,03% отличается на $30-40^\circ\text{C}$.

В любой стали в некоторых количествах содержатся элементы, в обычных условиях являющиеся газами – кислород, азот и водород. Газы, даже при содержании

их в сотых и тысячных долях процента, оказывают существенное влияние на свойства металла. Примеси внедрения (азот и кислород), концентрируясь в зернограничных объемах и образуя выделения нитридов и оксидов, по границам зерен, повышают порог хладноломкости (рис. 4) и понижают сопротивления хрупкому разрушению.

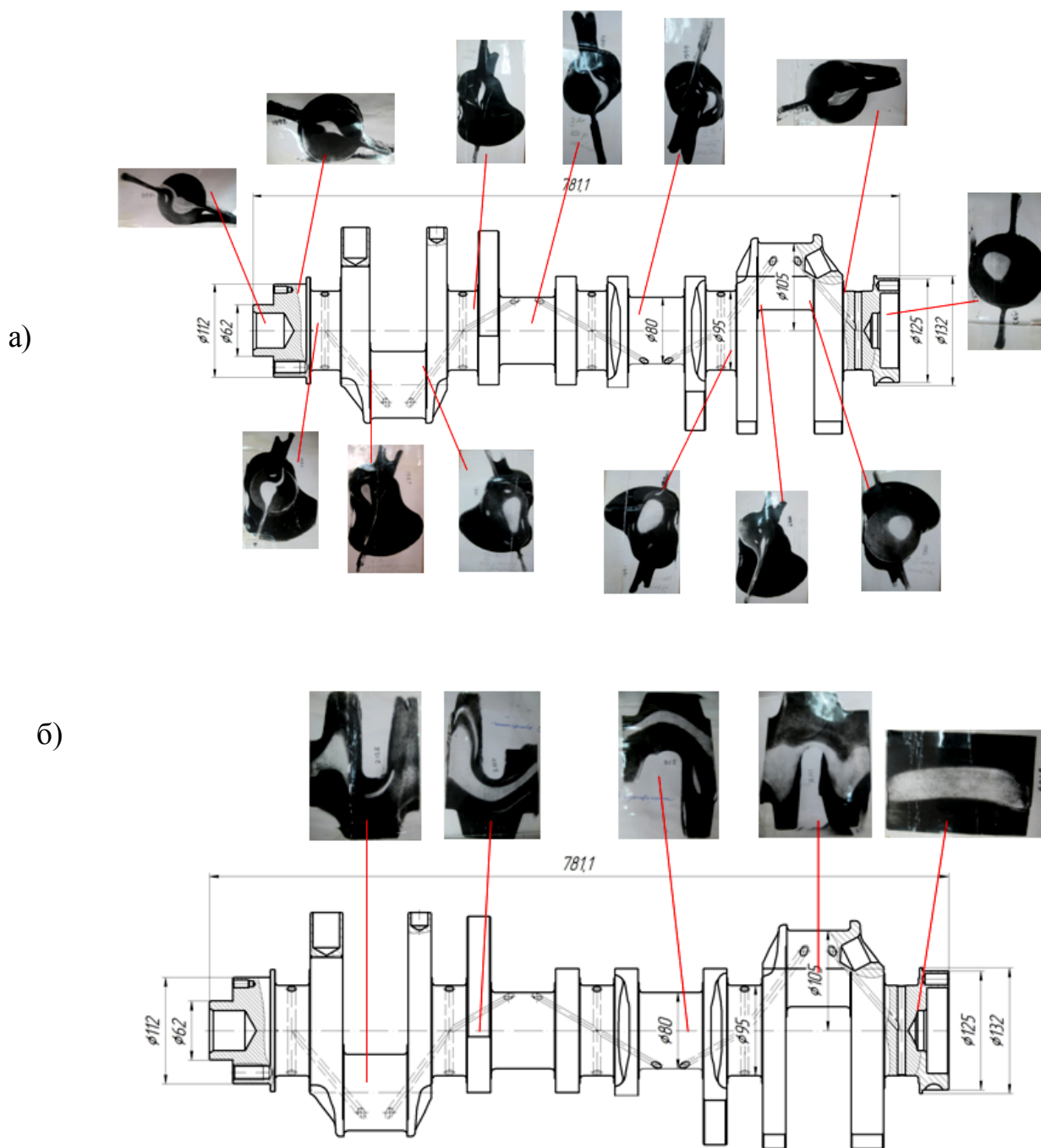


Рис. 3. Макроструктура в поперечном (а) и продольном (б) сечениях различных участков коленчатого вала

Оксиды являются концентраторами напряжений и значительно понижают, особенно в случае их скопления, предел выносливости (рис. 5,6) и могут служить очагом разрушения детали в эксплуатации. Приведенные аргументы свидетельствуют о существенном понижении конструкционной прочности деталей, у которых на поверхности имеются неметаллические включения и особенно если они присутствуют в зонах нагруженных сечений (галтели, отверстия, шлицы и т.д.).

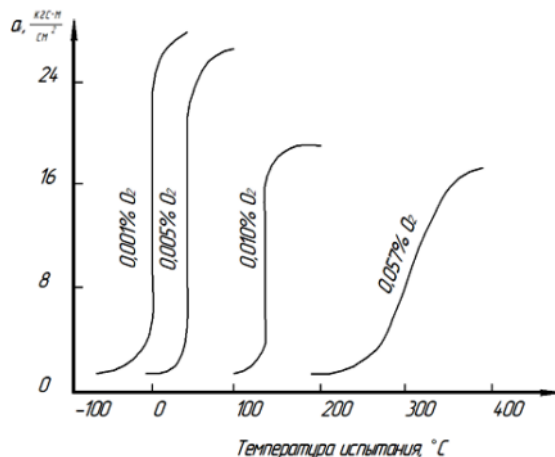


Рис.4. Влияние кислорода на вязкие свойства стали

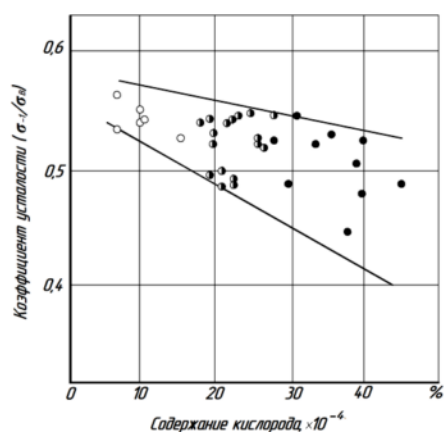


Рис.5. Влияние количества кислорода на усталостную прочность термоулучшенной стали 40X (HB = 280-350). Условия при выплавке: \circ - вакуумирование + дегазация + рафинирование; \bullet - вакуумирование \bullet - обычная

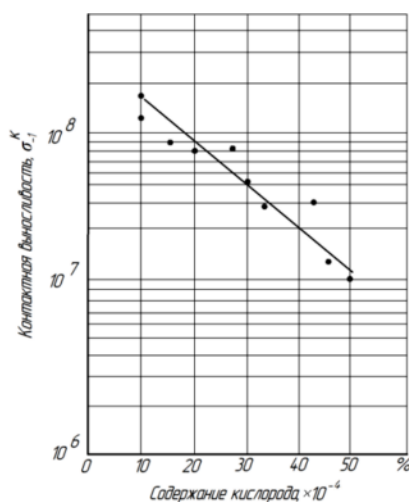


Рис.6. Влияние количества кислорода на контактную выносливость цементированной стали 18XГН

Преждевременный выход из строя металлоизделий зачастую является и результатом хрупкого разрушения материала. Большое влияние при этом оказывают величина зерна, количество, размер, форма и характер распределения неметаллических включений, центральная пористость, ликвационные проявления различного рода т.д.. Многие из этих факторов наследуются металлом готовых изделий от литого состояния

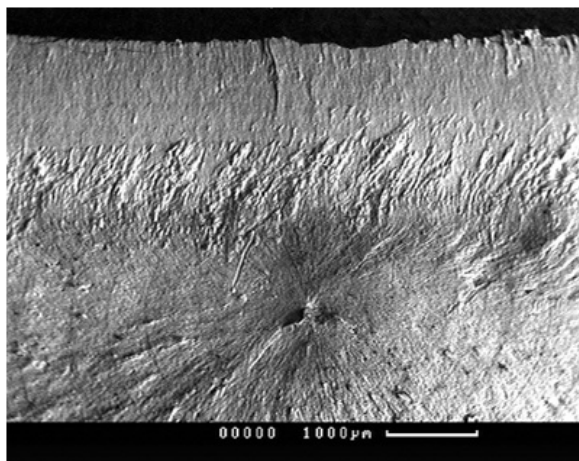


Рис. 7. Неметаллическое включение – очаг разрушения детали

сплава и зачастую оказывают негативное влияние. Об этом свидетельствует выявленный очаг разрушения детали, началом которого послужило неметаллическое включение, расположенное даже в глубине металла (рис. 7).

Сохранение пористости и ликвационных полос в прокате, которые снижают механические и эксплуатационные свойства изделий, свидетельствует о недостаточной степени деформации металла в горячем состоянии. Базируясь на литературные источники и производственный опыт можно констатировать, что для

устранения пористости необходимо, чтобы степень деформации была не менее 6 крат, а ликвационных полос - не менее 8 крат [3].

Учитывая вышеизложенное, при разработке технологии и проектировании штамповой оснастки необходимо достичь правильного течения металла при пластической деформации, создать рациональное волокнистое строение и исключить выход центральной зоны в район наиболее нагруженных зон и к поверхности детали.

Выводы:

1. Показана роль волокнистого строения и неметаллических включений в формировании свойств стальных изделий.
2. Исследовано макростроение поковки коленчатого вала, выявлено направление течения металла при горячей пластической деформации и установлены места выхода центральной зоны проката на поверхность детали.
3. На этапе технологического передела проката необходимо исключить выход дефектов металлургического характера на поверхность и к нагруженным местам детали.

Список литературы: 1. Тихонов А.К. Влияние технологического передела на прочность изделий./ Металлургия машиностроения, 2008, №3, с. 34-40. 2. Никитин В.И., Никитин К.В. Наследственность в литых сплавах. Изд-е 2-е, перераб. и доп.-М.: Машиностроение, 2005, 476с. 3. Неучев А.Л. Применение стали непрерывной разливки в кузнечном производстве./Кузн.-штамп. пр-во, 1986, №11, с.21-22.

TECHNOLOGICAL MAINTENANCE OF QUALITY OF DEFORMABLE STEEL PRODUCTS

Shibakov V.G, Shveyova T.V., Astashchenko V.I., Shveyov A.I.

(Kama state engineer-economical academy, Nab. Chelny, Russia)

Abstract: *Influence of a fibrous structure and nonmetallic inclusions on mechanical properties of steel products is shown. The macrostructure forged piece a bent shaft is investigated and exit places liquation zones on a detail surface are established. Ways of improvement of quality of deformable steel products are offered*

Keywords: *a macrostructure, oxide, sulfides, a bent shaft, liquation a square, mechanical properties*

Надійшла до редколегії 04.05.2011 р.