

Prispevek k strukturi in lastnostim temprane litine

Contribution to Structure and Properties of Malleable Cast Iron

1 Sestava in struktura

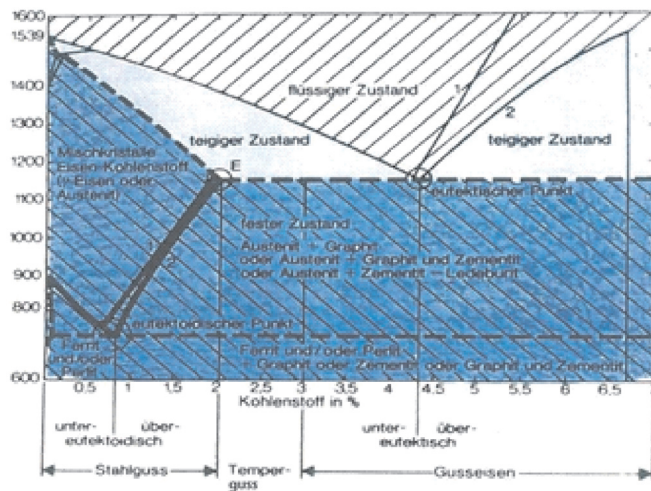
Zaradi kemijske sestave z 2–4 % C in 2–0,5 % Si skupina temprane litine prehaja od litega jekla na eni strani (najv. 2 % C) do litega železa z lamelastim, vermikularnim in sferoidnim grafitom na drugi strani (normalno z najm. 3 % C in 2 % Si). Nekaj podrobnosti je prikazano na Sl. 1 na podlagi trditvev švicarskih livarn VSE 1970 [1] v primerjavi z [2].

Sl. 2 prikazana območja C in Si pri tehničnih zlitinah Fe-C-Si na podlagi trditvev C. F. Waltona in T. J. Oparja [3], primerjava [4; 5], dopolnjeno z novimi standardnimi okrajšavami EN GJL, GJS, CTeL, BTeL in metalurškimi ravnotežnimi temperaturami TG za zmanjšanje SiO_2 s pomočjo C [6;

1 Composition and structure

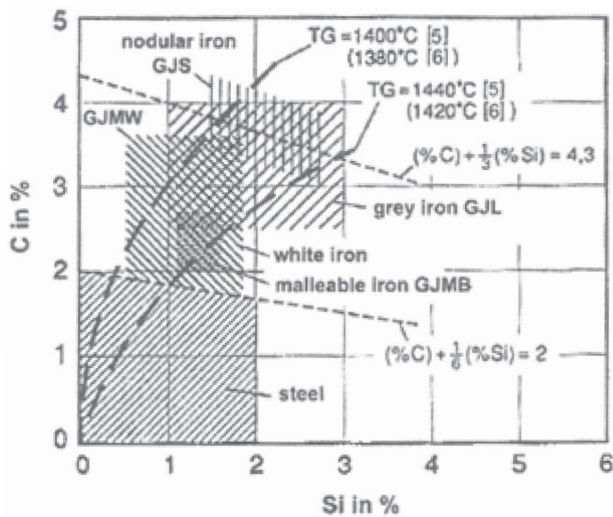
Due to its chemical composition with 2 to 4 % C and 2 to 0,5 % Si the group of malleable cast iron ranges between cast steel on the one side (max. 2 % C) and cast iron with lamellar, vermicular and spheroidal graphite on the other side (normally min. 3 % C and 2 % Si). Some details shows Fig. 1 following Swiss Iron Foundries VSE 1970 [1], compare [2].

Fig. 2 shows C- and Si-areas of technical Fe-C-Si-alloys, originally following C. F. Walton and T. J. Opar [3], compare [4;5], completed by new EN standard abbreviations GJL, GJS, GJMB, GJMW and with metallurgical equilibrium temperatures TG for the reduction of SiO_2 by C [6; 7].



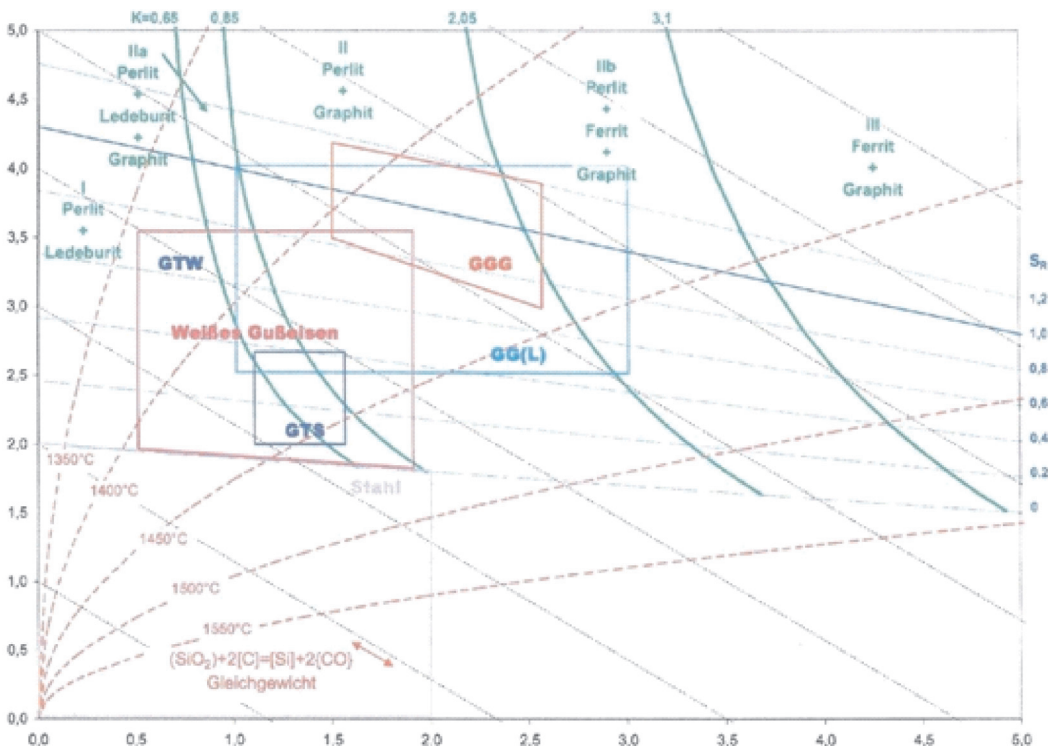
Sl. 1. Diagram Fe-C z litimi materiali Fe-C na podlagi Združenja švicarskih livarn (VSE) 1970 [1], sest. [2]

Fig. 1. Fe-C-Diagram with cast Fe-C-Materials, following Association of Swiss Iron Foundries (VSE) 1970 [1], comp. [2]



SI. 2. Območja tehničnih zlitin Fe-C-Si, prvotno na podlagi trditev C. F. Waltona in T. J. Oparja [3], dopolnjena z novimi standardnimi okrajšavami GJS, CTeL, BTeL in metalurškimi ravnotežnimi temperaturami TG za zmanjšanje SiO_2 s pomočjo C [6, 7], sest. [4, 5].

Fig. 2. Areas of technical Fe-C-Si alloys, originally by C. F. Walton and T. J. Opar [3], completed by new standard abbreviations GJL, GJS, GJMB, GJMW, and with metallurgical equilibrium temperatures for the reduction of SiO_2 by C [6,7], comp. [4,5]



SI. 3. Zadnja različica SI. 2 [9; 10]

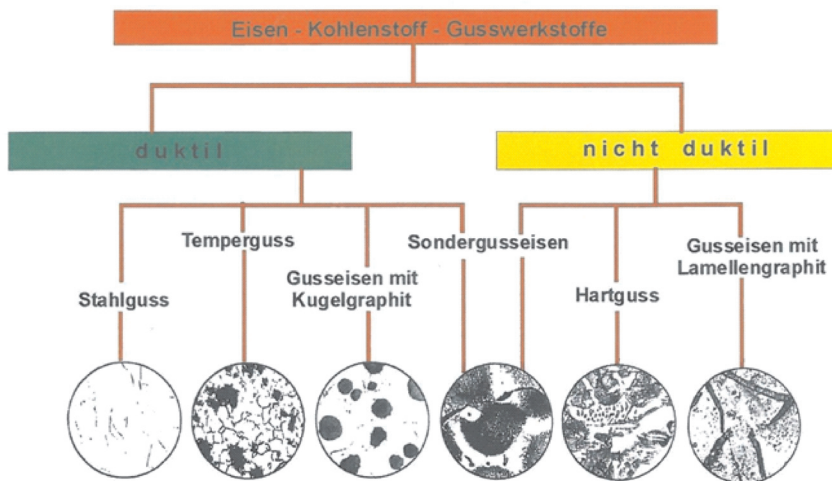
Fig. 3. Last version of Fig. 2 [9; 10]

7]. Tipična sestava je 3,5 % C in 0,5 % Si za litino BTeL ter 2,5 % C in 1,5 % Si za litino CTeL. Obe vrsti spadata med »bela železa«, kajti v litem stanju se morajo vse taline za temprano litino strditi »bela« oziroma metastabilno, pri čemer se med evtektično reakcijo tvori ledeburit »talina[^] avstenit + Fe₃C«. Vrednosti K za nagibanje h grafitiranju na podlagi trditev H. Lapanche [8] morajo biti v polju I diagrama C-Si.

Najnovejša različica Sl. 2 je Sl. 3, ki sta jo pripravila S. Ratkovic in R. Doepp [9; 10]. Pri primerjavi litine BTeL pri ravnotežni temperaturi (TG) ~1370 °C in litine GJL pri ravnotežni temperaturi (TG) ~1430 °C, pri čemer vsebujeta oba materiala 3,5 % C in različne vrednosti Si (0,5 in 2,0 %), je mogoče opaziti pozitivni učinek nižjih vrednosti ravnotežnih temperatur na belo strukturo in manjšo količino žlindre.

Typical compositions are 3,5 % C and 0,5 % Si for GJMW and 2,5 % C and 1,5 % Si for GJMB. Both types belong to "white iron", because in the as cast state all melts for malleable cast iron have to solidify "white", that means metastable, forming Ledeburite during the eutectic reaction "Melt → Austenite + Fe₃C". The K-values for graphitization tendency following H. Laplanche [8] must be located in field I of the C-Si-diagram.

The last version of Fig. 2 is Fig. 3 from S. Ratkovic and R. Doepp [9; 10]. Comparing GJMW with TG ~1370 °C and GJL with TG ~1430 °C, both materials with 3,5 % C, but different Si-values (0,5 and 2,0 %), the positive effect of lower TG-values on the tendency to white structure and reduced slag can be assumed.



Sl. 4. Duktilni in krhki liti materiali iz Fe-C), avtorji A. Engels, H. Kowalke, P. Tölke, H. G. Trapp, H. Werning: Temperguss, ein duktiler Gusseisenwerkstoff, Zentrale für Gussverwendung (ZGV), Düsseldorf 1983, str. 4, Sl. 1; sest. [9]

Fig. 4. Ductile and nonductile Fe-C-cast materials, by A. Engels, H. Kowalke, P. Tölke, H. G. Trapp, H. Werning: Temperguss, ein duktiler Gusseisenwerkstoff, Zentrale für Gussverwendung (ZGV), Düsseldorf 1983, p. 4, Fig. 1; comp. [9]

2 Struktura in lastnosti

Zaradi relativno kompaktne oblike tempranih ogljičnih grud (Sl. 4) ulitki iz temprane litine združujejo visoko trdnost z visoko voljnostjo, kar je podobno kot pri nodularni litini. Predvideni tok napetosti Sl. 5 je mnogo boljši kot pri litini GJL in podoben kot pri litini GJS, vendar pa ne dosega idealne vrste litega jekla, ki ima vselej enako kovinsko matriko.

Po drugi strani grafitni vključki neodvisno od vrste grafita izboljšujejo temperaturno prevodnost in odpornost proti toplotni deformaciji. Optimalni prenos toplote zagotavlja litina GJL, kar je eden glavnih razlogov za uporabo pri izdelavi avtomobilskih delov.

Ker ima litina BTeL razogljíčeno zgradbo oz. vsaj feritni, omogoča varjenje brez večjih težav.

Na podlagi trditev britanskega kolega Jacka Hilla (Svetovni livarski kongres v Budimpešti) številne težave nastopijo med

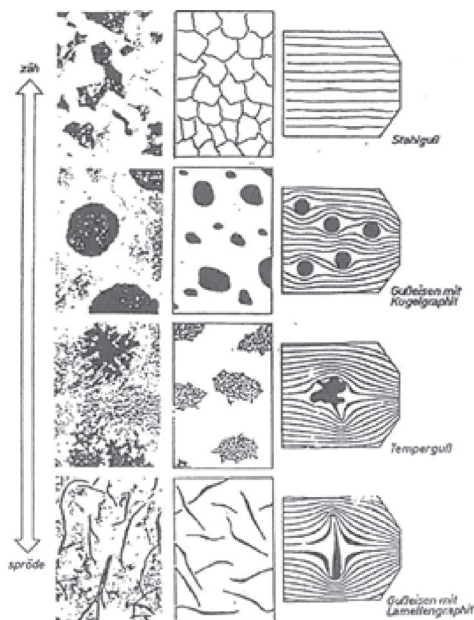
2 Structure and Properties

Due to the relative compact shape of the temper carbon nodules (Fig. 4) the malleable castings combine high strength with high ductility, similar to nodular cast iron. The assumed stress flow (Fig. 5) is far much better than with GJL and similar to GJS, but does not reach the ideal type of cast steel, always with the same metallic matrix.

On the other hand graphite inclusions, independent from the graphite type, improve heat conductivity and resistance against thermal deformation. Optimal heat transfer guarantees GJL, which is one main reason for application in automotive parts.

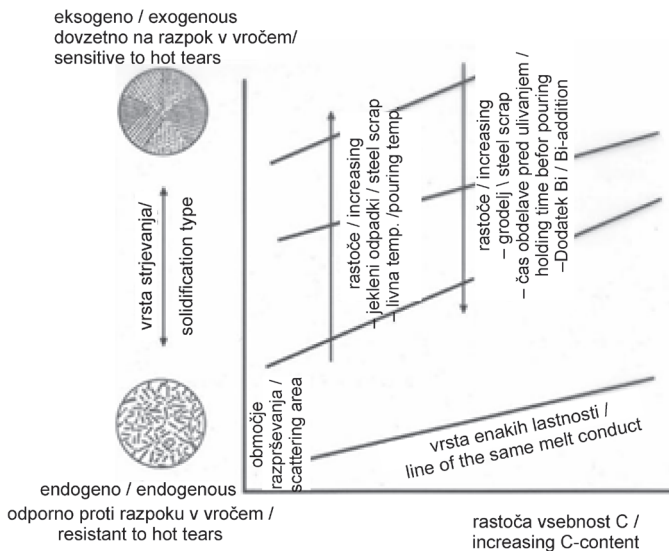
Because GJMW has a decarburized structure, at least a ferritic rim, it can be welded without severe problems.

Following the British colleague Jack Hill (World Foundry Congress Budapest) a lot of problems lie between liquidus and solidus temperature, that is during solidification.



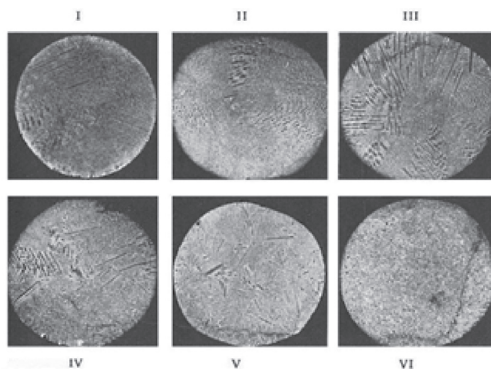
Sl. 5. Predvideni tok napetosti skladno z VDG – Združenjem nemških livarjev 1984, sest. [2], str. 11

Fig. 5. Assumed stress flow, according to VDG – Verein Deutscher Gießereifachleute 1984, comp. [2], p. 11



Sl. 6. Vpliv vsebnosti ogljika, material za nalaganje (godelj in odpadno železo), lastnosti taline (čas obdelave pred ulivanjem; livna temperatura) in obdelava taline (dodatek Bi) na vrsto strjevanja primarnega avstenita ter odpornost proti razpoku v vročem [11; 12], sest. [5]

Fig. 6. Influence of carbon content, charge material (pig iron and steel scrap), melt conduct (holding time before pouring; pouring temperature) and melt treatment (Bi-addition) on the solidification type of primary austenite and on the resistance against hot tearing [11;12], comp. [5]



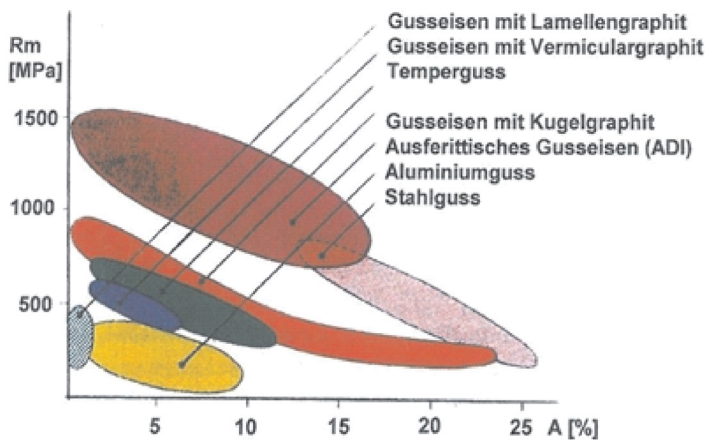
Sl. 7. Predlagani graf za šest tipov dentritskega strjevanja in dejanski primeri primarnega avstenita [11; 12], sest. [5]

Fig. 7. Proposed chart for 6 types of dendritic solidification and real examples of primary austenite [11;12], comp. [5]

temperaturo likvidusa in solidusa, torej med strjevanjem.

To je najpomembnejše pri litini CTeL z višjim intervalom strjevanja zaradi nižje vsebnosti ogljika. Glavno težavo predstavlja visoka nagnjenost k razpoku v vročem. Zato sta W. Patterson in R. Doepp [11] raziskala lastnosti primarnega avstenita med strjevanjem. Rezultat teh petletnih naporov

This is most important for GJMB with its higher solidification interval due to the lower carbon content. The main problem was a high tendency to hot tearing. Therefore, W. Patterson and R. Doepp [11] investigated the solidification behaviour of primary austenite. The result of a 5 years thesis work [11;12] with numerous coworkers at



Sl. 8. Natezna trdnost in raztezek določenih litih Fe- in Al-zlitin, »Comparison of Meehanite ADI with other materials«, prospekt družb JOT, Oddelek za strojni inženiring, Finska, sest. [9], str. 131, Sl. 10, s predlaganimi izboljšavami

Fig. 8. Tensile strength and elongation of some cast Fe- and Al-alloys, "Comparison of Meehanite ADI with other materials", prospect JOT-companies, Mechanical Engineering Division, Finland, comp. [9], p. 131, Fig. 10, with proposed improvements

[11; 12] v sodelovanju s številnimi sodelavci na Tehniški univerzi v Aachnu prikazuje Sl. 6 [13].

Želeni endogeni tip primarnega avstenita se uporablja zaradi nižje vsebnosti ogljika, večje vsebnosti grodlja pri nalaganju, daljšega časa obdelave pred ulivanjem, nižje livne temperature in dodatka Bi talini. Predlagani graf s šestimi tipi dendritskega strjevanja (Sl. 7 [14]) bi lahko bil uporaben tudi za številne druge neevtektične zlitine, npr. na osnovi Al, Mg, Cu, ne smemo pa pozabiti niti na jeklene litine.

V zvezi z natezno trdnostjo in raztezkom Sl. 8 [15] s Finske kaže dober položaj temprane litine (zelena) med vermikularnim (modra) in sferoidnim grafitnim litim železom (rdeča). Litina GJS tipa ADI (vijoličasta) je lahko predlog za lito jeklo (svetlo rdeča; jeklo je bila osnova), GJL (siva, spodaj levo), GJV (modra), CTeL in BTeL (zelena), kajti posebna toplotna obdelava se nanaša na kovinsko matriko neodvisno od vrste grafita.

the Technical University of Aachen shows Fig. 6 [13].

The wanted endogenous type of primary austenite is promoted by lower carbon content, increasing amount of pig iron in the charge, longer holding time before pouring, lower pouring temperature and Bi-addition to the melt. The proposed chart of six types of dendritic solidification (Fig. 7 [14]) may be useful for a lot of other noneutectic alloys, too, f.i. on base of Al, Mg, Cu and not to forget for steel alloys.

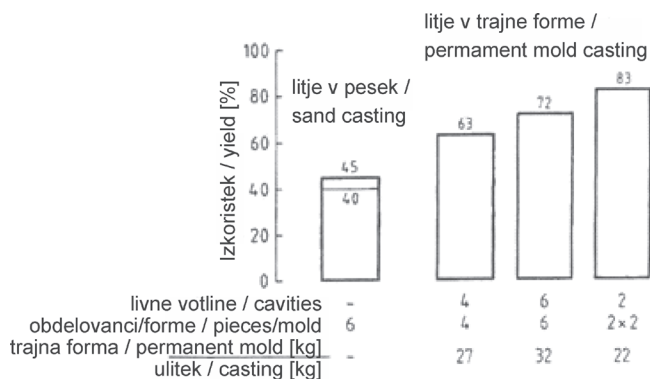
Concerning tensile strength and elongation, Fig. 8 [15] from Finland shows the good position of malleable cast iron (green) between vermicular (blue) and spheroidal graphite cast iron (red). The ADI-type of GJS (violet) may be a proposal for cast steel (light red; steel was the origin), GJL (gray, quite left down), GJV (blue), GJMB and GJMW (green), because the special heat treatment refers to the metallic matrix, independent of graphite type.

3 Napredni proizvodni procesi [16]

En primer je gravitacijsko litje tempranih talin v trajne forme [17; 18]. Izkoristek se pri litju v pesek zveča s približno 40 na 50 %, pri litju v trajne forme pa na približno 60–80

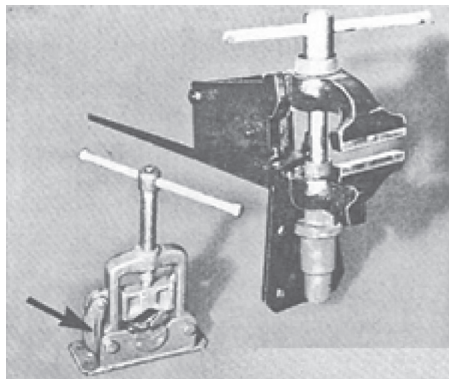
3 Progressive Production Processes [16]

One example is gravity casting of malleable melts into permanent molds [17; 18]. Yield increases from about 40 to 50 % in case of sand casting to about 60 to 80 % in case of



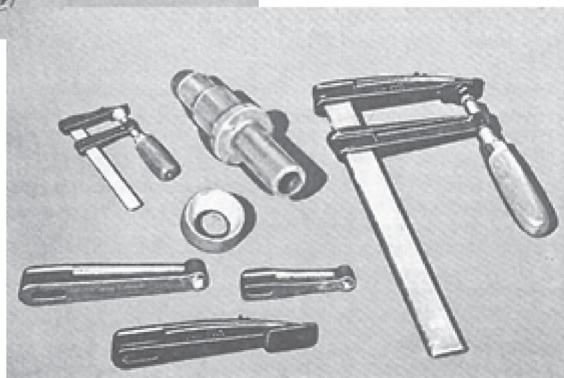
Sl. 9. V primerjavi z litjem v pesek se pri litju bele temprane litine v trajne forme (BTel) izboljšuje izkoristek dobrih odlitkov za od 15 do 35 % [17; 18], sest. [5], str. 727

Fig. 9. Compared to sand casting permanent mold casting of whiteheart malleable cast iron (GJMW) improves yield of good castings by about 15 to 35 % [17; 18], comp. [5], p. 727



Sl. 10. Deli iz bele temprane litine (primeži in spone) so bili izdelani za tradicionalno lastno proizvodnjo in zunanje naročnike [20]

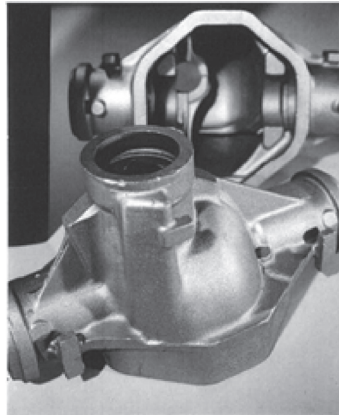
Fig. 10. Malleable cast iron parts for tools (vices and clamps) were made for traditional own production and for external customers [20]





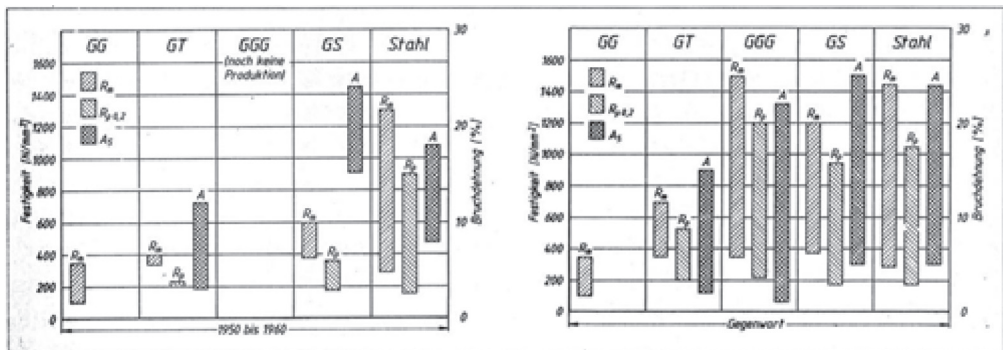
Sl. 11. Deli iz bele temprane litine za izdelavo gradbenih odrov, ki morajo prenesti velike obremenitve do 30 ton, v posebnih primerih do največ 75 ton [20]

Fig. 11. Malleable cast iron parts for scaffolding industry, which have to endure high pressures up to 30 t, in special cases max. 75 t [20]



Sl. 12. Črna temprana litina osnega mostu in ohišja osovine in tovrnega vozila Vir: [21]

Fig. 12. Blackheart malleable iron Axle bridge and rear axle housing for trucks Source: [21]



Sl. 13. V nasprotju s petdesetimi leti (levo) dandanes (desno) lita železa z vidika trdnosti konkurirajo jeklom; vrednosti povzete po zadevnih nemških standardih za materiale

Fig. 13. Contrary to the fifties (left), today (right) cast iron materials compete with steels in terms of their strength properties. Values taken from the respective German material standards

% (Sl. 9). Čas žarjenja pri visoki temperaturi bi se lahko skrajšal s 96 ur (4 dni) na 6 ur.

Drugi primer je vakuumsko litje z jeklenim zdrobom kot materialom za formanje namesto nezamejenega kremenčevega peska, ki se uporablja običajno [19].

4 Uporaba

Številne primere uporabe. npr. litine BTeL za orodja (primeži in sponse) Sl. 10 ter za izdelavo gradbenih odrov. prikazuje Sl. 11 [20], ki kaže na širok razpon uporabe: »trdnost v kombinaciji z voljnostjo«. Eden izmed stalnih ciljev je nadomestiti kovane in zvarjene dele z visoko zmogljivimi ulitki, kot so ulitki iz temprane litine.

En primer uporabe litine CTeL je prikazan na Sl. 12 na podlagi trditev H.-D. Landwehrja, nekdanjega vodje v koncernu +GF+ Mettmann, Nemčija, GIFA 2015 [21]. Skupaj s prispevki P. Toelkeja, +GF+ Schaffhausen, Švica [22], in R. Doeppa, Ennepetal, Nemčija, [23] te tri objave predstavljajo celovito raziskavo obsežnega področja temprane litine.

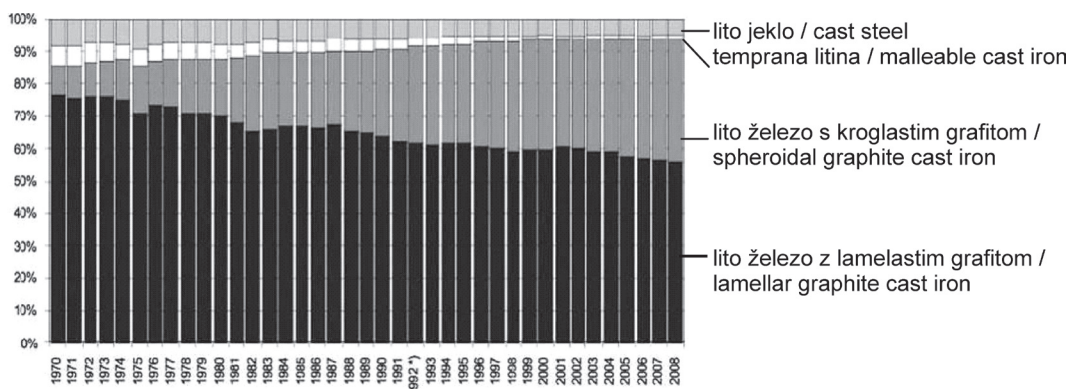
permanent molds (Fig. 9). High temperature annealing time could be reduced from 96 hours (4 days) to 6 hours.

Another example is vacuum casting with steel shot as molding material instead of unbound normal silica sand [19].

4 Applications

A lot of examples f.i. GJMW for tools (vices and clamps) Fig. 10 and for the scaffolding industry Fig. 11 [20] shows the wide range of application: "Strength meets ductility". One continuous aim is to replace forged and welded parts by high duty castings like malleable iron castings.

One example of GJMB shows Fig. 12, following H.-D. Landwehr, former head of +GF+ Mettmann, Germany, GIFA 2015 [21]. Together with contributions of P. Toelke, +GF+ Schaffhausen, Switzerland [22], and R. Doepp, Ennepetal, Germany [23], these 3 publications give a comprehensive survey on the wide field of malleable cast iron.



Sl. 14. Proizvodnja litega železa v % („lito železo, lito jeklo in temprana litina“) v Nemčiji 1970–2008
Vir: Društvo livarjev Nemčije (BDG) *) Zahodna Nemčija do 1992

Fig. 14. Production of cast iron in % ("iron, steel and malleable cast iron") in Germany 1970–2008
Source: Federation of German foundry industry (BDG) *) West Germany until 1992

5 Pregled

Čeprav ima temprana litina nekaj posebnih prednosti, zlasti zelo dobro voljnost in varivost (BTel), kot je prikazano v preglednici 1 [24], je trenutni tekmelec temprane litine (tako litine CTel kot BTel) sferoidno grafitno lito železo (GJS). Na Sl. 13 je prikazana primerjava mehanskih lastnosti materialov iz železove litine v 50. letih 20. stoletja (levo) v primerjavi s trenutnim stanjem (desno) [25]. Zato je odstotek ulitkov iz temprane litine

5 Outlook

Although malleable cast iron has some specific advantages, mainly high ductility and weldability (GJMW), see table 1 [24], the actual competitor of malleable cast iron, both GJMB and GJMW, is spheroidal graphite cast iron (GJS). This can be seen in Fig. 13, comparing mechanical properties of cast iron materials in the 1950 years (left side) and in the presence (right) [25]. Therefore the percentage of malleable

Preglednica 1. Lastnosti litega železa. Orientacijske vrednosti z oceno na podlagi razredov; povzeto po R. Doepp 1996 [24] (1 = zelo dobro, 2 = dobro, 3 = srednje dobro, 4 = zadostno, 5 = slabo)

Table 1. Properties of cast iron materials. Orientation values with evaluation according to grades; adapted from R. Döpp 1996 [24] (1 = very good, 2 = good, 3 = medium, 4 = sufficient, 5 = bad)

	GJL GG Siva litina / Gray iron	GJMW GTW bela temprana litina / Whiteheart malleable iron	GJMB GTS črna temprana litina / Blackheart malleable iron	GJS GGG Litina s kroglastim grafitom / Sphredoidal graphite cast iron	GS GS Lito jeklo / Cast steel
Tok in zmožnost zapolnitve kalupov / Flow and shape filling capacity	1	2	3	3	4 - 5
Odpornost na razpoke med strjevanjem / Crack resistance during solidification	1	3	3 - 4	2	4
Odpornost na udarce / Impact strength	4 - 5	1 - 2	2 - 3	3 - 4	1
Raztezek / Elongation	5 - 6	1 - 2	1 - 2	1 - 2	1
Natezna trdnost / Tensile strenght	3 - 4	1 - 2	1 - 2	1	1
Tlačna trdnost / Compressive strength	1	2 - 3	2 - 3	2	1
Trdnost / Hardness	Oblikovalnost pri na splošno prilagodljivi višini / adjustable as desired				
Varivost / Weldability	5 - 6	1 - 2	3 - 4	3 - 4	1
Obdelovalnost / Machinability	2	2	2	2	3 - 4
Kaljivost / Hardenability	2	3 - 4	2	2	1
Atenuacija / Attenuation	1	3	2 - 3	1 - 2	3 - 4
Toplotna prevodnost / Thermal conductivity	1	odvisna od vsebnosti grafita / depending on graphite content	1 - 2	1 - 2	3 - 4
Elektr. prevodnost / Elec. conductivity	3 - 4	1 - 2	1 - 2	2 - 3	1
Odpornost na korozijo / Corrosion resistance	1	3	2 - 3	2	3 - 4
Zaščita kovinskih površin / Metallic surface protection	2 - 3	1	2	2	1
Storilnost / Throughput time	1	2 - 3	2 - 3	1 - 2	2 - 3
Strošek / Costs	1	2 - 3	3	2 - 3	3 - 4
Zmožnost organizacije / Organizational capability	Prilagodljive splošne prednosti ulitka / general advantage of casting				

Werkstoff nach DIN 1692		Werkstoff nach DIN EN 1562	
Kurzzeichen	Nummer	Kurzzeichen	Nummer
GTW-35-04	0.8035	EN-GJMW-350-4	EN-JM1010
GTW-S-38-12	0.8038	EN-GJMW-360-12	EN-JM1020
GTW-40-05	0.8040	EN-GJMW-400-5	EN-JM1030
GTW-45-07	0.8045	EN-GJMW-450-7	EN-JM1040
–	–	EN-GJMW-550-4	EN-JM1050
–	–	EN-GJMB-300-6	EN-JM1110
GTS-35-10	0.8135	EN-GJMB-350-10	EN-JM1130
GTS-45-06	0.8145	EN-GJMB-450-6	EN-JM1140
–	–	EN-GJMB-500-5	EN-JM1150
GTS-55-04	0.8155	EN-GJMB-550-4	EN-JM1160
–	–	EN-GJMB-600-3	EN-JM1170
GTS-65-02	0.8165	EN-GJMB-650-2	EN-JM1180
GTS-70-02	0.8170	EN-GJMB-700-2	EN-JM1190
–	–	EN-GJMB-800-1	EN-JM1200

Preglednica 2. Primerjava označb novih materialov skladno z DIN EN 1562 in predhodnih označb po DIN 1692 : 1982–01

Table 2. Adapted from K. Herfurth and R. Döpp [27]

Preglednica 3. po K. Herfurth in R. Doepp [27]

Table 3. Adapted from K. Herfurth and R. Döpp [27]

DIN EN 1559-1	Gießereiwesen – Technische Lieferbedingungen Teil 1: Allgemeines
DIN EN 1559-3	Gießereiwesen – Technische Lieferbedingungen Teil 3: Zusätzliche Anforderungen an Eisengußstücke
DIN EN 10002-1	Metallische Werkstoffe – Zugversuch Teil 1: Prüfverfahren (bei Raumtemperatur)
DIN EN 10003-1	Metallische Werkstoffe – Härteprüfung nach Brinell Teil 1: Prüfverfahren
DIN EN 1560	Gießereiwesen – Bezeichnungssystem für Gußeisen Werkstoffkurzzeichen und Werkstoffnummern

v Nemčiji v letu 2008 padel na približno 1 % v primerjavi s 4 % litega jekla, približno 39 % litine GJS in 56 % litine GJL: Sl. 14 [26]. Vrednosti v svetu leta 2008 so bile 2 %

castings in Germany 2008 decreased to about 1 %, compared to about 4 % cast steel, roughly 39 % GJS and 56 % GJL: Fig. 14 [26]. The corresponding values world

Preglednica 4. po K. Herfurth in R. Doepp [27]

Table 4. Adapted from K. Herfurth and R. Döpp [27]

Werkstoffbezeichnung		Durchmesser der Probe (Nennmaß) d mm	Zugfestigkeit R_m N/mm ²	Dehnung $A_{3,4}$ %	0,2%- Dehngrenze $R_{p0,2}$ N/mm ²	Brinellhärte (nur informativ) HB
Kurzzeichen	Nummer		min.	min.	min.	max.
EN-GJMW- 350-4	EN-JM1010	6	270	10	- 1)	230
		9	310	5	-	
		12	350	4	-	
		15	360	3	-	
EN-GJMW- 360-12 2)	EN-JM1020 2)	6	280	16	- 1)	200
		9	320	15	170	
		12	360	12	190	
		15	370	7	200	
EN-GJMW- 400-5	EN-JM1030	6	300	12	- 1)	220
		9	360	8	200	
		12	400	5	220	
		15	420	4	230	
EN-GJMW- 450-7	EN-JM1040	6	330	12	- 1)	220
		9	400	10	230	
		12	450	7	260	
		15	480	4	280	
EN-GJMW- 550-4	EN-JM1050	6	-	-	- 1)	250
		9	490	5	310	
		12	550	4	340	
		15	570	3	350	

1) Wegen der Schwierigkeit der Bestimmung der Dehngrenze an kleinen Proben müssen die Werte und die Meßmethode zwischen Hersteller und Käufer bis zum Zeitpunkt der Annahme der Bestellung vereinbart werden
 2) Der zum Schweißen geeignetste Werkstoff.
 ANMERKUNG 1: 1 N/mm² entspricht 1 MPa.
 ANMERKUNG 2: Die Werkstoffbezeichnung entspricht EN 1560.
 ANMERKUNG 3: Die fettgedruckten Zahlen geben die Mindestzugfestigkeit und die Mindestdehnung $A_{3,4}$, denen das Kurzzeichen der Sorte zugeordnet ist, sowie den bevorzugten Nenndurchmesser der Probe und die entsprechende Mindest-0,2%-Dehngrenze an.

ulitkov iz temprane litine, 13 % litega jekla, 30 % litine GJS in 55 % litine GJL [26].

Razvoj nacionalnih in evropskih standardov za temprano litino sta podrobneje preučila K. Herfurth in R. Doepp [27] v Preglednicah 2–6.

Nove rezultate v zvezi z vrednostmi za lomno mehaniko bele temprane litine (BTel) so objavili P.-V. Huebner, G. Pusch, O. Liesenberg, TU BA Freiberg/Sachsen, in R. Doepp, TU Clausthal [28]. To je primer uspešnega strokovnega in osebnega sodelovanja.

2008 were 2 % malleable castings, 13 % cast steel, 30 % GJS and 55 % GJL [26].

The development of national and European standards for malleable cast iron was discussed in detail by K. Herfurth and R. Doepp [27] with tables 2-6.

New results concerning values for fracture mechanics of whiteheart malleable cast iron (GJMW) were published by P.-V. Huebner, G. Pusch, O. Liesenberg, TU BA Freiberg/Sachsen, and R. Doepp, TU Clausthal [28]. This is an example for successful professional and personal cooperation.

Werkstoffbezeichnung		Durchmesser der Probe (Nennmaß) ¹⁾ <i>d</i> mm	Zugfestigkeit <i>R_m</i> N/mm ² min.	Dehnung <i>A_{3,4}</i> % min.	0,2%-Dehngrenze <i>R_{p0,2}</i> N/mm ² min.	Brinellhärte (nur informativ) HB
Kurzzeichen	Nummer					
EN-GJMB- 300-6 ²⁾	EN-JM1110 ²⁾	12 oder 15	300	6	–	150 max.
EN-GJMB- 350-10	EN-JM1130	12 oder 15	350	10	200	150 max.
EN-GJMB- 450-6	EN-JM1140	12 oder 15	450	6	270	150 bis 200
EN-GJMB- 500-5	EN-JM1150	12 oder 15	500	5	300	165 bis 215
EN-GJMB- 550-4	EN-JM1160	12 oder 15	550	4	340	180 bis 230
EN-GJMB- 600-3	EN-JM1170	12 oder 15	600	3	390	195 bis 245
EN-GJMB- 650-2	EN-JM1180	12 oder 15	650	2	430	210 bis 260
EN-GJMB- 700-2	EN-JM1190	12 oder 15	700	2	530	240 bis 290
EN-GJMB- 800-1	EN-JM1200	12 oder 15	800	1	600	270 bis 320

¹⁾ Wenn eine Probe mit 6 mm Durchmesser für eine maßgebende Wanddicke des Gußstücks repräsentativ ist, darf dieses Probenmaß – in Vereinbarung zwischen Hersteller und Käufer bis zum Zeitpunkt der Annahme der Bestellung – angewendet werden. Es gelten die Mindesteigenschaften nach dieser Tabelle.

²⁾ Der Werkstoff ist besonders für Anwendungen bestimmt, für welche Druckdichtheit wichtiger ist als hohe Festigkeit und Duktilität.

ANMERKUNG 1: 1 N/mm² entspricht 1 MPa.

ANMERKUNG 2: Die Werkstoffbezeichnung entspricht EN 1560.

ANMERKUNG 3: Die fettgedruckten Zahlen sind der Mindestzugfestigkeit und der Mindestdehnung *A_{3,4}* der Sorte zugeordnet.

Preglednica 5. po K. Herfurth in R. Doepp [27]

Table 5. Adapted from K. Herfurth and R. Döpp [27]

Tabelle 5. Maße von Proben für den Zugversuch

Durchmesser <i>d</i> mm	Grenzabmaße für den Durchmesser mm	Anfangsquerschnitt <i>S₀</i> mm ²	Anfangsmesslänge $L_0 = 3,4 \cdot \sqrt{S_0}$ mm	Versuchslänge <i>L_c</i> mm	Mindestradius im Übergangsbereich <i>r</i> mm	Bevorzugte Maße des Schaftes (nur informativ)	
						<i>D</i> mm	<i>L</i> mm
6	±0,5	28,3	18	25	4	10	30
9	±0,5	63,6	27	30	6	13	40
12	±0,7	113,1	36	40	8	16	50
15	±0,7	176,7	45	50	8	19	60

ANMERKUNG: Die Dehnung *A_{3,4}* wird an *L₀* gemessen.

Preglednica 6. po K. Herfurth in R. Doepp [27]

Table 6. Adapted from K. Herfurth and R. Döpp [27]

6 Povzetek

Temprana litina se je tako v preteklosti in tudi zdaj izkazala na podlagi kemijske sestave, lastnosti strjevanja, strukture in lastnosti, dobre možnosti pa ima tudi v prihodnje [29].

6 Summary

Regarding chemical composition, solidification behaviour, structure and properties malleable cast iron has proved in past and present time and has good chances in future, too, compare [29].

Zasluge za dognanja gredo tudi učiteljem, kolegom in sodelavcem v Aachenu, Ennepetalu in Clausthalu.

The assistance of teachers, colleagues and co-workers in Aachen, Ennepetal and Clausthal is gratefully acknowledged.

7 Zaključek

Ta prispevek je namenjen livarjem po vsem svetu, ki se s temprano litino srečujejo v praksi, pri raziskavah, razvoju in poučevanju. Dva kolega predstavnika sta bila g. Hans J. Heine, tehnični vodja društva livarjev temprane litine, Cleveland, Ohio, ZDA, in prof. dr. Milan Trbižan, inž., s Fakultete za naravoslovje in tehnologijo v Ljubljani ter Društvo livarjev Slovenije.

Ta prispevek je posvečen tudi našemu družinskemu podjetju Friedr. Ischebeck GmbH iz Ennepetala, Nemčija, ki ga je leta 1881 ustanovil naš pradedek Friedrich Ischebeck kot livarno za primeže, v kateri se je nato leta 1912 začela proizvodnja temprane litine, poznejšim dodatkom k sivi litini. Te 105-letne izkušnje s postopki, vezanimi na temprano litino, so naša vstopnica v prihodnost.

7 Conclusions

This contribution is dedicated worldwide to all foundrymen, who are engaged with malleable cast iron in practice, research, development and teaching. Two representative colleagues were Mr. Hans J. Heine, Technical Director of the Malleable Founders Society, Cleveland, Ohio, USA, and Prof. Dr.-Ing. Milan Trbižan, Technical University of Ljubljana and Društvo Livarjev Slovenije.

Furthermore this contribution is dedicated to our family company Friedr. Ischebeck GmbH in Ennepetal, Germany, founded 1881 by our great-grandfather Friedrich Ischebeck as forge for vices, with a malleable cast iron foundry since 1912, later additional gray cast iron. These 105 years of experience in malleable cast iron procedure are a bridge into future.

Viri / Literature:

- [1] VSE Verband Schweizerischer Eisengießereien: Das gegossene Eisen. Dokumentation über Fertigung und Verwendung von Gusseisen, Stahl- und Temperguss. Verlag VSE, Zurich 1970, str. 17. Abb. 14
- [2] R. Doepp: 100 Jahre Entwicklung: Gusswerkstoffe - Eisen-, Stahl- und Temperguss. Berlin 2009. VDG Fachbericht 090, Dusseldorf 2012, str. 10
- [3] C. F. Waltona in T. J. Opar: Iron Castings Handbook, 3rd Edition, Cleveland USA 1981, str. 137
- [4] R. Doepp, U. Kaeckenhoff, P. Sieben, G. Schmidt: Beitrag zur Metallurgie des Heißwind-Kupolofens. Giesserei 80 (1993), št. 12, str. 385–390, še posebej str. 386, Sl. 2
- [5] R. Doepp: Contribution to the development of cast materials. 66th World Foundry Congress, 6.-9. Sept. 2004, Istanbul, Turčija. Proceedings. Volume 1, str. 725
- [6] W. Oelsen, K. Roesch, K. Orth: Beeinflussung des Kohlenstoffes des Giessereieisens beim direkten Guss vom Hochofen. Archiv Eisenhüttenwesen 26 (1955), št. 11, str. 641–653
- [7] W. Oelsen, E. Schurmann: Das Problem der Reduktion der Kieselsäure durch Kohlenstoff in Eisenschmelzen und seine Bedeutung für Gusseisen. Giesserei, techn.-wiss. Beih., št. 19, 1958, str. 989-994; comp. Giesserei 45 (1958), št. 4, str. 99

- [8] H. Laplanche: Metal Progr. 52 (1947), str. 991–993; 55 (1949), str. 839–841; Fonderie 26 (1971), št. 297, str. 1–19; comp. Giesserei 38 (1951), št. 22, str. 577–580 (H. Pieper); Giesserei 77 (1960), št. 8, str. 161–164 (M. Lampic); comp. [5], str. 720, referenca [4]
- [9] R. Doepp: Beitrag zur Entwicklung der Eisen-Gusswerkstoffe. VDG Fachtagung Dusseldorf 2005, VDG Fachbericht 088, str. 121–134, še posebej str. 129, Sl. 8
- [10] R. Doepp: Beitrag zur Entwicklung der Eisengussdiagramme. VDG Fachausschuss Geschichte, Schaffhausen 2010; VDG Fachbericht 090, Dusseldorf 2012, str. 106–112, še posebej str. 112, Sl. 13
- [11] W. Patterson, R. Doepp: Zum Einfluss der Rohstoffe, der Schmelzföhrung und der Schmelzbehandlung auf das Erstarrungsverhalten von Eisen-Kohlenstoff-Legierungen, besonders Temperguss. Giesserei, techn.-wiss. Beih., 16 (1964), št. 2, str. 49–86; comp. Giesserei 51 (1964), št. 14, str. 414; št. 20, str. 591
- [12] W. Patterson, K. Roesch, R. Doepp: Beitrag zum Erstarrungsverhalten von weissem und grauem GuBeisen. Giesserei 52 (1965), št. 6, str. 161–171
- [13] Oglejte si indeks [5], str. 725, Sl. 7
- [14] Oglejte si indeks [5], str. 725, Sl. 5
- [15] Oglejte si indeks [2], str. 20, Sl. 19
- [16] Oglejte si indeks [5], str. 718–719
- [17] R. Doepp, K. Lindemann: Beitrag zum Sand- und KokillengieBen von Eisenlegierungen. Giessereiforschung 35 (1983), št. 4, str. 135–150; comp. Giesserei 70 (1983), št. 26, str. 711; 71 (1984), št. 12, str. 486 (Leoben); št. 15, str. 611 (Clausthal)
- [18] G. Pistol, R. Doepp, P. R. Sahm: Hat Kokillenguss für Eisenwerkstoffe neue Chancen? Giesserei 79 (1992), št. 10, str. 381–388
- [19] R. Doepp, W. Gerhard, C. Land: Vacuum-Formverfahren mit Stahlsand - ein Schritt in Richtung Kokillenguss. Giesserei-Praxis 2005, št. 12, str. 446–450
- [20] R. Doepp, E. F. Ischebeck, D. Blankenagel: Temperguss für Baugeräte und Werkzeuge. konstruieren + gieBen 1977, št. 2, str. 24–30
- [21] H.-D. Landwehr: Schwarzer Temperguss. VDG Fachausschuss Geschichte, Dusseldorf 2015, GIFA, 20.6.2015, VDG Fachbericht demnächst (2017/2018)
- [22] P. Tolke: Entwicklung des Tempergusses - Grundlagen und Anwendungen. VDG Fachausschuss Geschichte, Dusseldorf 20.6.2015, oglejte si indeks [21]
- [23] R. Döpp: Weisser Temperguss. See [21]
- [24] R. Döpp: Eigenschaften von Eisen-Gusswerkstoffen. Beurteilung nach Schulnoten zur Orientierung. See [2], p. 13, table 1
- [25] see [2], p. 14, fig. 7
- [26] see [2], p. 12, fig. 4 and p. 13, table 2
- [27] K. Herfurth, R. Döpp: Europäische Normung: Temperguß – von DIN 1692 zu DIN EN 1562. Giesserei 85 (1998), Nr. 1, p. 64–66; compare konstruieren + gieBen 22 (1997), Nr. 4, p. 15–17
- [28] P.-V. Hübner, G. Pusch, O. Liesenberg, R. Döpp: Bruchmechanische Kennwerte von entkohlend geglühtem Temperguss. Giesserei 90 (2003), Nr. 5, p. 82–92; compare Bruchmechanische Kennwerte von Temperguss. Teil 2: Weisser Temperguss. konstruieren + gieBen 28 (2003), Nr. 3, p. 18–25 (mit Versuchswerkstoffen der Firmen R. Woeste + Co. in Velbert, August Hitzbleck Söhne GmbH in Heilgenhaus und Friedr. Ischebeck GmbH in Ennepetal)
- [29] R. Döpp: Malleable cast iron – Material with future?! Contribution Portoroz 28.5.1998