

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ ТОЛЩИНЫ СЛОЯ, ЗАКАЛЕННОГО ТОКАМИ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ, ДЛЯ ДЕТАЛИ «ОСЬ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ШЕСТЕРНИ ЗАДНЕГО ХОДА» ПО РАСЧЕТНОЙ ПРОКАЛИВАЕМОСТИ СТАЛИ 45

© 2015

О.К. Пирогов, магистр, инженер

Тольяттинский государственный университет,

АО «ВИС», Тольятти (Россия)

Д.Л. Мерсон, доктор физико-математических наук, профессор,
директор Научно-исследовательского института прогрессивных технологий
Тольяттинский государственный университет, Тольятти (Россия)

В.П. Ахантьев, инженер

АО «ВИС», Тольятти (Россия)

Ключевые слова: эффективная толщина слоя; прокаливаемость; закалка токами высокой частоты.

Аннотация: Работа выполнена на примере детали «Ось промежуточной шестерни заднего хода», изготовляемой из стали 45, и посвящена разработке методики прогнозирования эффективной толщины закаленного токами высокой частоты слоя при помощи расчетной прокаливаемости, использующей данные входного контроля металла по химическому составу и размеру зерна.

Исследование инициировано необходимостью увеличения производительности закалочного оборудования и снижения трудоемкости определения расчетной прокаливаемости. Работа выполнена в связи с тем, что в научной литературе не существует исследования, содержащего подробное описание методики для прогнозирования твердости и эффективной толщины закаленного токами высокой частоты слоя для деталей из стали 45 при помощи расчетной прокаливаемости. В данном исследовании, во-первых, был проанализирован химический состав плавок, во-вторых, определены значения твердости в зависимости от эффективной глубины слоя, в-третьих, построены расчетные кривые прокаливаемости с применением метода ф. Daido Steel (DS), а также зависимости эффективной толщины слоя от расчетной прокаливаемости.

Установлено, что вышеуказанные зависимости позволяют с необходимой точностью прогнозировать эффективную толщину слоя еще до проведения операции «Закалка ТВЧ», что служит основанием для внедрения предлагаемой методики в производство.

Разработанная методика позволяет:

– снизить трудоемкость определения эффективной толщины слоя, закаленного токами высокой частоты, по сравнению с контролем в специализированной лаборатории;

– исключить в действующем производстве необходимость контроля эффективной толщины слоя после операции «Закалка ТВЧ» и, следовательно, простой оборудования за счет использования данных обязательного входного контроля поставляемого металла по химическому составу.

ВВЕДЕНИЕ

Деталь «Ось промежуточной шестерни заднего хода» (далее деталь), используется в коробке перемены передач автомобилей семейства LADA. Деталь изготавливается из стали 45 по ГОСТ 1050-88 [1].

В процессе эксплуатации автомобиля эта деталь испытывает значительные вибрационные и ударные нагрузки. Согласно конструкторской документации, для обеспечения надежной работы в таких условиях твердость поверхности закаленного слоя должна быть ≥ 53 HRC; эффективная толщина слоя (слой, измеренный от поверхности до глубины, где твердость определяется по содержанию углерода для данной марки стали, для стали 45 – 45 HRC) должна быть в пределах $1,5 \pm 4$ мм. Учитывая, что выбор режима термической обработки осуществляется в пользу наименее затратного [2], то для обеспечения несквозной прокаливаемости наиболее целесообразно применение поверхностной закалки токами высокой частоты (ТВЧ) [3].

На сегодняшний день в действующем производстве данной детали существуют две проблемы:

– значения эффективной толщины слоя могут быть как менее 1,5 мм, так и более 4 мм, в зависимости от режимов технологических параметров (в настоящей

работе технологические параметры установки ТВЧ – мощность, напряжение, частота, время нагрева, время охлаждения – были постоянными) и прокаливаемости (глубина проникновения закаленной зоны [4; 5]) используемой стали;

– определение значений прокаливаемости возможно только разрушающим способом после осуществления операции «Закалка ТВЧ», поэтому во время контроля деталей термическое оборудование находится в вынужденном простое, что сказывается на производительности. При получении отрицательных результатов после контроля необходима переналадка режимов установки закалки ТВЧ и требуется дополнительный контроль деталей, что приводит к очередному простоям оборудования.

В связи с этим возникает важная задача предсказания прокаливаемости по данным входного контроля используемой стали: содержанию углерода, легирующих элементов и баллу зерна [6; 7]. Для решения указанной задачи была предпринята попытка применить японский расчетный метод ф. DS, который основан на определении расчетной прокаливаемости [8] по химическому составу [9] и величине зерна. Научная новизна работы заключается в том, что впервые метод ф. DS

Таблица 1. Таблица значений эффективной толщины слоя и процентного содержания химических элементов

№	H _{ef} , мм	C, %	Si, %	Mo, %	V, %	Al, %	Ti, %	Mn, %	Ni, %	Cu, %	P, %	Cr, %	S, %
1	2,5	0,424	0,279	0,005	0,0015	0,0123	0,0015	0,546	0,0267	0,0374	0,0073	0,0408	0,0084
2	2,55	0,401*	0,27	0,005	0,0015	0,0121	0,0015	0,528	0,0249	0,0363	0,0069	0,0405	0,0075
3	3,8	0,468	0,291	0,0075	0,0015	0,0215	0,0196	0,66	0,0704	0,222	0,023	0,11	0,0331
4	3,9	0,468	0,317	0,0104	0,0015	0,0219	0,0216	0,663	0,0787	0,228	0,0235	0,121	0,0365
5	4,25	0,473	0,298	0,0095	0,0015	0,0212	0,0211	0,662	0,0724	0,22	0,0224	0,116	0,0363
6	4,2	0,417*	0,308	0,0091	0,0015	0,0226	0,0204	0,654	0,0738	0,227	0,0224	0,116	0,0352
7	4,45	0,452	0,258	0,0068	0,0015	0,0155	0,0137	0,762	0,111	0,305*	0,0139	0,0693	0,028
8	5,1	0,444	0,26	0,0081	0,0015	0,0154	0,0135	0,75	0,112	0,308*	0,0143	0,0716	0,0268

* Значения, превышающие верхний (для Si не более 0,058 %) или нижний (для C не более 0,019 %) пределы содержания.

Вклад углерода в прокаливаемость в зависимости от балла зерна				%	Вклад химического элемента в прокаливаемость					Вклад химического элемента в прокаливаемость				
5	6	7	8		Mn	Si	Ni (Cu)	Cr	Mo	V	P	S	Al	Ti
0,021				0,07	0,091	0,021	0,011	0,061	0,083	0,137	0,073	-0,020	0,039	-0,062
0,050	0,012			0,08	0,103	0,024	0,012	0,069	0,094	0,124	0,083	-0,024	0,044	-0,072
0,076	0,038	0,005		0,09	0,114	0,027	0,014	0,077	0,104	0,111	0,092	-0,027	0,049	-0,081
0,101	0,062	0,029		0,10	0,125	0,029	0,015	0,085	0,114	0,097	0,101	-0,032	0,054	-0,092
0,120	0,084	0,052	0,017	0,11	0,136	0,032	0,017	0,093	0,124	0,086			0,059	-0,099
0,138	0,103	0,071	0,037	0,12	0,146	0,035	0,019	0,101	0,134					
0,155	0,121	0,088	0,056	0,13	0,156	0,038	0,020	0,108	0,143					
0,170	0,136	0,104	0,070	0,14	0,166	0,041	0,022	0,115	0,152					
0,184	0,150	0,119	0,084	0,15	0,176	0,043	0,023	0,122	0,161					
0,306	0,269	0,233	0,201	0,26	0,271	0,073	0,040	0,193	0,251					
0,314	0,277	0,241	0,209	0,27	0,279	0,075	0,041	0,199	0,258	0,740	0,55	1,550	3,55	
0,322	0,285	0,250	0,216	0,28	0,287	0,078	0,042	0,205	0,265	0,778	0,60	1,556	3,60	
0,330	0,292	0,259	0,223	0,29	0,294	0,080	0,044	0,211	0,272	0,813	0,65	1,562	3,65	
0,337	0,299	0,267	0,230	0,30	0,301	0,083	0,045	0,217	0,279	0,845	0,70	1,568	3,70	
0,398	0,362	0,329	0,296	0,40	0,368	0,107	0,059	0,270	0,342	0,875	0,75	1,574	3,75	
0,403	0,368	0,334	0,301	0,41	0,374	0,110	0,061	0,275	0,348	0,903	0,80	1,580	3,80	
0,408	0,373	0,339	0,306	0,42	0,380	0,112	0,062	0,280	0,354	0,929	0,85	1,585	3,85	
0,413	0,378	0,344	0,310	0,43	0,386	0,114	0,063	0,285	0,360	0,954	0,90	1,591	3,90	
0,418	0,383	0,349	0,315	0,44	0,392	0,117	0,064	0,290	0,365	0,978	0,95	1,597	3,95	
0,423	0,387	0,354	0,320	0,45	0,398	0,119	0,066	0,295	0,371	1,000	1,00	1,602	4,00	

Рис.1. Метод ф. DS для определения расчетной прокаливаемости: шаги 1 – 3

%, C	Твердость поверхности, HRC	DI	Значения твердости в зависимости от глубины, мм (дюймы)		
			6,35 (0,25)	12,70 (0,5)	19,05 (0,75)
0,10	38	0,50	4,90		
0,11	39	0,55	4,42		
0,12	40	0,60	4,03		
0,13	40	0,65	3,70	6,00	
0,14	41	0,70	3,47	5,15	
0,15	41	0,75	3,25	4,50	
0,16	42	0,80	3,07	4,18	
0,17	42	0,85	2,90	3,88	6,00
0,18	43	0,90	2,75	3,68	5,13
0,19	44	0,95	2,61	3,50	4,70
0,20	44	1,00	2,48	3,33	4,40
0,40	56	2,00	1,30	1,83	2,23
0,41	57	2,10	1,26	1,75	2,13
0,42	57	2,20	1,24	1,69	2,06
0,43	58	2,30	1,22	1,64	1,99
0,44	58	2,40	1,20	1,60	1,93
0,45	59	2,50	1,18	1,55	1,88

Шаг 4

Шаг 5

Рис.2. Метод ф. DS для определения расчетной прокаливаемости: шаги 4 и 5

был применен для прогнозирования расчетной прокаливаемости после закалки ТВЧ для детали из стали 45. Практическая значимость заключается в уменьшении риска производства бракованной продукции и увеличении производительности за счет удаления операции «Контроль после закалки ТВЧ». Это стало возможным по причине надежного прогнозирования значений расчетной прокаливаемости до операции «Закалка ТВЧ».

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Разработанная на основе метода ф. DS методика включает в себя следующие четыре этапа.

1. Анализ химического состава плавки.

В настоящей работе была использована накопленная за длительный период времени статистика по химическому составу разных плавков, поставляемых в АО «ВИС». В таблице 1 для выборки из 8 деталей, отличающихся друг от друга величиной эффективной толщины слоя (H_{ef}), представлена информация по их химическому составу [10; 11]. Как следует из этих данных, после операции «Закалка ТВЧ» эффективная толщина слоя может принимать значения от 2,5 мм (минимум) до 5,1 мм (максимум), при этом половина из них превышает допустимое нормативной документацией значение 4,0 мм.

2. Определение значения твердости в зависимости от глубины для минимальной $H_{ef}=2,5$ мм и максимальной $H_{ef}=5,1$ мм.

Для реализации методики прогнозирования эффективной толщины закаленного токама высокой частоты слоя детали с помощью метода ф. DS требуется выполнить шаги, показанные на рис. 1, 2.

Шаг № 1 – по баллу зерна исследуемой детали определить вклад углерода (из таблицы 1) в прокаливаемость.

Шаг № 2 – по баллу зерна исследуемой детали определить вклад каждого химического элемента (из таблицы 1) в прокаливаемость, суммировать полученные значения и получить суммарный вклад всех химических элементов в суммарную прокаливаемость.

Шаг № 3 – найти с помощью метода ф. DS критический диаметр DI (диаметр заготовки, в центре которой после закалки образуется полумартенситная структура [12–15] – 50 % мартенсита и 50 % троостита), соответствующий суммарному вкладу в расчетную прокаливаемость.

Шаг № 4 – найти значение твердости (расчетной прокаливаемости) на поверхности детали при соответствующем значении углерода.

Шаг № 5 – рассчитать значения твердости в зависимости от расстояния от охлаждаемого торца.

3. Построение расчетных кривых прокаливаемости с применением метода ф. DS. Данный шаг оптимизирует построение кривых прокаливаемости, т. к. он исключает проведение по ГОСТ 5657-69 [16; 17] регламентированного испытания прокаливаемости стали методом торцевой закалки (по Джомини) [18–20]. Данный метод состоит в том, что один торец цилиндрического образца, нагретого до температуры закалки, охлаждают водой в специальной установке согласно ГОСТ 5657-69.

С помощью метода Джомини строятся кривые прокаливаемости в координатах: твердость – расстояние от охлаждаемого торца (по оси абсцисс) (см. рис. 3).

Для того чтобы иметь возможность прогнозировать H_{ef} , необходимо построить две расчетные полосы прокаливаемости, соответствующие минимальному и максимальному значениям, которые были получены за все время исследования.

4. Построение зависимости эффективной толщины слоя от расчетной прокаливаемости.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Согласно шагу № 5 3-го этапа методики для построения кривой прокаливаемости необходимо знать твердость, которая соответствует определенной глубине закаленного токама высокой частоты слоя. Для этого необходимо рассчитанную твердость поверхности 57 HRC (шаг № 4) поделить на соответствующий коэффициент: для глубины (расстояние от охлаждаемого торца) 6,35 мм – 2,9; для 12,7 мм – 3,88; для 19,05 мм – 6. По полученному распределению твердости от охлаждаемой поверхности детали на рис. 4 были построены кривая № 1 и, аналогично, кривая № 2.

Для получения зависимости эффективной толщины слоя от расчетной прокаливаемости на рис. 4 от оси «Расстояние от охлаждаемого торца, мм» были построены две прямые, соответствующие значениям 1,5 мм и 4 мм до пересечения с кривыми расчетной прокаливаемости 1 и 2. Найденным указанным образом точкам соответствуют следующие значения твердости HRC:

для точки 1,5 мм: 47 HRC (для эффективной толщины 2,5 мм) и 52 HRC (для эффективной толщины 5,1 мм);

для точки 4 мм: 32 HRC (для эффективной толщины 2,5 мм) и 42 HRC (для эффективной толщины 5,1 мм).

По 4-му этапу методики для расчетной прокаливаемости в точке 1,5 мм зависимость эффективной толщины

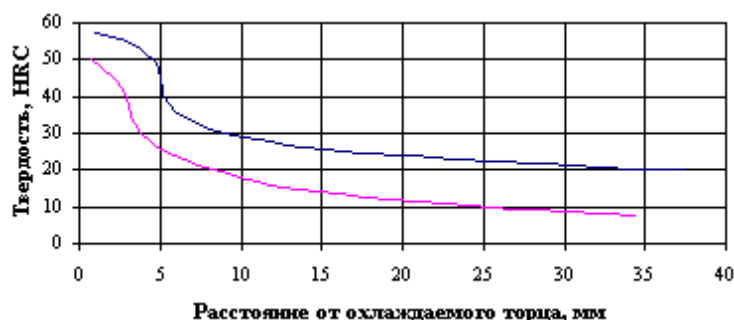


Рис. 3. Кривые прокаливаемости для стали 45 (ГОСТ 1050-88)

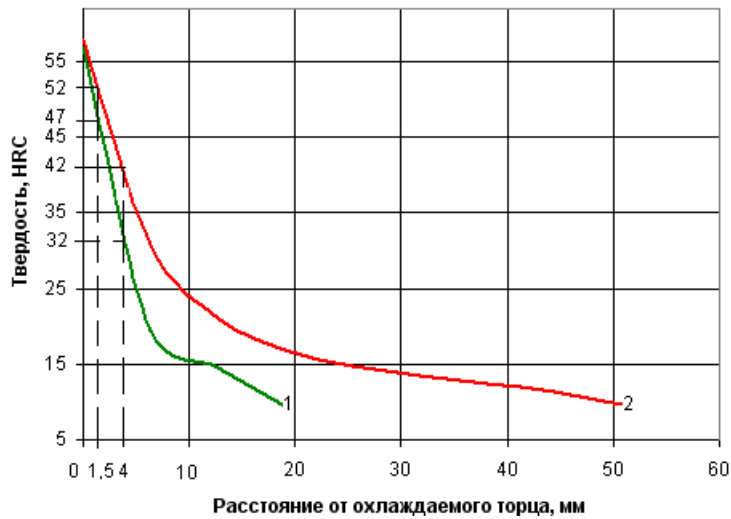


Рис. 4. Распределение твердости от охлаждаемой поверхности детали после операции «Закалка ТВЧ» (кривая № 1 соответствует эффективной толщине слоя 2,5 мм; кривая № 2 – 5,1 мм)

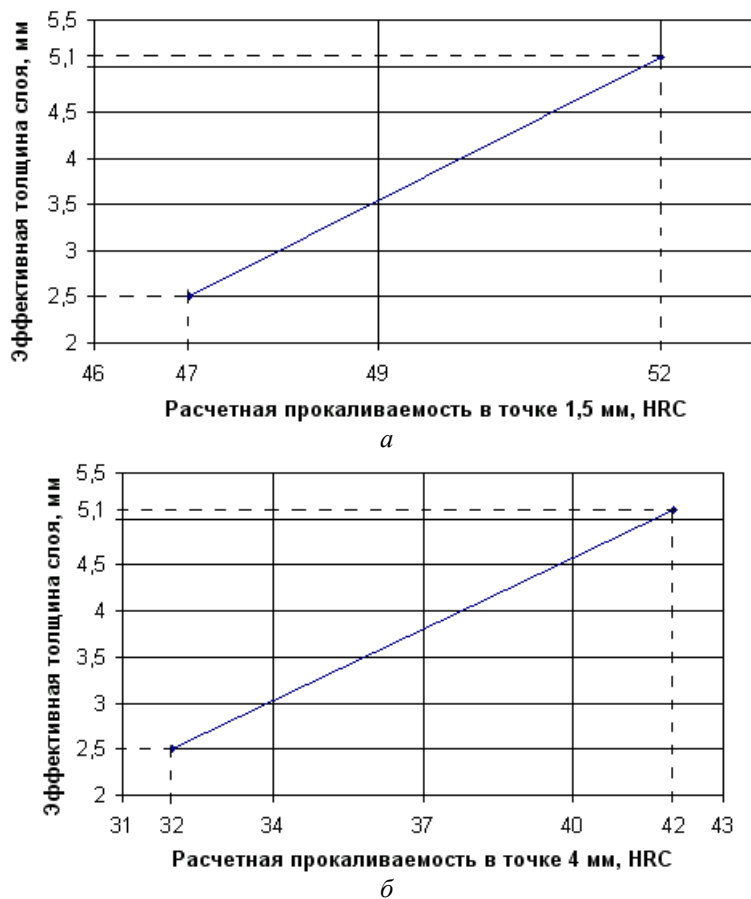


Рис.5. Зависимости эффективной толщины слоя от расчетной прокаливаемости: а – в точке 1,5 мм; б – в точке 4 мм

ны слоя от расчетной прокаливаемости строится следующим образом: 1-я точка: на оси абсцисс – расчетная прокаливаемость выделяется значение 47 HRC; на оси ординат – эффективная толщина слоя выделяется значение 2,5 мм;

2-я точка: на оси абсцисс – расчетная прокаливаемость выделяется значение 52 HRC; на оси ординат –

эффективная толщина слоя выделяется значение 5,1 мм.

Аналогично строится зависимость для расчетной прокаливаемости в точке 4 мм.

По полученным результатам построены зависимости эффективной толщины слоя от расчетной прокаливаемости (рис. 5).

Построенные зависимости позволяют прогнозировать эффективную толщину слоя до проведения операции «Закалка ТВЧ». Таким образом, после анализа плавки на химический состав (этап 1), определения значения твердости в зависимости от глубины (этап 2), построения расчетной кривой прокаливаемости (этап 3) необходимо воспользоваться уже имеющимися зависимостями на рис. 5, определив эффективную толщину слоя с помощью вычисленной расчетной прокаливаемости.

ВЫВОДЫ

Использование методики прогнозирования твердости и эффективной толщины слоя до операции «Закалка ТВЧ» позволяет:

- исключить в производстве операцию контроля прокаливаемости, т. е. ликвидировать простой закалочного оборудования во время выполнения этой операции;
- за счет использования данных обязательного входного контроля поставляемых плавок металла по химическому составу снизить трудоемкость определения расчетной прокаливаемости по сравнению с контролем в специализированной лаборатории.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 1050-88. Прокат сортовой, калиброванный, со специальной отделкой поверхности из углеродистой качественной конструкционной стали. Введ. 24.11.88. М.: Стандартинформ, 2008. 17 с.
2. Cărmădaru V.D., Vela I. Heat Treatments and Materials Used in the Manufacturing of the Gear Wheels // *Analele Universității Eftimie Murgu Reșița. Fascicula de Inginerie*. 2010. Vol. XVII. № 2. P. 65–74.
3. Kosec B., Karpe B., Licen M., Kosec G. Inductive heating and quenching of planetary shafts // *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. 2010. Vol. 39. № 2. P. 190–196.
4. Малинкина Е.И., Ломакин В.Н. Прокаливаемость стали. М.: Машиностроение, 1970. 180 с.
5. Козловский И.С. Прокаливаемость стали. М.: Машгиз, 1945. 95 с.
6. Качанов Н.Н. Прокаливаемость стали. М.: Metallurgiya, 1978. 192 с.
7. Ахантьев В.П., Куленко А.В. Оценка применения методов расчета прокаливаемости по составу для цементуемых сталей. Тольятти: ИЦ ОАО «АВТОВАЗ», 2002. 9 с.
8. Куленко А.В., Фирсов Д.Г., Кузнецов А.В. Адаптация расчетных методик определения прокаливаемости по химическому составу для возможности оценки качества сортового проката цементуемых и улучшаемых сталей, используемых для изготовления ответственных деталей КП и шасси. Тольятти: ОАО «АВТОВАЗ», 2013. 70 с.
9. Меськин В.С. Основы легирования стали. М.: Metallurgizdat, 1959. 688 с.
10. Staoeko R., Adrian H. The effect of nitrogen and vanadium on hardenability of medium carbon 0.4 %C and 1.8 %Cr steel // *Archives of Materials Science and Engineering*. 2008. Vol. 33. № 2. P. 69–74.
11. Rosso M., Dobrzański L.A., Otręba J., Grande M. Mechanical properties and microstructural characteristic of sinter-hardened steels // *Archives of Materials Science and Engineering*. 2009. Vol. 35. № 2. P. 117–124.
12. Гуляев А.П. *Металловедение*. М.: Metallurgiya, 1986. 544 с.
13. Смирнов М.А. *Основы термической обработки стали*. М.: Наука и технологии, 2002. 519 с.
14. Криштал М.А., Боргардт А.А., Выбойщик М.А. *Металловедение углеродистых сплавов*. Тольятти: ТолПИ, 1994. 108 с.
15. Энтин Р.И. *Превращения аустенита в стали*. М.: Metallurgizdat, 1960. 252 с.
16. ГОСТ 5657-69. Сталь. Метод испытания на прокаливаемость. Введ. 01.07.70. М.: Издательство стандартов, 1993. 7 с.
17. Sitek W., Trzaska J. Hybrid modelling methods in materials science – selected examples // *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. 2012. Vol. 54. № 1. P. 93–102.
18. Telejko I., Adrian H., Skalny K., Pakiet M., Staško R. The investigation of hardenability of low alloy structural cast steel // *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. 2009. Vol. 37. № 2. P. 480–485.
19. Gojic M., Kosec B., Anzel I., Kosec L., Preloscan A. Hardenability of steels for oil industry // *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. 2007. Vol. 23. № 2. P. 23–26.
20. Hadi S., Widiyono E., Winarto W., Noor D.Z. EMS-45 Tool Steels Hardenability Experiment using Jominy ASTM A255 Test Method // *IPTEK: The Journal for Technology and Science*. 2013. Vol. 24. № 1. P. 7–12.

REFERENCES

1. *GOST 1050-88. Prokat sortovoy, kalibrovanny, so spetsialnoy otdelkoy poverkhnosti iz uglerodistoy kachestvennoy konstruksionnoy slali* [State Standard 1050-88. Carbon structural quality steel gauged bars with special surface finish. General specifications]. Moscow, Standartinform Publ., 2008. 17 p.
2. Cărmădaru V.D., Vela I. Heat Treatments and Materials Used in the Manufacturing of the Gear Wheels. *Analele Universității Eftimie Murgu Reșița. Fascicula de Inginerie*, 2010, vol. XVII, no. 2, pp. 65–74.
3. Kosec B., Karpe B., Licen M., Kosec G. Inductive heating and quenching of planetary shafts. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 2010, vol. 39, no. 2, pp. 190–196.
4. Malinkina E.I., Lomakin V.N. *Prokalivaemost stali* [Hardenability of steels]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1970. 180 p.
5. Kozlovsky I.S. *Prokalivaemost stali* [Hardenability of steels]. Moscow, Mashgiz Publ., 1945. 95 p.
6. Kachanov N.N. *Prokalivaemost stali* [Hardenability of steels]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1978. 192 p.
7. Akhanteyev V.P., Kulenko A.V. *Otsenka primeneniya metodov rascheta prokalivaemosti po sostavu dlya tsementuemykh staley* [Evaluation of application methods of hardenability calculation by composition for carburizing steels]. Togliatti, ITs OAO AVTOVAZ Publ., 2002. 9 p.
8. Kulenko A.V., Firsov D.G., Kuznetsov A.V. *Adaptatsiya raschetnykh metodik opredeleniya prokalivaemosti po khimicheskomu sostavu dlya vozmozhnosti otsenki kachestva sortovogo prokata tsementuemykh i uluchshaemykh staley, ispolzuemykh*

- dlya izgotovleniya otvetstvennykh detaley KP i shassi* [The adaptation of calculation methods for determination of hardenability by chemistry for the possibility of quality evaluation of rolled carburizing and heat treatable steels used for production of vital parts of transmission and chassis]. Togliatti, OAO AVTOVAZ Publ., 2013. 70 p.
9. Meskin V.S. *Osnovy legirovaniya stali* [Basics of steel alloyage]. Moscow, Metallurgizdat Publ., 1959. 688 p.
 10. Staoeko R., Adrian H. The effect of nitrogen and vanadium on hardenability of medium carbon 0.4 %C and 1.8 %Cr steel. *Archives of Materials Science and Engineering*, 2008, vol. 33, no. 2, pp. 69–74.
 11. Rosso M., Dobrzański L.A., Otręba J., Grande M. Mechanical properties and microstructural characteristic of sinter-hardened steels. *Archives of Materials Science and Engineering*, 2009, vol. 35, no. 2, pp. 117–124.
 12. Gilyaev A.P. *Metallovedenie* [Metal science]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1986. 544 p.
 13. Smirnov M.A. *Osnovy termicheskoy obrabotki stali* [Basics of heat treatment of steels]. Moscow, Nauka i tekhnologii Publ., 2002. 519 p.
 14. Krishtal M.A., Borgardt A.A., Vyboyschik M.A. *Metallovedenie uglerodistykh staley* [Metal science of carbon alloys]. Togliatti, TolPI Publ., 1994. 108 p.
 15. Entin R.I. *Prevrashcheniya austenita v stali* [Transformation of austenite into steels]. Moscow, Metallurgizdat Publ., 1960. 252 p.
 16. GOST 5657-69. *Stal'. Metod ispytaniya na prokalivaemost* [State Standard 5657-69. Steel. Methods for the determination of hardenability]. Moscow, Standartinform Publ., 1993. 7 p.
 17. Sitek W., Trzaska J. Hybrid modelling methods in materials science – selected examples. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 2012, vol. 54, no. 1, pp. 93–102.
 18. Telejko I., Adrian H., Skalny K., Pakiet M., Staško R. The investigation of hardenability of low alloy structural cast steel. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 2009, vol. 37, no. 2, pp. 480–485.
 19. Gojic M., Kosec B., Anzel I., Kosec L., Preloscan A. Hardenability of steels for oil industry. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 2007, vol. 23, no. 2, pp. 23–26.
 20. Hadi S., Widiyono E., Winarto W., Noor D.Z. EMS-45 Tool Steels Hardenability Experiment using Jominy ASTM A255 Test Method. *IPTEK: The Journal for Technology and Science*, 2013, vol. 24, no. 1, pp. 7–12.

**THE FORECASTING OF THE EFFECTIVE THICKNESS OF A TEMPERED
BY HIGH FREQUENCY CURRENT LAYER FOR THE “REVERSE IDLER GEAR SHAFT” DETAIL
ACCORDING TO THE 45 STEEL ESTIMATED HARDENABILITY**

© 2015

O.K. Pirogov, graduate student, engineer
*Togliatti State University,
JSC “VIS”, Togliatti (Russia)*

D.L. Merson, Doctor of Sciences (Physics and Mathematics), Professor,
Director of the Research Institute of Progressive Technologies
Togliatti State University, Togliatti (Russia)

V.P. Ahantev, engineer
JSC “VIS”, Togliatti (Russia)

Keywords: layer effective thickness; hardenability; high-frequency current hardening.

Abstract: The study is performed on the example of “Reverse idler gear shaft” part made of 45 steel and covers the development of methodology of forecasting the effective thickness of a tempered by high frequency currents layer with the help of estimated hardenability, which uses data of metal acceptance test by chemical composition and grain size.

The research is caused by the necessity of increase of the tempering equipment capacity and the reduction of working time for the estimated hardenability determination. The work was performed taking into account the lack of research in scientific literature containing the detailed description of methodology for forecasting of hardness and effective thickness of tempered with high frequency currents layer for the parts made of 45 steel using the estimated hardenability. In this research, the authors, firstly, analyzed the heat chemistry, secondly, determined the values of hardness depending on the layer effective thickness, and, thirdly, built the estimated hardenability curves using the Daido Steel (DS) method and the layer effective thickness dependences on the estimated hardenability.

It was determined, that the above-mentioned dependences allow forecasting the layer effective thickness with the desired precision prior to the “HFC hardening” operation that serves as the basis for the proposed methodology implementation into production.

The developed methods allow the following:

- to reduce the working time for determining the effective thickness of a tempered with high frequency currents layer, as compared to the control in a specialized laboratory;
- to eliminate in the existing production the necessity of control of the layer effective thickness after the “HFC hardening” operation, and therefore, to avoid the equipment downtime due to the use of data of the supplied metal acceptance test by chemical composition.